

# 衝撃荷重を受ける骨組み構造のトポロジー最適設計

弓削康平\*<sup>1</sup>, 堀口淳司\*<sup>2</sup>, 原山勝臣\*<sup>3</sup>, 前田正裕\*<sup>3</sup>,

Topology optimal design of a frame structure subject to crushing loads

Kohei YUGE\*<sup>1</sup>, Junji Horiguchi\*<sup>2</sup>, Katsuomi Harayama\*<sup>3</sup>, Masahiro Maeda\*<sup>3</sup>

(Received July 31, 2003)

## 1 はじめに

乗員の衝突安全確保は自動車の構造設計において非常に重要である。本研究では自動車の対衝突構造設計に關する基礎的研究として衝撃荷重を受ける2次元骨組み構造の剛性を最大化するトポロジー最適設計アルゴリズムを開発したので報告する。

## 2 2次元骨組み構造の衝突解析アルゴリズム

本研究では最適化のための骨組み構造の衝突解析に時間積分法として中心差分法(陽解法)を用い、要素には1節点3自由度(2並進変位, 1回転変位)を有する1次のはり要素を使用した。幾何学的非線形性はステップ毎に節点位置を更新するUpdate Lagrange法によって考慮した。陽解法では計算時間の大部分が要素の内力計算に費やされる。特にはり断面の塑性域の進展を厳密に考慮すると格段に計算量が増える。そこで内力には応力を断面内で積分した断面力を使用し、これに近似的な塑性流れ則を適用することにより計算時間の短縮を計った。

断面力  $R$  とひずみの関係は次式で定義される。

$$\{R\} = \begin{Bmatrix} N \\ Q \\ M \end{Bmatrix} = [D] \begin{Bmatrix} \varepsilon \\ \gamma \\ \theta' \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに

$N$ : 軸力  $Q$ : せん断力  $M$ : 曲げモーメント

$\varepsilon$ : 垂直ひずみ  $\gamma$ : せん断ひずみ  $\theta'$ : 回転角の変化率である。弾性域では(1)式中の  $[D]$  は

$$[D] = \begin{bmatrix} AE & 0 & 0 \\ 0 & AG & 0 \\ 0 & 0 & EI \end{bmatrix} \quad (2)$$

$A$ : 断面積  $E$ : ヤング率  $G$ : せん断弾性係数  $I$ : 断面二次モーメントとなる。一方、塑性域での  $[D]$  は次式  $[D]^p$  となる。

$$[D]^p = [D] - \frac{[D] \left\{ \frac{\partial f}{\partial R} \right\} \left( [D] \left\{ \frac{\partial f}{\partial R} \right\} \right)^t}{\frac{H'}{A} + \left\{ \frac{\partial f}{\partial R} \right\}^t [D] \left\{ \frac{\partial f}{\partial R} \right\}} \quad (3)$$

ここに  $H'$  はひずみ硬化係数、また(3)式の  $f$  は塑性ポテンシャルおよび相当応力であり次式で定義される。<sup>1), 2)</sup>

$$f = \bar{\sigma} = \sqrt{\left( \frac{M}{Z_p} \right)^2 + a \left| \frac{N}{A} \cdot \frac{M}{Z_p} \right| + \left( \frac{N}{A} \right)^2} \quad (4)$$

$Z_p$ : 断面係数  $a$ : パラメータ

$a$  ははりの断面形状によって適当な値に変更する。

## 3 最適化手法

骨組みのレイアウト(トポロジー)を決定する手法としてグラッドストラクチャー法を用いた。グラッドストラクチャー法では許容設計領域に格子状に節点を配置し、初期状態として全ての節点間に同じ断面積の骨組み部材

\*<sup>1</sup> 機械工学科教授 (yuge@me. Seikei. ac.jp)  
 Professor, Dept. of Mechanical Engineering

