

グリッド・コンピュータを用いたトラス橋の構造設計の試み

Design of Steel Truss Bridge with Grid Computer

菅沼久忠*・勝山真規**・高橋実***・三木千壽****

Hisatada Suganuma, Katsuyama Masanori, Minoru Takahashi, Chitoshi Miki

*学生員 工修 東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

**学生員 東京工業大学 大学院理工学研究科土木工学専攻 (同上)

***正会員 工修 土木研究所 橋梁構造 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

****フェロー 工博 東京工業大学大学院教授 理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

The paperless design is becoming popular in the manufacture with the advance of computer technology. However, the design based on the freehand drawing and the beam theory is still common in the bridge design field.

This paper proposes the method of designing the steel truss structure with the help of the optimization technique and the finite element method. The grid computing technology and the replacement with a Bezier curve are adopted in this approach for the further improvement in the computing speed.

Key Words: Truss Structure, Optimization, Parallel analysis, MMFD, Grid computing

1. はじめに

コンピュータの目覚ましい発達にともない、多くの製造業分野では CAD・CAM を用いた設計・製作が一般的となった。自動車の設計では 1990 初頭より、短納期・プロダクトモデルの製作・性能照査等の現場の要望を改善するため 3D-CAD を利用した設計が始まっている。この 3 次元形状データを有効に利用して、意匠検討にはじまり、CAE (Computer Aided Engineering) と呼ばれる有限要素法等に基づく構造解析・流体解析を利用した金型製作や耐久性シミュレーションも行われている¹⁾²⁾。結果として、開発期間の短縮・コスト低減を実現している。

このような時代にあって、橋梁は 2 次元図面と梁理論の下で製作されており、時代の流れから取り残されていると言わざるを得ない。他分野と比較して橋梁分野の特徴は、橋梁が一品製作品であることである。つまり橋梁ごとに新たに設計をやりなおす必要があり、設計を中心とする事業のスピード化が、橋梁の効率的な製作の要点であるといえる。実は CAE が一番効果を発揮する分野は、橋梁分野であるといえる。

我々は、鈑桁橋について、最適化理論と有限要素法を用いた新しい橋梁設計システム³⁾を提案し、試設計を行って良好な結果を得ている。解析スピードに問題があったが、これは CPU 処理能力の更なる向上に伴って解決できるものと思われた。しかし、個々の CPU の処理能力は限界に近づいている。

この限界を打破する技術として、ネットワーク技術の発達を利用して、複数のコンピュータを光通信技術などの高速通信で結び並列処理を行うことにより計算能力を飛躍的に高めるグリッド・コンピューティングシステム⁴⁾⁵⁾が考案・構築されている。グリッド・コンピュータとは、ネットワークによって接続された複数のコンピュータを、仮想的に一台の高性能コンピュータとして扱うための技術である。これにより CPU やストレージなどの必要なリソースを必要なときに調達できるようになるため、設備の利用効率が向上する。グリッド・コンピュータは、今後益々複雑化していくと思われる大型構造物の FEM 解析や地球環境シミュレーション等、土木工学の分野においても必要とされるものであろう。

これらグリッド・コンピューティング技術と有限要素法による橋梁設計を組み合わせ、橋梁の一般的な形式であるトラス形式に対して実務レベルでの橋梁試設計を行うことで、その適用性を検討する。

1.1 グリッド・コンピュータ

本研究で用いたグリッド・コンピュータは、筆

表-1 ノードの性能詳細

名称	NEC Express 5800 Blade Server
CPU	Pentium III-S 1.4GHz × 2
キャッシュ	512KB L2 Cache × 2
ハードディスク	80GB HDD
メモリ	512MB Memory

者が所属する大学において“TitechGRID”計画と呼ばれ構築されているものである。これはギガビットネットワークにより接続された800のプロセッサにより構成されるグリッド・コンピュータである。この一連のコンピュータ群は、世界の計

算機の世界ランキング Top500 の2002年11月版において212.7ギガフロップスを達成し、352位にランキングされている超高速マシンである。グリッド・コンピュータを構成しているノードの性能は表-1のとおりである。ミドルウェアには、SCore、プログラミングツールにはSCore対応のMPI等を使用しており、user認証はNISを利用した、通常のUNIX環境で行われている。

“TitechGRID”の内、12ノード(24CPU)を用いて提案する手法の適用を試みた。構成は図-1のとおりである。今回は一部のノードのみを利用しているが、同様の手法により、将来的には全てのノードを用いて計算することが可能である。

2. トラス構造設計シミュレーション⁶⁾

2.1 対象橋梁

本研究では、東京湾第三航路橋をモデルとして解析を行った。計画段階の橋梁である。床版幅員15mの4車線道路の道路橋であり、最大支間長440mの3径間連続の長大トラス橋である。モデルの側面図を図-2に、中間支点横断面図を図-3に

