

鋼橋の自動設計支援システムの開発

○東京工業大学 学生会員 富澤 雅幸
東京工業大学 正会員 小西 拓洋
東京工業大学 フェロー 三木 千壽

1、はじめに 近年、コンピュータの解析処理能力の飛躍的向上に伴い FEM を用いた複雑な構造物の全体解析が可能となってきた。しかしながら、橋梁設計における構造解析は未だに梁理論に基づいたフレーム解析が主流であり、合理化が進められている鋼橋事業において最も基本となる設計面での対応は遅れていると感じさせられる。一方、設計技術として CAE(Computer Aided Engineering)の急激な発達から最適化手法を用いた設計が各分野で実用化されつつある。この技術により従来のような技術者の知識や経験に頼ってきた構造最適化の為の反復作業を自動化することが可能となる。この結果、設計は技術者の技量、経験に依存せず、その品質レベルは保証され、自動化により設計の負担が軽減し設計者は結果の評価に専念できる。また、FEM ベースで設計を自動化していることから新しい構造の設計においても柔軟な対応が可能となるなどのメリットが考えられる。本研究では FEM と最適化手法、設計照査とを組合せ、鋼橋の自動設計支援システムを構築することにより橋梁設計の合理化の可能性を示すことを目的とした。

2、設計システムの概要 本システムにおける設計の流れを図 1 に示す。ここで提案するシステムでは設計計算に FEM 解析を用い、設計変数の決定には最適化手法を用いることで、照査項目を満たし、目的関数であるコストを最小とする設計変数を効率的に得ようとしている。FEM モデル作成には PATRAN、解析コードには ABAQUS を使用しており、照査には限界状態設計法による照査プログラムを作成し、組み込んだ。構造解析に FEM を用いることにより、床版の有効幅や荷重分配作用など意識することなく設計を行うことができ、モデル化が直感的で分かり易くなり、様々な構造形式への応用を可能にする。

3、設計対象橋梁及び FEM 解析モデル 本研究における設計対象は 2 径間連続合成 2 主桁橋であり、主桁は 1 径間を 15m+30m+15m に分割し、3 断面に変化するものとした。設計変数は上下フランジの板厚、板幅、ウェブの板厚、桁高、鋼種である。使用鋼材は SM400、SM490Y、SM570 の 3 種類であり、桁高については 2750mm と 3000mm について設計を行った。FEM モデルは図 2 に示すように主桁と床版はシェル要素によってモデル化し、床版と主桁を剛なビーム要素によって連結した。

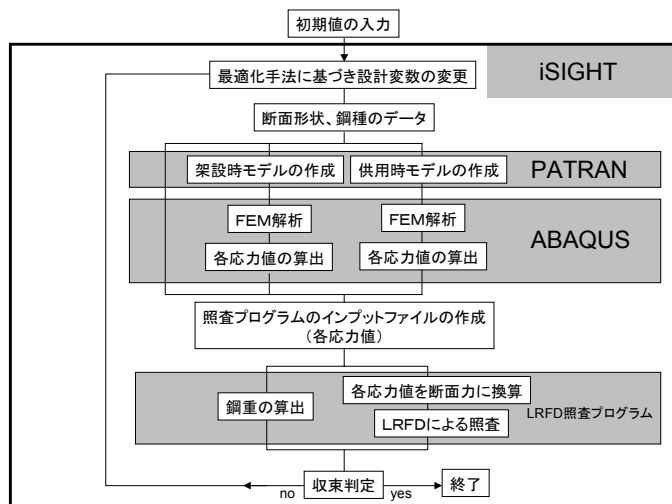


図1 基本ルーチン

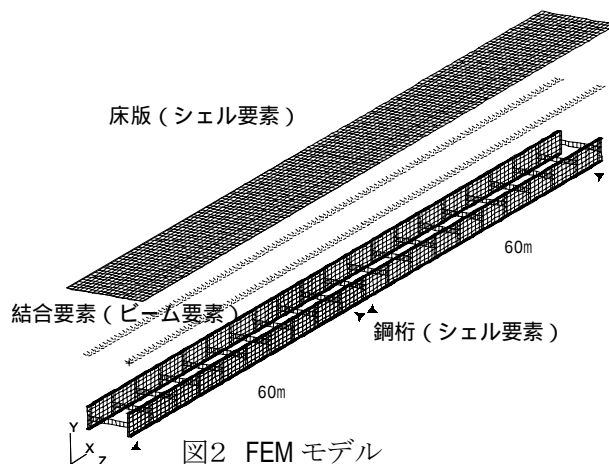


図2 FEM モデル

キーワード 自動設計支援システム、最適化設計、合理化、最小コスト、LRFD

〒152-8522 東京都目黒区大岡山 2-12-1 TEL 03(5734)2596

4、照査基準 照査には許容応力度設計法に準拠した国内の道路橋示方書ではなく、AASHTO による荷重抵抗係数設計法¹⁾（以下 LRFD）を用いた。その理由は高強度鋼を利用する上での制約条件、限界状態を明示できることから SM570 材を超える高強度鋼の使用やハイブリッド桁の適用が可能なことである。

