

# 構造最適化と折畳み構造に基づくモバイルブリッジの創造

広島大学	正会員	有尾 一郎
施工技術総合研究所	正会員	谷倉 泉
東北学院大学	正会員	中沢正利
施工技術総合研究所	正会員	小野秀一

## 1. はじめに

昨今の自然災害復旧技術に関しては、その被災規模や現場の状況などから様々な課題が多く存在する。特に、災害現場においては、災害発生後の時間的対応が問題視され、具体的な対応策が急務とされている。橋の仮設もライフラインを早急にリカバリーさせる技術的課題を解決する上で、その対象物と想定される。そこで、パイロット的にも緊急車両一台でも、迅速に通行が可能となる新しい応急橋(ここでは、その開発目標から「モバイルブリッジ」と呼ぶこととする。)を開発・構築しておくことは、地震が多発する我が国にとっては必要不可欠なツールと考える。本研究では、宇宙建造物の構造制御技術を駆使し、最新の展開構造技術をこの分野に利用するための基本的な構造概念を紹介する。

関連した研究として、Holnicki ら<sup>2)</sup>がハニカム状の骨組みトラス部材からなるアクティブ制御可能なショックアブソーバシステムを持つ、マルチ・フォールディング概念(MFM)を提唱し、基本的なアクティブ制御実験を行っている。

本研究は、このMFMのスマート折畳構造の機構概念と構造最適化研究から迅速施工可能なモバイルブリッジの開発を研究対象とする。

## 2. 梁モデルのレイアウト最適問題

梁のモデルを用いた均質化法等による位相最適化は、スパンが長くなるにつれて、その中央部分にソリッド要素と空隙要素の密度分布がチェッカーボードのように交互に並ぶ数値不安定性が現れ、構造物としてどこに境界を定めるべきかを判断しにくいといった問題がある。

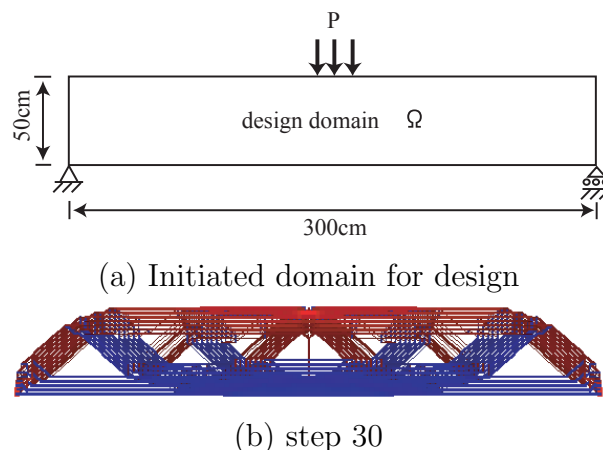


Fig. 1 梁モデルの解析結果(20 × 120 分割)

本研究で用いたマイクロトラスによる解析モデルを Fig.1(a) に示す。設計領域はアスペクト比を 1/6 とした 50 × 300(cm) とする。メッシュ分割は 20 × 120 分割とし、2.5 × 2.5(cm) のユニットセルで満たされている。なお、モデルの左右対称性を考慮して 1/2 領域で解析を行う。各パラメータは、 $EA_0 = 1.0$ ,  $EA_{max} = 10EA_0$  とし、荷重レベルは  $\tilde{p} = 1.0 \times 10^{-3}$  とした。図(b) はレイアウト解析結果であり、ワーレントラスの形態を得た。

### (1) 両端固定梁モデル

Fig.1(a) は単純支持であったが、次に、両端が固定された両端固定モデルを考える。両端固定で中央に帯分布荷重  $P$  が作用する領域を設計領域としたレイアウト最適化問題を考える。この問題に関しては、Ramm and Maute によるアダプティブ位相最適化法による解がある。

キーワード 構造最適化, 折畳み構造, モバイルブリッジ, 展開構造, 応急橋  
 連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院社会環境システム TEL082-424-7792