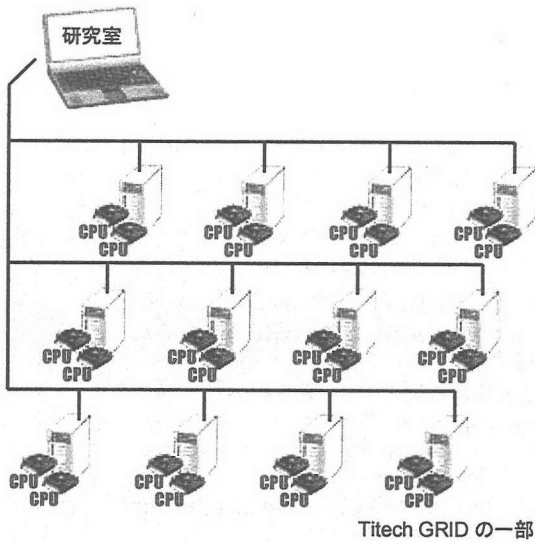


図-1 使用ノードの構成

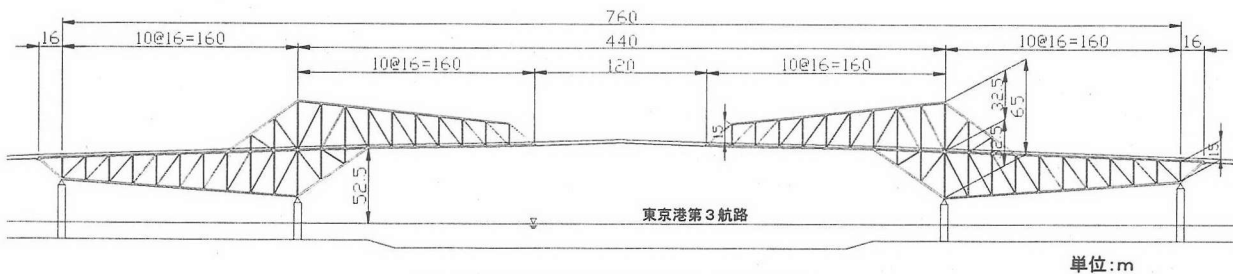


図-2 東京湾第三航路橋 (側面図)

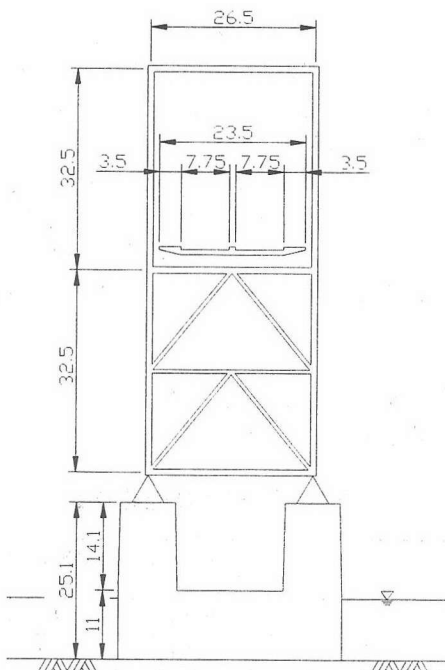


図-3 東京湾第三航路橋 (断面図)

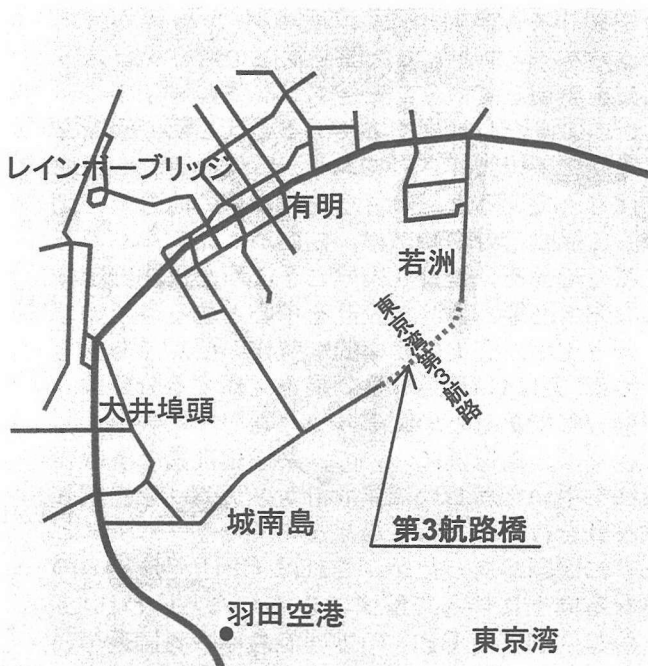


図-4 東京湾第三航路橋 立地条件

示す。図-4のように、起点を大田区城南島、終点を江東区青梅にとる東京港臨海道路にあり、第三航路上に架けられる予定である。

本橋は主航路上にあり、桁下に十分な空間を確保しなくてはならない、一方、羽田空港が近いため高さ制限があるといった厳しい条件下にある。その際、トラスおよびボックス桁の外形は既に決定しているが、それ以外は変更可能である。特に、航行援助施設の電波を遮断しない必要があり、部材数、部材長は出来る限り小さい方が望まれる。なお、基本設計データからトラス構造最適化の試みをスタートする。

2.2 GRIDを用いた設計シミュレーション

設計シミュレーションのフローチャートを図-5に示す。

まず最適化手法に基づき算出される形状パラメータから、トラス構造のモデル作成を行う。このモデルの重量を算出しつつ、FEM解析・設計照査を行い、これらの結果をデータベースに蓄積する。蓄積されたデータを最適化手法に従い検討を行い、満足な結果を得ていない場合は、目的関数を最小化するパラメータを新たに設定し再度計算を行うものである。