5、最適化手法 様々な最適化手法の中で橋梁設計に適した手法について検討を行った。決定する設計変数としては連続値である断面形状と離散値である鋼種がある。離散変数を含む場合、最適化問題で一般的に用いられるような感度ベースの数理的手法を用いることができない。そこで鋼種については現実的な組み合わせをある程度絞り、それぞれの組み合わせに対して断面の最適化を行った。断面の最適化には第一段階として近似曲面¹⁾を作成し、外点法²⁾により解を求めた。その結果から鋼種の組合せを決定し、断面形状についてさらに解の精度を向上させるため第二段階として修正実行可能方向法³⁾を用い最終的な断面を決定した。

6、設計結果 桁高 2750mm、3000mm での最適断面と鋼種配分は図 4 のような結果となった。最適断面（近似手法を用いた最適化の結果）でのコストを比較すると、端部、支間中央部に SM570 材を用いた場合は全体的にコストが大きくなっていることが分かる（グラフ 1）。これは SM570 材を用いた断面において疲労限界状態で断面が決定され、終局限界状態で決まる断面よりも大きくまだ余裕があるためである。このことから高強度鋼材は中間支点部においてはその強度を十分に発揮できるが、端部、支間中央部において使用する場合には制約が生じる場合がある。また、桁高 2750mm の低コスト案についてウェブの鋼種をフランジより 1 ランク下げたハイブリッド桁の設計シミュレーションを行い、コストのさらなる低減が可能であることが確認できた。

7、結論

- ・構築した自動設計支援システムの有効性を実証した。
- ・ハイブリッド桁として設計シミュレーションを行い、大きなコスト低減が可能であることを示した。

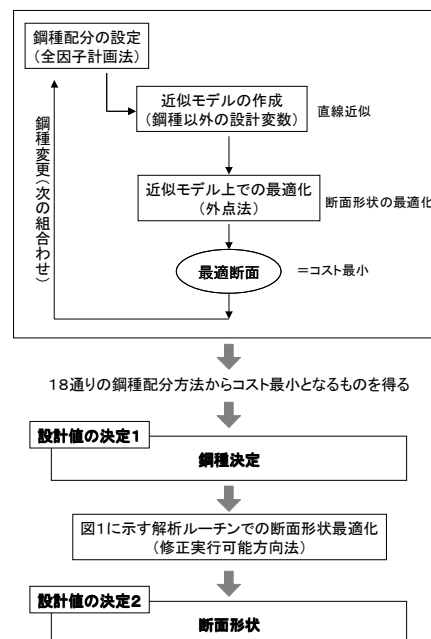


図3 最適化の流れ

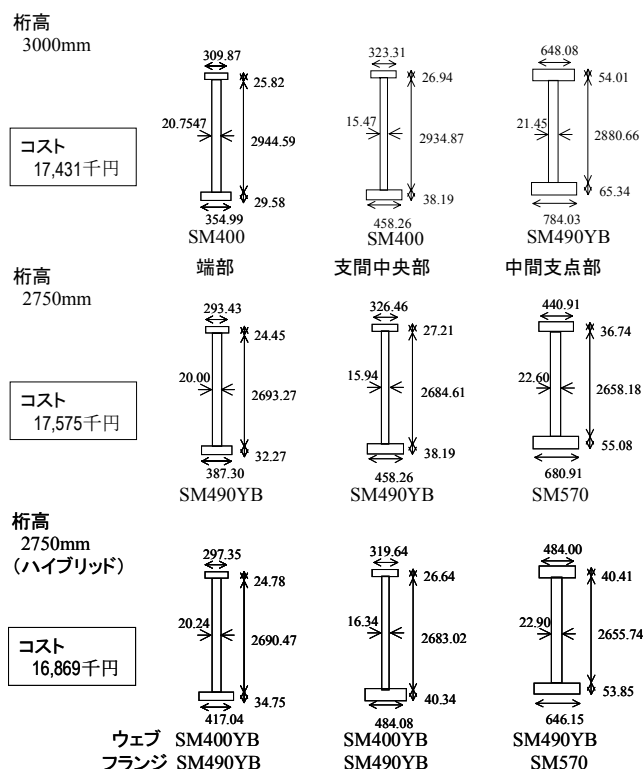
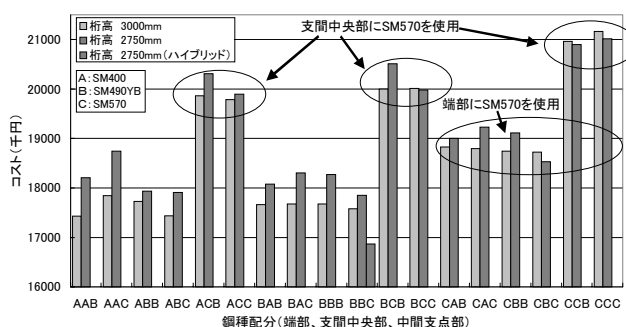


図4 最適断面形状

グラフ1 各最適断面でのコスト



¹⁾ 近似曲面：図1に示すループを複数回行うことで入力値と出力値の関係を近似的に再現する応答曲面を示す。その応答曲面に対して最適化を行うものとしてRSMという近似手法がある。

²⁾ 外点法：制約条件のある最適化問題を制約条件のない問題として変換し、ペナルティ汎関数を伴った修正目的関数を最適化していく手法。

³⁾ 修正実行可能方向法：実行可能方向と改良ステップ幅を常に実行可能領域に存在するように最適化を行う手法。