

風荷重に対する二次元空間構造の形状最適化

建築都市デザイン学科 2280070018-7 岡崎 純也
(指導教員 張 景耀)

1. はじめに

2011 年 11 月竣工予定の東京スカイツリーに象徴されるように最近、超高層ビルやドーム建築など、耐力はもちろぬ居住性にも風の影響を強く受ける建築物が増加している。それに伴いこれまで耐震設計に重点が置かれていた日本においても耐風設計に対する関心が高まり、建築構造設計において風荷重の把握の必要性が増してきている。風荷重を予測する方法としてはコンピュータによる数値流体解析と風洞実験がある。複雑な自然風をコンピュータでシミュレーションするのは容易ではなく現状、実務的手法としては風洞実験が利用されているが、急速な情報技術の発達は目覚ましいものであり、今後数値流体解析が構造設計で担う役割は大きくなるであろう。

本研究では既存の数値流体解析の手法と最適化の手法を組み合わせ、風荷重に対する形状最適化の手法を開発することを目的とする。

2. 概要

図 1 は本研究における最適化の概念図である。まず流れとしては数値流体解析によって構造物に作用する風荷重を計算し、それをもとに有限要素法によって各時間 Step のひずみエネルギーを出す。そのひずみエネルギーの平均値が本研究の最適化における目的関数（評価尺度）である。

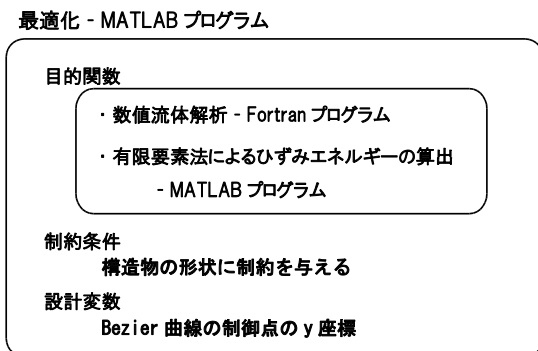


図 1 最適化の概念図

図 2 は数値流体解析のモデル図である。解析領域は $x \in [-400, 1000]$, $y \in [0, 400]$ (単位[m]), 構造物のスパンは 100m とし、左端から風速 $U[m/s]$ の一様流を流入さ

せる。

レイノルズ数は $Re = 2.1 \times 10^8$, 解析における 1Step の時間刻みは 0.1s とし、600Step まで解析する。

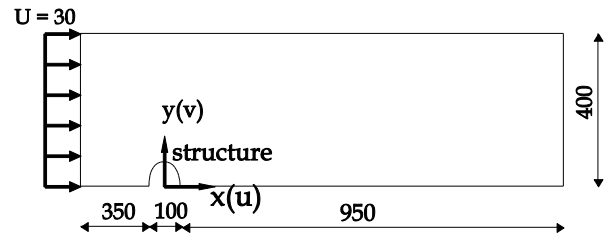


図 2 数値解析モデル

構造物表面は図 3 のように 6 つの制御点を持つ 5 次のベジェ曲線を使用する。両端の制御点は構造物支点で固定とし残りの 4 つの制御点を上下させることによって構造物の形状を変化させる。この 4 つの制御点の y 座標が最適化の設計変数となる。図 4 はメッシュの全体図である。なお、メッシュ作成には Delaunay 三角形分割を使用した。

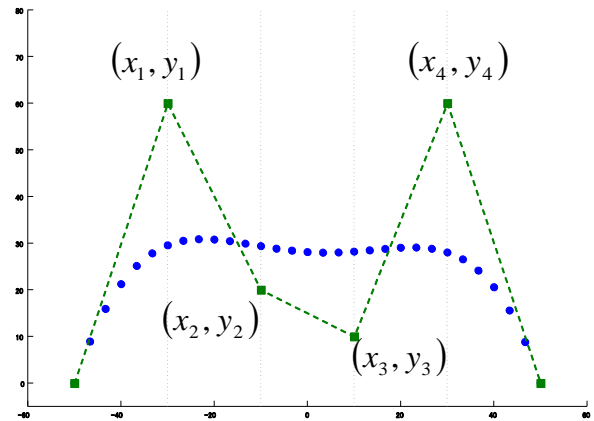


図 3 構造物表面 (Bezier 曲線)

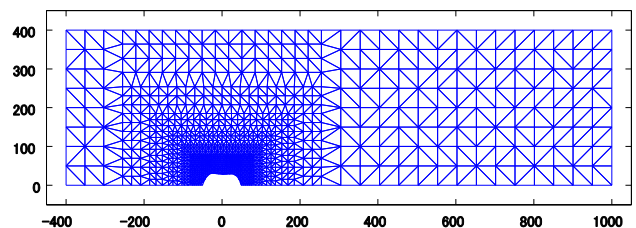


図 4 数値流体解析領域 全体図

3. 定式化

最適化の対象は構造物表面のみである。

目的関数： $F(y) = \bar{\Pi}$

設計変数： $y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{pmatrix}$

ここに $\bar{\Pi}$ は数値流体解析における Step401 から 600 までのひずみエネルギーの平均値である。また y_1, y_2, y_3, y_4 はベジェ曲線の制御点の y 座標である。