FEMのモデルの作成、および解析後データの最適化手法に基づく処理は、一つのコンピュータを用いて行われる。一方、作成されたモデルのFEM計算は、グリッド化されている最大12台(24CPU)のマシンに振り分けられて計算を行う仕組みとなっている。

大規模なFEM解析にグリッド・コンピュータを用いる場合、その解析自身を並列化する手法も行われている(78)9)。しかしながら、本研究の対象としているトラス構造物の場合、1台のコンピュータに計算させても8分で計算が可能であるため、解析自身の並列化による高速化ではなく、図-5のように最適化時の各検討モデルの解析を並列処理することとした。

本手法の実行にあたっては最適化支援ソフトiSIGHT¹⁰⁾を用いた。iSIGHTは上記の各プロセス(プログラム)を最適化コードに基づき、統合化するものである。並列処理もこのソフトの下で管理・実行されている。必要に応じて各種プログラムを随時組み合わせることが可能であり、設計条件の追加・変更にも柔軟な対応が可能である。

3. 構造解析

グリッド化されたコンピュータ群を用いて構造解析を行う際の問題点のひとつに、ソフトウェアのライセンス問題がある。1台のコンピュータを用いてFEM解析を行う場合、市販ソルバーを

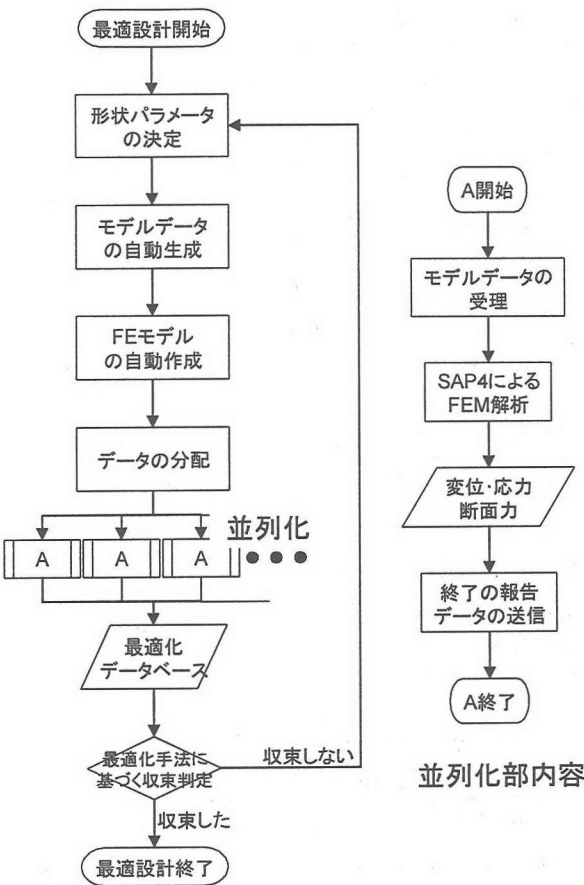


図-5 シミュレーションのフローチャート

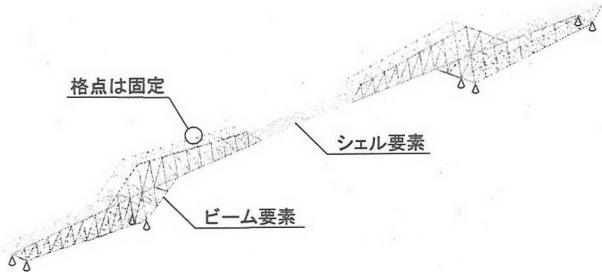


図-6 FEMモデル

用いる場合は、市販ソルバーのライセンスを1つ用意すればよい。しかし、並列処理を行い、あるコンピュータ群を用いる場合、現在のライセンス制度では、その台数分のライセンスを用意せねばならず、莫大な投資を必要とする。そこで本研究では、FEM解析に実績のあるカリフォルニア大学バークレー校が開発し、FortranソースコードがNISEE (National Information Service for Earthquake Engineering) より公開されている汎用FEMソルバーのSAP4¹¹⁾を用いることとした。このソースコードをGridに用いられているRedHat-OS用に修正後コンパイルした。

またFEM解析コードSAP-4には専用のプリプロセッサが無いため、モデル作成には汎用プリプロセッサPATRAN¹²⁾を用い、そのデータをSAP4用に修正することとした。

表-2 照査内容(主桁)

正曲げ	負曲げ
• $M_r = \phi_r M_n$ • $F_r = \phi_r F_n$ • $F_n = R_b R_h F_{yf} \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yf}} \right)^2}$	• $M_r = \phi_r M_n$ • $F_r = \phi_r F_n$ • $F_n = 181,000 R_b R_h k \left(\frac{t_f}{F_{yf}} \right)^2$

F_{yf} : 降伏応力(MPa)

R_b, R_h : フランジ応力の低減係数

f_v : ねじりせん断応力(MPa)

k : 座屈係数

t_f : ウェブ厚さ(mm)

ウェブの細長比
$\frac{2D_c}{t_w} \leq 6.77 \sqrt{\frac{E}{f_c}}$

D_c : 弾性域での圧縮側ウェブ高(mm)

t_w : ウェブ厚さ(mm)

f_c : 荷重係数を考慮した応力(MPa)

