

構造最適化解析を用いた FRP 橋の構造形態の初期検討

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員○ 野中秀一
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 藤井久矢

1. はじめに

本稿は、近年の構造解析技術の向上による、橋梁における新たな構造形態の可能性について、初期検討を行うことを目的とする。現在、橋梁計画における形態検討の段階では、一般に桁橋・アーチ橋・斜長橋・吊橋など既存の「橋梁形式」による検討(形式設計)が行われている。これは、一般的な架橋条件下だけでなく、橋梁の形態に対する要求が大きい、景観性を重視する場合などにおいても、同様である。

近年、ヨーロッパでは、これまでの“Typology Design”(形式設計)の枠にとらわれず、自由な発想から、構造的な形態美、経済性に優れた橋梁が計画されている(写真-1, 2)。これらの橋梁を設計した Laurent Ney 氏は、橋梁形態の決定段階への“Topology Design”の適用を提案¹⁾しており、構造的・経済性だけでなく、意匠・架橋位置の“context”などを総合的に考慮した形態設計により、斬新かつ諸要求を満たす橋梁を多く設計している。

一方、建築分野では、一部の作品(写真-3)において、最適構造解析を用いた“Topology Design”が行われている。本稿は、この最適構造解析手法を用いた“Topology Design”の橋梁の形態検討への適応性を検討するものである。

また、本稿では主構造部材として FRP 材料を用い、検討を行った。これは、FRP が鋼・コンクリートと比較し、軽量かつ断面剛性に優れ、材料加工の自由度も高い一方、単位体積あたりの材料費が高く、構造最適化の必要性が高い材料であるためである。

2. FRP 歩道橋の現状

近年、「歩道橋の設計ガイドライン²⁾」および「FRP 歩道橋設計指針³⁾」が発行され、日本国内においても、FRP 材料の橋梁分野への適応に向けた試みがなされている。

FRP 橋梁は、一部の斜長橋・吊橋やアーチ橋を除き、FRP 橋梁の架設実績を多く有する欧米も含め、多くが橋長 20m 未満のポニートラス構造がほとんどであり、限られた架橋条件下のみでの適用に限定されている。この要因として、以下の 2 点が挙げられる。①FRP の材料単価が高いこと②たわみ剛性が低く長支間への適応



写真-1 橋梁での適用事例(その 1)



写真-2 橋梁での適用事例(その 2)



写真-3 建築分野での適用事例

が容易でないこと。本稿ではこの 2 点を解決する一提案として、橋梁形態を架橋条件下における最適な形態とすることで、材料総量を増加させず、全体剛性を向上(たわみ量を低減)させる構造形態の提案を目指した。

3. 最適構造解析法

構造最適化理論は、1988 年に Bendose and Kikuchi⁴⁾によって、与条件下において最適な形

キーワード FRP 橋梁, 構造最適化, 位相最適化, topology デザイン

連絡先 〒812-0002 福岡市博多区博多駅前二丁目 19 番 24 号 TEL 092-409-3023

を連続体上で求める方法が発表された。国内においても、藤井ら⁵⁾により建築デザイン分野における、最適構造の研究がなされ、「建築デザインと最適構造⁵⁾」では、位相最適化手法を用いた構造最適化プログラムが発表された。本稿では、最適構造の検討に上記プログラムを用い、検討を行った。最適構造解析では、設計範囲内に検討背景となる基本構造を作成し、基本構造に荷重を作用させ、荷重分担率の低い部材の断面を減少させ、分担率の高い部材の断面を増加させていく作業を繰り返し行い、限られた材料で構造性に優れる形態を導出した。

4. 最適構造解析を用いた FRP 歩道橋の提案

(1) 検討条件

検討条件一覧表を表-1 に示す。支間長は、ポニーラス形式での最大支間と同等の 20m、幅員は 2.5m とした。使用する FRP の材料特性を表-2 に示す。FRP 材には CFRP・AFRP 等に比べて経済性に優れ、ポニーラス形式としての実績を多く有する、GFRP を採用した。

(2) 最適構造解析

本検討で用いた基本構造図を図-1 に示す。検討範囲は、鋼箱桁を適用した場合の桁下高（桁高スパン比 1/20）である“橋面-1.0m”から、ポニーラス形式の桁高の 2 倍である“橋面+3.5m”とした。また、最大部材長は 8.0m とした。

最適構造解析の結果を基に得られた構造形態を図-2 に示す。得られた構造形態は、上路部は「アーチ構造」と「吊構造」、下路部は上路部と一体となった「吊構造」と「桁構造」を複

合した構造であることがわかる。

(3) 検討結果

ポニーラス構造（図-3）および、最適構造により得られた「提案構造」それぞれにおいて、静的 FEM 解析を行い、構造性の検討を行った。検討には Forum8 社“FRAME3D version5.01.00”を使用した。

検討結果を表-3 に示す。表-3 より、提案構造では、ポニーラス構造と同等の材料総量（総体積）で、最大たわみ量を 38%まで低減できることが確認され、最適構造検討により得られた形態が構造性に優れることが確認された。

5. あとがき

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 本初期検討により創出された形態は、アーチ構造・吊構造・桁構造を複合した新たな構造形態であり、FRP 橋梁で多く用いられているポニーラス構造と比較し、高い構造性を有することが分かった。
- (2) 本稿では、地震時の挙動・風荷重などの条件を考慮しておらず、実用にあたっては、これらの荷重条件を踏まえた、最適構造形態の検討が求められる。

参考文献

1) Laurent Ney : Shaping Forces, 2008.
2) 土木学会 : 歩道橋の設計ガイドライン, 2011.
3) 土木学会 : FRP 歩道橋設計指針, 2011.
4) Bendoe,M.P. and Kikuchi,N : Generating Optimal Topologies in Structural Design using a homogenization Method, 1988
5) 藤井大地著 : 建築デザインと最適構造, 2008.

表-1 検討条件一覧表

橋長 (m)	20.0
幅員 (m)	2.5
設計活荷重 (kN/m ²)	3.5

表-2 使用材料一覧表

FRP材料	GFRP
弾性係数 (kN/mm ²)	19.6
引張・圧縮強度 (N/mm ²)	245.0
部材形状 (mm)	C-125-60-7

表-3 検討結果一覧表

構造形態	総体積 (m ³)	最大たわみ量 (mm)
ポニーラス構造	0.227 (1.00)	367.0 (1.00)
提案構造	0.236 (1.04)	139.6 (0.38)

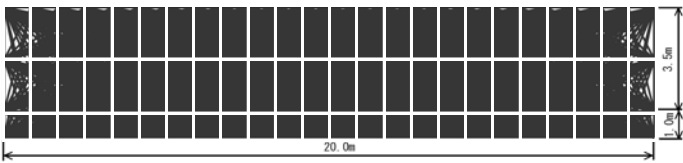


図-1 基本構造図

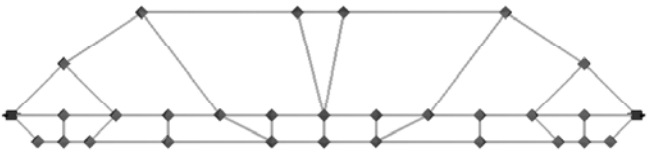


図-2 提案構造（最適構造解析結果）モデル図



図-3 ポニーラス構造モデル図