Fig. 2 形態形成の解析結果 (20 × 80 分割)

この手法は、均質化設計法で位相を求めて(位相最適化(topology optimization)),次に有限要素メッシュを切り、さらにその形状における位相を求める(形状最適化(Shape optimization))といった手順を数回繰り返すものである。この手法は、前節で述べた数値的不安定要素を解決しており、このようにして得られた位相は滑らかな境界を持ち非常に明解なものとなっているが、計算コストがかかりすぎるといった問題があった。

Fig.2に各ステップ数における形態変化の様子を示す。また図の右側半分は、各ステップ数に対する設計領域内の応力の状態を等応力線図によって表現したものである。左半分が形態解析によって得られた最適形状を表したものである。アダプティブ位相最適化によって得られた形態に酷似した位相が表れ、最終的には総部材数は初期部材数の約19%にまで削減された。アダプティブ位相最適化による解と比較してみると、支持点に伸びる部材がそれぞれ2本あり、より強固な形態が現れている。載荷点直下の大きな3角形のトラス形態をした太い部材で荷重を支える形態を示し、Rammの位相最適化結果でも発現している。

### 3. Michell概念による開発ヒント

このようにマイクロトラスで離散化し収束計算によって、部材内の微小な内力の流れをとらえ、内力が大きいところには必要な剛性を増加させ、内力が小さいところには剛性を低下させることによって、伝達力を剛性という形で可視化することができ、形態が形成される。このことから、このようなラチストラスモデルにおいても、理論上無限にトラス格子に離散化してしまえば、連続体問題に漸近することが推察される。この考え方は、Michellのトラス概念(Fig.3

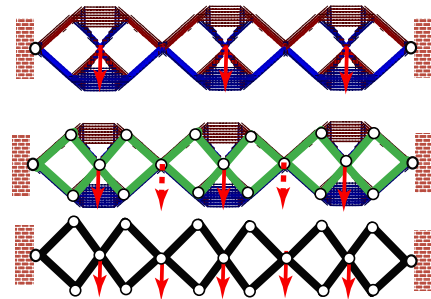


Fig. 3 仮設骨組トラス構造 (Michell 問題の応用)

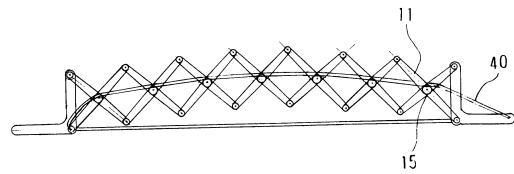


Fig. 4 モバイルブリッジ構造のアイデア

参照)と共通し、本結果は現代の計算機の能力の向上によって、事実上形態形成の計算と整合する成果<sup>3)</sup>(Fig.4参照)として、かつ、古典力学的課題の一つの解としても大変意義深い。

### 4. 折畳み・最適化構造概念からモバイルブリッジ機構への適用可能性

この構造最適化法と折畳み構造研究「MFM概念とそれを応用したモバイルブリッジの研究開発」<sup>4)</sup>から、今回具体的な災害復旧のための折畳み-展開可能なトラス構造の仮設橋の開発とその適用性を考え、迅速に展開が可能なモバイルブリッジ研究開発のコンセプトを提案する。

#### 参考文献

- 1) G.W. Hunt and I. Ario (2005); Twist buckling and the foldable cylinder : an exercise in origami, *Int. J. of Nonlinear Mechanics*, Vol. 40(6), pp.833-843.
- 2) J. Holnicki-Szulc, P. Pawlowski, M. Wiklo (2003); High-performance impact absorbing materials - the concept, design tools and applications, *Smart Materials and Structures*, No. 12 (2003), pp. 461-467.
- 3) 有尾一郎, 特許申請中(2006); 構造体及びその主フレームの伸張・縮収装置(特願 2006-037668).
- 4) 中沢正利・有尾一郎・谷倉泉・小野秀一(2009); MFM概念とそれを応用したモバイルブリッジの研究開発, 土木学会全国大会 第一部門.