せん断
$V_r = \phi_v V_n$

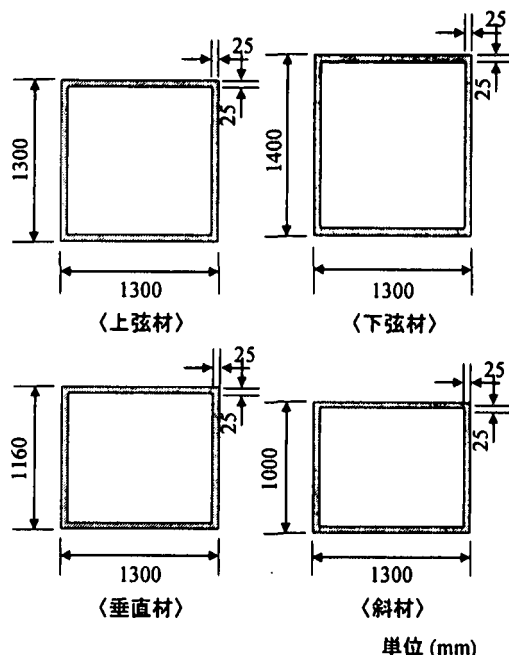


図-7 トラス部材断面寸法

物理定数はヤング係数 $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, ポアソン比 0.3, 鋼単位体積重量は 77.0 kN/m^3 とした。

表-3 照査内容(主構トラス)
引張り材における一般条件

一般条件	$l/r < 140$
$\frac{P_u}{P_r} < 0.2$	$\frac{P_u}{2.0P_r} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1.0$
$\frac{P_u}{P_r} \geq 0.2$	$\frac{P_u}{P_r} + \frac{8.0}{9.0} \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1.0$

l : 弦材の長さ(mm)

r : 断面二次半径(mm)

P_u : 引張抵抗係数(N)

M_{ux} : 曲げ抵抗係数(N・mm)

M_{uy} : モーメント(N・mm)

P_u : 軸力

圧縮材における一般条件

一般条件	$Kl/r < 120$
$\frac{P_u}{P_r} < 0.2$	$\frac{P_u}{2.0P_r} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1.0$
$\frac{P_u}{P_r} \geq 0.2$	$\frac{P_u}{P_r} + \frac{8.0}{9.0} \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1.0$

K : 有効座屈長係数(mm)

l : 弦材の長さ(mm)

r : 断面二次半径(mm)

P_u : 圧縮抵抗係数(N)

M_{ux} : 曲げ抵抗係数(N・mm)

M_{uy} : モーメント(N・mm)

P_u : 軸力

・鋼床版箱桁

箱桁として扱い、シェル要素でモデル化している。歩道部分やアスファルト舗装、リップ等のモデル化は省略したが、それらの死荷重は考慮されている。

・主構トラス

格点の結合は完全固定としてモデル化している。ビーム要素を用いてモデル化されており、要素数は 656, 節点数は 256 である。上弦材, 下弦材, 垂直材, 斜材の断面寸法を図-7 に示す。ガセットおよびダイヤフラムはモデルから省略した。主構トラスのビーム要素はトラス中心に配置し, 鋼床版シェル要素と主構トラスビーム要素は剛性が非常に大きい梁要素を用いて連結されている。

4. 照査内容

照査には荷重抵抗係数設計法(LRFD)を用いた。現行の道路橋示方書¹³⁾には, 荷重抵抗係数についての記載がない。過去の研究¹⁴⁾およびいくつかの指針¹⁵⁾¹⁶⁾に基づき, 死荷重に対して 1.25, 活荷重の内 L 荷重に対して 2.00, T 荷重に対して 3.80 と設定した。断面照査は, 架設工法が明確でないため, 供用時についてのみ行った。また基本的な照査は AASHTO¹⁷⁾によっている。