4. 結果

最適化の 1 例を以下に示す。

初期解：

制約条件：

$$y = \begin{pmatrix} 30 \\ 50 \\ 50 \\ 30 \end{pmatrix} \quad 1 \leq \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{pmatrix} \leq 70$$

なお、この例においては図 5 に実線で示す制約ポリゴンを設定しその中に入る構造物表面の節点数を n として以下の式に示すペナルティを科す。

$$\bar{\Pi} = (1 + 10n)\bar{\Pi}$$

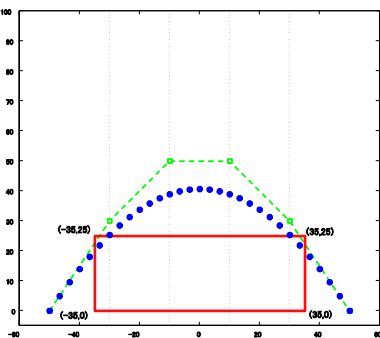


図 5 制約ポリゴン

表 1 最適化の結果

反復数	y				目的関数値
	y1	y2	y3	y4	
1	30	50	50	30	4433.776496
2	70	1	70	70	307.2420304
3	70	1	69.76441735	70	303.1094429
4	63.01139546	1	68.06241398	64.6542221	156.1685634
5	63.01110948	1	68.06229572	64.6539535	156.1671445
6	63.7232173	1.000003309	52.19071453	48.74046513	47.69460224
7	64.50781513	1.000004079	51.76831552	48.72019809	47.441942
8	62.00758066	1.00000204	51.43393472	47.28900434	43.30981597
9	60.64548348	1.00000102	52.80469156	48.14663024	42.117607
10	60.64505259	1.00000102	52.80486899	48.14663442	42.11705903
11	60.64391177	1.000001022	52.80384211	48.14519562	42.11228889
12	60.64391133	1.000001022	52.80382284	48.14520567	42.1122566
13	60.64391138	1.000001022	52.80382284	48.14520577	42.11224108
14	60.64391097	1.000001022	52.80382287	48.14520577	42.11223665

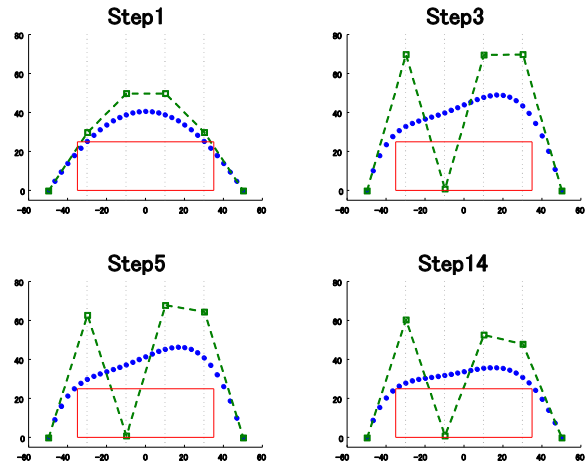


図 6 各 Step の構造物形状

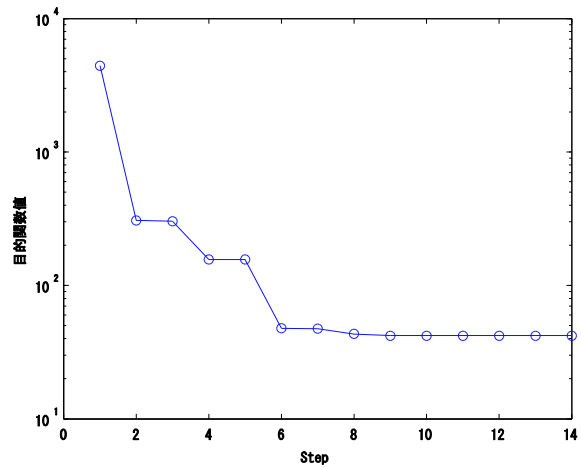


図 7 各 Step の目的関数値の推移

4. まとめ

本研究では上の最適化の例の他にもいくつかの例を行ったが、最適化において初期解の設定は重要である。特に数理計画問題では初期解を適当な値に設定しないと局所解に陥ってしまい、大局的最適解が得られないことがあるのでいくつかのパターンの初期解を与え、その目的関数が最小となるものを採用する必要がある。

最後に、本研究の今後の課題を以下にまとめる。

- ・ 流入風速の鉛直分布及び乱れの分布の考慮
- ・ 数値流体解析プログラムへの乱流モデルの導入
- ・ 実際の構造物の実験結果との比較による検証
- ・ 三次元への形状最適設計への拡張
- ・ 「構造-流体連成問題」における形状最適設計の適応

参考文献

- 1) 日本計算工学会：続・有限要素法による流れのシミュレーション、2008
- 2) 三井和男・大崎純・大森博司・田川浩・本間俊雄：発見的最適化手法による構造のフォルムとシステム、2004
- 3) 山田貴博監訳：有限要素法 ABAQUS Student Edition 付、2008