\*<sup>2</sup> 機械工学科助手

\*<sup>3</sup> 機械工学科学部生

を配置する。続いて動的解析を実施して、目的関数が極小になる方向へ各部材の断面積を変更する。このとき制約条件として体積一定の条件を課す。目的関数の値が収束するまで動的解析と感度解析、設計変数の変更を繰り返し、最適形状を求める。制約条件つき最適化問題の解法として本研究では CONLIN 法<sup>3), 4)</sup>を用いた。CONLIN 法は目的関数および制約条件を凸関数条件を満足するように変換し、相対法を適用して解く方法であり、制約条件が複数とれ将来的に様々な最適問題に拡張が可能である。

#### 4 数値例

Fig. 1 に解析モデルを示す。体積一定を制約条件として、中心上段の節点に強制速度 10[m/s]をかけ約 0.23mの変位を与えた。Fig. 2 に最適化で求められた最適形状での変形結果を、Fig. 3 には目的関数の履歴を示す。目的関数が良好に収束している事がわかる。また、Fig. 4 は解析初期状態と最適化終了状態の荷重変位曲線を比較したものである。最適化によって骨組み構造のエネルギー吸収量が大幅に改善されていることが理解できる。

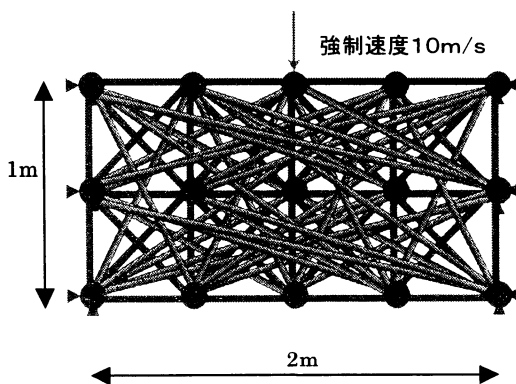


Fig. 1 解析モデル

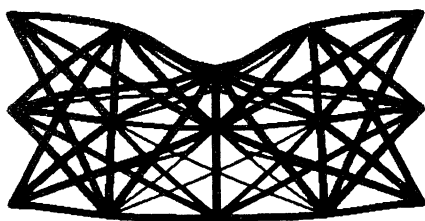


Fig. 2 解析結果

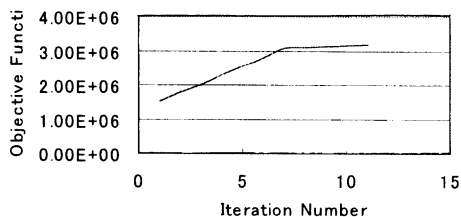


Fig. 3 目的関数と最適化回数

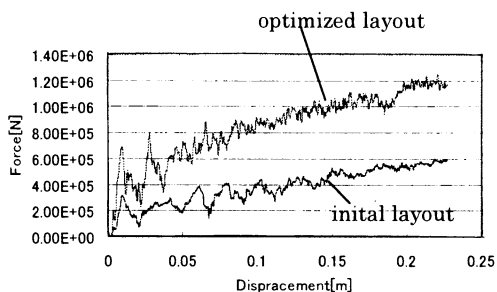


Fig. 4 荷重変位曲線

#### 5 まとめ

本研究では衝突変形を受ける2次元骨組み構造のトポロジー最適化問題をグランドストラクチャー法によって解析をするアルゴリズムを示した。断面力に近似的塑性流れ則を適用することによって解析時間の短縮を図った。数値例によっては目的関数が格段に改善されることを検証した。

#### 参考文献

- (1) 都井裕, 梁洪鐘, 小畑和彦「骨組構造の崩壊シミュレーション (その1)」日本造船学会論文集第 166, 号 (1989), 285-294
- (2) 都井裕, 梁洪鐘, 小畑和彦「骨組構造の崩壊シミュレーション (その2)」日本造船学会論文集第 167, 号 (1990), 169-177
- (3) C. Fleury 「CONLIN」 Structural Optimization (1989) vol 1, 81-89
- (4) 藤井大地, 松本慎也, 藤谷義信, 菊地昇 「グランドストラクチャー法による骨組構造物の位相最適化」構造工学論文集(2000)vol46B, 66-81