・鋼床版箱桁

スパン中央の正曲げ, 負曲げに関する断面照査と, 負曲げの影響が最も出る中間支点上の断面照

3.1 モデル化

FEM モデルを図-6 に示す。全要素数は 7528, 全節点数は 5433 である。

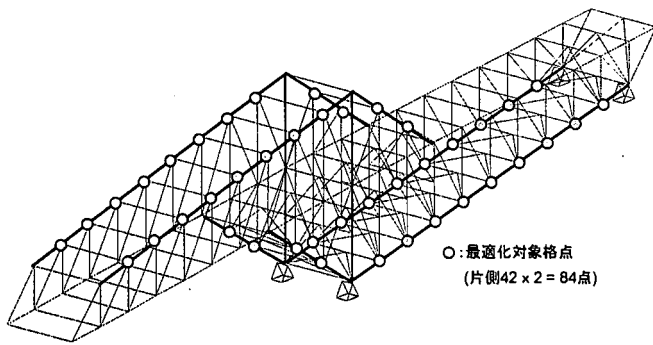


図-8 最適化対象部材（トラス橋の片側を表示）

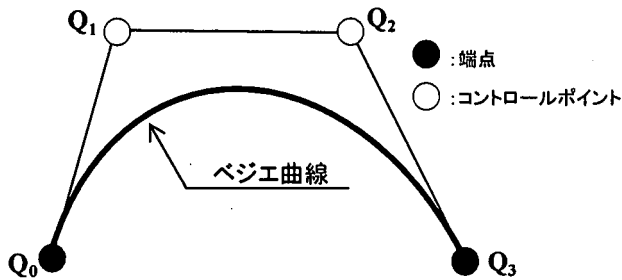


図-9 3次ベジエ曲線

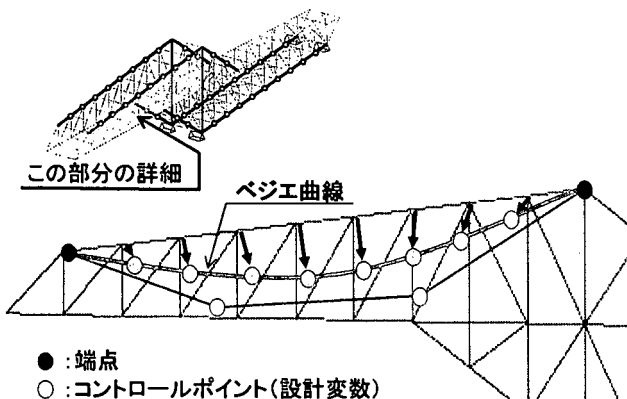


図-10 ベジエ曲線の適用

查を行った。(表-2)

・主構トラス

上弦材 48 本, 下弦材 52 本, 垂直材 116 本, 斜材 96 本の計 312 本については最適化計算の各段階で照査を行い, 制約条件として用いた。横構, 対傾構に関しては最適化計算後に照査を行った。弦材の設計条件を表-3 に示す。この規定は細長比・幅厚比に関するもの, および局部座屈を防ぐための規定である。

荷重パターンは以上より, 3 つの活荷重載荷パターンを設定した。なお, これらの照査内容は, 最適化手法において制約条件として取り扱われる事柄である。

5. 最適化手法

橋梁の構造最適化にあたり, 目的関数を鋼重最小化とした。設計変数は上下弦材の形状である。具体的には, 対照条件を考慮しても, 支承・鋼床版との結合部分を除く, 総数 84 点にのぼるトラス格点の 3 次元的な位置となる (図-8)。つまり総設計変数が 252 ということである。これらの設計変数を各々自由に変化させると最適解探索までの計算回数, つまり計算時間が莫大なものとなるうえ, 自由度が高いため収束しない可能性が高くなる。この問題に対し, 本研究では, ベジエ曲線¹⁸⁾¹⁹⁾というパラメトリック関数上に格点を等間隔に配置することにより設計変数を減らすこととした。

ベジエ曲線とはコンピュータ上で, 自由曲線を表すのに多く用いられている関数である。n 個の制御点 Q_i で構成される n 次ベジエ曲線は

$$\sum_{i=0}^n Q_i \times B_i^n(t) \quad (1)$$

と表される。ここで, $B_i^n(t)$ は Bernstein 関数と呼ばれ, 以下の式を満たす関数である。

$$B_i^n(t) = {}_n C_i t^i (1-t)^{n-i} \quad (2)$$

n=3 の場合は 4 点の制御点を持つベジエ曲線であり, 3 次ベジエ曲線と呼ばれる (図-9)。

$$P(t) = (1-t)^3 Q_0 + 3(1-t)^2 t Q_1 + 3(1-t)t^2 Q_2 + t^3 Q_3 \quad (3)$$

(0 < t < 1)

ここでは Q_0 と Q_3 を端点, Q_1 と Q_2 をコントロールポイントと呼ぶ。この式は, $t=0$ のとき Q_0 , $t=1$ のとき Q_3 となる。t が 0 から 1 に変化するとともに $P(t)$ の値は, Q_0 から Q_3 の順に移動していく (Q_1 , Q_2 とは交わらない)。この式から分かるようにベジエ曲線には, それを構成する 4 点の内, 端点で曲線と交わる性質がある。本研究ではこの性質を生かして, 図-10 のように端点をトラス端部に固定し, 2 つのコントロールポイントを 3 次元的に自由に変化させることとした。これにより, 各弦材において設計変数を $2 \times 3 = 6$ つに減らすことが可能である。上路部の下弦材 2 本, および下路部の上弦材 2 本に対して, 合計 4 つのベジエ曲線を用いるにより, 最終的には設計変数を 63 個から計 24 個に減少させた。

最適化には, 拘束条件付き勾配法の 1 つである修正実行可能方向法(MMFD)²⁰⁾²¹⁾を用いた。本手法は, 実行可能方向と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の反復を行う特徴がある。グリッドのように並列化されたコンピュータを用いた場合, 最適化手法にはその膨大な計算処理能力に合わせて GA を用いる方法が一般的

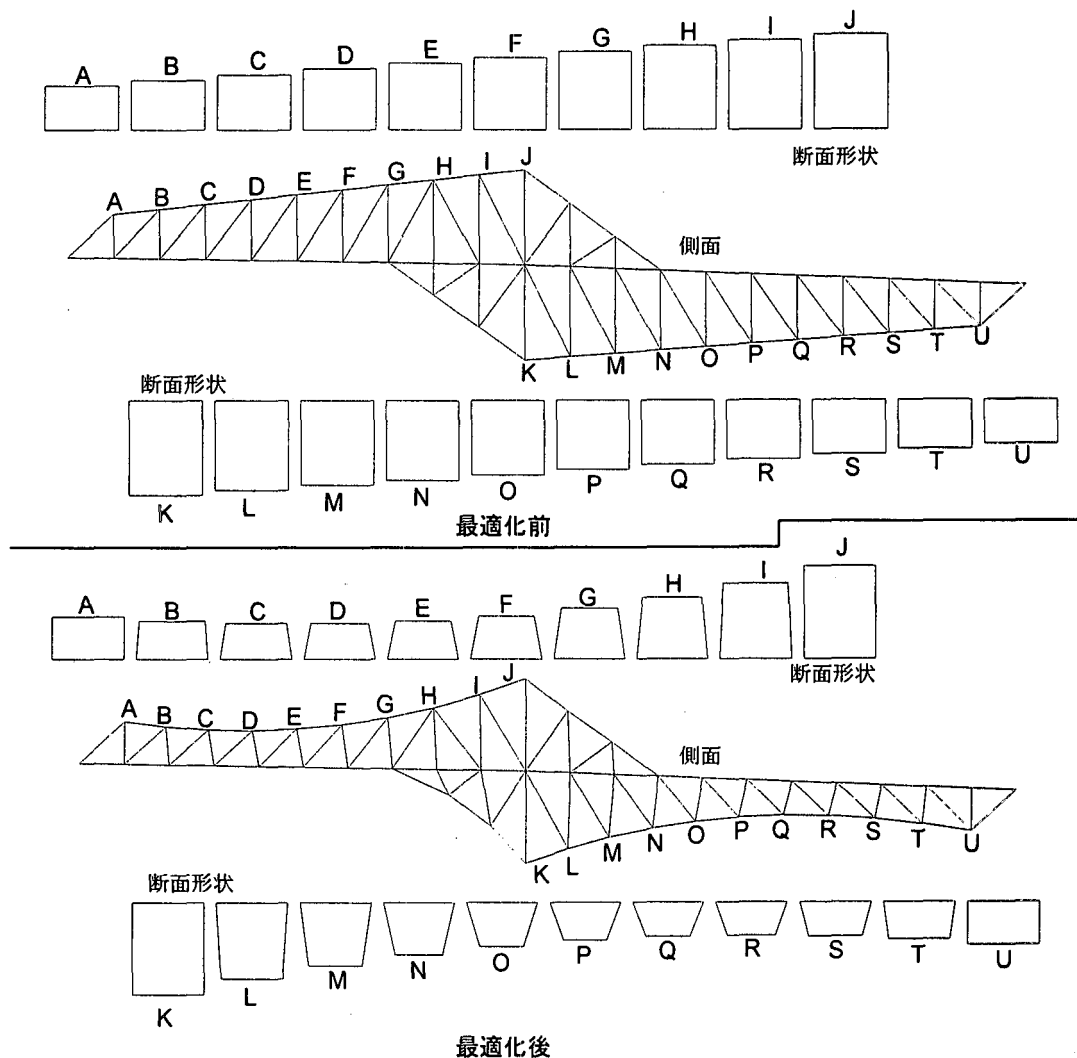


図-11 最適化前後のトラス形状

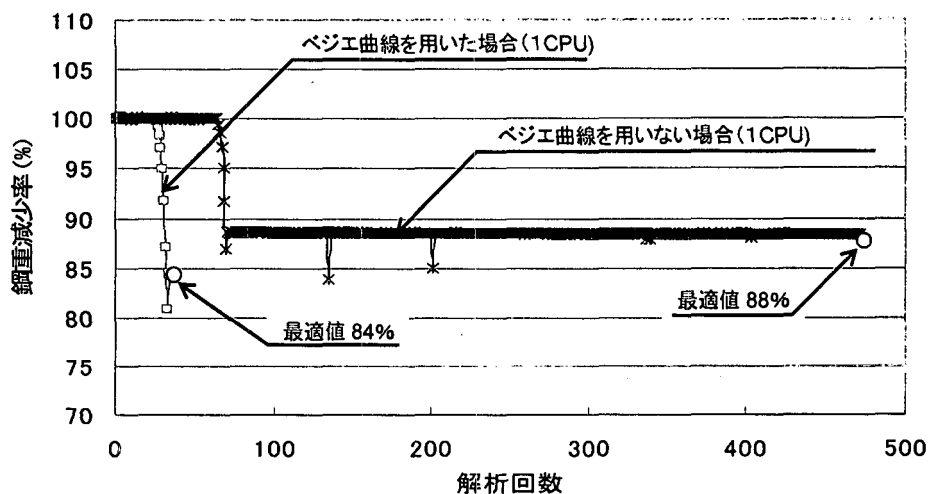


図-12 ベジエ曲線の適用による最適化過程の変化

である²²⁾²³⁾。しかしながら、本研究ではベジエ曲線を用いて設計対象を関数化しているため大域的な探索が必要ないこと、および、最適形状が凸または凹になることが経験上明確なことから、修正実行可能方向法を用いることとした。

6. シミュレーション結果

最終的に得られた最適設計結果を図-11に示す。目的関数である主構トラスの鋼重は、最適化前に比べて84%に減少した。最適化後には、上弦材は下に凸の曲線に、下弦材は上に凸の曲線になった。また、断面形状は台形に変化しており、3次元的に形状が変化していることがわかる。制約条件で

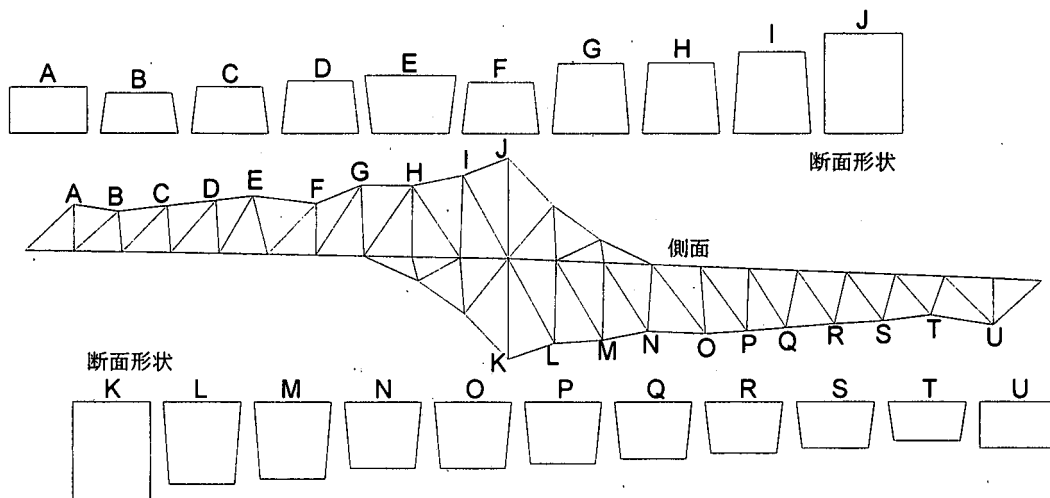


図-13 ベジエ曲線を用いない場合の最適形状

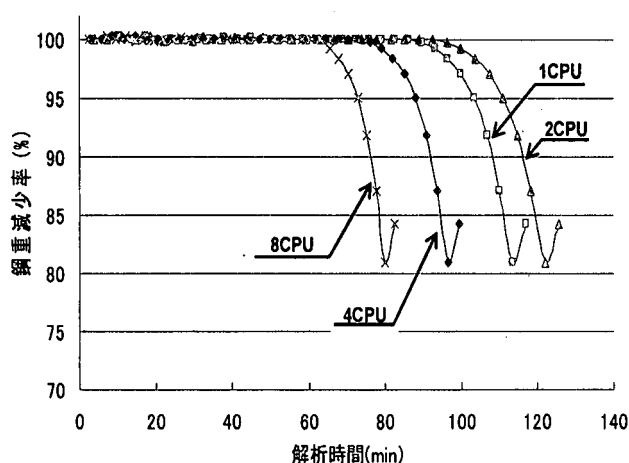


図-14 CPU 数による計算時間の違い

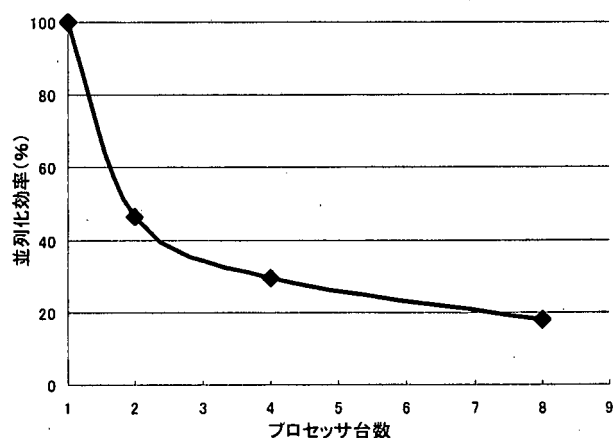


図-15 並列化効率

ある照査内容について、それぞれの入力変数を 1mm 小さくしてパラメータ解析を行った結果、終局限界状態が支配的な制約条件となって、引張りを受ける支点上の弦材形状が決定されていることが確認された。

6.1 ベジエ曲線の効果

図-12 にベジエ曲線を用いた場合と、用いない場合の最適化の様子を示す。双方とも 1 CPU により計算されているが、ベジエを用いたことにより、収束までの解析回数が 4 分の 1 まで減少している。しかも、収束時の鋼重減少率はベジエを用いなかった場合 88% であり、ベジエを用いた場合に比べて最適化されていないことが分かる。ベジエを用いなかった場合の最適形状を図-13 に示す。上弦材、下弦材ともにガタガタになっており断面形状も連続性がない。各点がそれぞれ移動しているため収束性が悪くなっている。また MMFD により探索方向が決定しても局所解に陥りやすく、解析回数を増しても、ほとんど最適化が進行していない。なお最適化過程において、鋼重減少率が最小値よりも低い値を取ることがあるが、これらは、直線探索の結果であり、いずれも制約条件を

満たしていない。

6.2 GRID 規模に応じた検討

提案手法を、並列化する CPU 数を 1, 2, 4, 8 個に変化させた場合の計算結果を図-14 に示す。感度計算の際、同時に実行されるタスク数は、並列処理を行った CPU 数と同数となっている。CPU 数が増加するにつれて、解析時間も短縮されると予想されたが、1 CPU と 2 CPU の場合では解析時間が 2 CPU の方が遅い結果となった。1 CPU の場合は、最適化ルーチンが動いているコンピュータ上で解析が行われたが、2 CPU 以上では最適化ルーチンが動いているコンピュータとは別のコンピュータで解析が行われている。そのため、並列化数が 2 CPU の場合は、コンピュータ間の通信が障害となり、解析時間が遅れる結果となった。なお、いずれの場合も、同様の形状に収束している。

コンピュータ 1 台での実行性能に対して、N 台での実行性能が何倍になっているかが並列加速率であり、これをプロセッサ数で割ったものが並列化効率である。この値が高い方が効率的にコンピュータ資源を利用しているといえる。図-15 に

プロセッサ数と並列化効率の関係を示す。並列化効率が50%以下であり、CPUリソースの利用という点からは並列化が有効であったとはいえない。これは複数CPUで処理されるFEM解析部分が、設計ルーチン全体において単独CPUで処理される部分に比べ、相対的に少なかったためである。つまり、FEMに精密なモデルを用いた、より一層実際の設計に近い形であった場合は、並列化部分が全体の中で相対的に大部分となるため、本手法は有効であるといえる。

7. 結論

有限要素法と最適化プログラムを組み合わせたトラス橋梁設計は、グリッド・コンピュータを用いることで、効率的に行うことが可能である。

グリッド・コンピュータを用いた場合も、1台の場合と同様の設計ルーチンを適用可能であり、計算時間を減少することが出来た。しかしながら、利用できるCPU数が少ない場合や、全てのルーチン中で並列化部分が相対的に少ない場合には、データ通信や並列化処理のために時間を要し、並列化を行うことで逆に時間を要してしまう可能性もあることが明らかとなった。

また、トラス弦材の格点がベジエ曲線上にあるように配置することで、最適化の効率を向上することが出来た。この際、最適化手法に修正実行可能方向法を用いることで、効率的に最適解を探索できることが確認された。橋梁のように形状が連続的に変化する構造物を最適設計する場合、ベジエ曲線による置換は幅広く使える手法である。

本提案手法は、コンピュータ技術を有効に利用することで、今後の橋梁設計手順を大きく変える可能性を秘めている。

謝辞

本研究を行うにあたり、株式会社CRCソリューションズの長谷川氏はじめ関係各位に多大なご尽力を頂きました。ここで深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) Iku Kosaka, Christophe Charpentier, and Brian C. Watson : AN INTERFACE BETWEEN SDRC I-DEAS AND THE GENESIS STRUCTURAL ANALYSIS AND OPTIMIZATION CODE , presented at the 8th AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symposium at Multidisciplinary Analysis and Optimization, Long Beach, CA September 6-8, 2000.
- 2) 石渡俊, 久保文男, 森泰之: 最適化ツール Genesis, Visual DOC, 樹脂射出成形解析システム

- IMAP/Remylop の最適化事例, 日本計算工学会 第5回講習会「実務に生かす最適設計」教材, 2001.
- 3) 菅沼久忠, 小西拓洋, 三木千壽: FEM と最適化ソフトの組み合わせによる鋼橋最小重量化設計の試み, 応用力学論文集, Vol.3, pp.225-233, 2000.
- 4) 鹿嶋浩: グリッド・コンピューティングの商用システムへの適応性, IBM プロフェッショナル論文, ProVISION NO 0 9.36 /Winter 2003.
- 5) 笠原博徳: 並列処理技術, コロナ社, 1991.
- 6) Smith, J., Hodgins, J., Oppenheim, I., Witkin, A. : Creating Models of Truss Structures with Optimization , Transactions on Graphics (SIGGRAPH '02), 21(3), pp.295-301, 2002.
- 7) プレスリリース 離散化数値解析法によらない並列処理用共通ソフトウェアプラットフォーム : http://www.aist.go.jp/aist_i/press_release/pr20020304/pr20020304.html.
- 8) Gerhard Venter and Brian Watson : Efficient Optimization Algorithms for Parallel APPLICATIONS , presented at the 8th AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symposium at Multidisciplinary Analysis and Optimization, Long Beach, CA September 6-8, 2000.
- 9) 桜庭雅明, 田中聖三, 樫山和男: PC クラスタを用いた ALE 並列有限要素法による非線形自由表面流れ解析, 応用力学論文集, Vol.4, pp.113-120, 2001.
- 10) Engineous Software inc. : iSIGHT 7.0 User's Guide
- 11) 加藤進: 3次元構造解析ツール SAPIV - 例題による SAPIV 利用技術の修得 -, 株式会社ソフトウェアセンター, 1996.
- 12) MSC Software: MSC. Patran 2003 Online Documentation
- 13) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編 2002年3月
- 14) 松井繁之, 神原康樹: 道路橋の限界状態設計法に向けての活荷重に関する基礎的研究, 構造工学論文集 Vol.35App419-431, 1989年3月
- 15) 鋼橋技術研究会 限界状態設計法研究部会: 限界状態設計法の書式による鋼道路橋設計指針, 1998年12月
- 16) 土木学会: 鋼構造シリーズ⑨A 鋼構造物設計指針 PartA 一般構造物 1997年版
- 17) AASHTO : LRFD Design specification 1996.
- 18) 磯田浩, 鈴木賢次郎: 図学入門 - コンピュータ・グラフィックの基礎 -, 東京大学出版会, 1986.
- 19) 島田静: CAD・CG のための基礎数学, 共立出版株式会社, 2000.
- 20) 山川宏: 最適化デザイン, 培風館, 1993.
- 21) 日本構造協会: 最適化手法の構造設計・解析への応用, 培風館, 1980.
- 22) 谷村勇輔: グローバルコンピューティング環境を利用した最適化手法に関する研究, 同志社大学工学部知識工学科知的システムデザイン研究室, 第40回月例発表会, 2001.
- 23) 三木光範, 廣安知之, 三村泰成, 谷村勇輔: PC-Cluster における並列分散 GA の実装, 計算工学講演会論文集, Vol.3, 1998.

(2003年4月18日受付)