

II-4 地形風数値解析のための三次元地形モデリング手法の構築とその利用

中央大学大学院 学員 ○清水 仁
中央大学大学院 学員 山口 敏
中央大学 正員 樫山 和男

1. はじめに

一般地形による地形風の局所的な把握に関する研究については、主に風洞実験に依存しているのが現状である。しかし、風洞実験は相似則や境界条件の妥当性等の解決すべき問題点がある。一方、近年、計算機性能の飛躍的な向上も相まって、上記の問題のない数値実験の有効性が認められつつあり、数多くの数値計算手法が提案されている¹⁾²⁾。

地形風の数値解析の実用化を進めていく上で、地形をいかに正確かつ迅速にモデル化するかということが問題となる。従来、地形情報を獲得する手段として幾つかの方法が用いられてきた。一つには、建設省 国土地理院より刊行されている数値地図の利用が挙げられる。数値地図は日本国土のほとんどを網羅しており、データの入手が容易であるという長所があるものの、メッシュ幅が最小のものでも50m×50mと、道路や建物といった構造物や、微地形を表現するにはいたらない。一方、地形図の等高線等必要となるデータをハンド・デジタイザによりコンピュータ上に入力するという方法も広く用いられている。デジタイザによる入力は、必要に応じてデータ量を自由に調節できるという長所があるが、入力の軌跡は数値データとしてしか残らないので、どの情報を入力したのかわかりにくくなることがあり、また手作業に依存してしまうことから情報の処理に多くの時間が必要となってしまう。

本論文は、上記の問題点を解決した地形風数値解析のための三次元地形モデリングシステムを提案するものである。大型スキャナ、及びCADを用いた三次元地

形モデリングシステムの内容と、それを用いた有限要素解析モデルの作成例を示す。そして、それを用いた地形風の数値解析を行うとともに、可視化例を示し、本手法の有効性を検討する。

2. ハードウェア構成

本システムが稼働するハードウェア構成は表-1に示すとおりである。地形モデリングは、近年のパソコン性能の著しい向上により、従来EWS上で稼働していた地形データ・スキャニングシステムがパソコンでも動作可能となったことで、システム構築は格段に安価な費用で実現することができるようになった。また、パソコンはEWSと比較すると、オペレーションやメンテナンスが平易で、しかも多くのソフトウェアが出回っているため、ユーザーのニーズに合わせたシステム構築が可能である。

微地形を正確に表現するには細かく多量なメッシュを用いるため、解析には膨大な計算機容量、及び高速な計算処理速度が求められる。解析に用いるハードウェアは、適宜選択する必要があるが、並列計算機を用いるのも有効である。

表-1中のハードウェアは全てイーサネットでLAN接続されているので、マシン間でのデータの受け渡しが可能である。

3. 三次元地形モデリングシステムの概要

本論で用いた三次元地形モデリングシステムの概要を簡単に説明する。まず、地形データの入手には、既成

表-1：ハードウェア構成

サブシステム	メーカー／機種名	仕様
(a) スキャニング 及び 等高線ベクトル化	富士通 FMV-6200T5 スキャナ (context ScanPlus III 800T)	CPU : Pentium Pro (200MHz) RAM : 128MB OS : Windows95
(b) 解析領域作成	SGI Indigo	CPU : R4000 (100MHz) RAM : 96MB OS : IRIX5.3
(c) 解析	VT-Alpha 500AXP	CPU : DEC 社 Alpha21164A (500MHz) RAM : 512MB OS : Windows NT
(d) 可視化	SGI Indy	CPU : R4400 (150MHz) RAM : 64MB OS : IRIX6.2

のラスター型地形図を用いる。今回は兵庫県香住町余部を対象地域としており、1986年(昭和61年)12月28日、余部鉄橋から回送中の列車が折からの突風(風速25m)にあおられ、鉄橋より転落するという実際に風が原因となる事故が起きた場所である。

この対象地域を含む地形図を大型スキャナで読みとり、得られたラスター・イメージをCAD上でベクトル化する。そして得られたベクトルデータに三角形パッチを貼りつけて地表面形状を表現し、三次元モデリングを行うという流れである。(図-1)

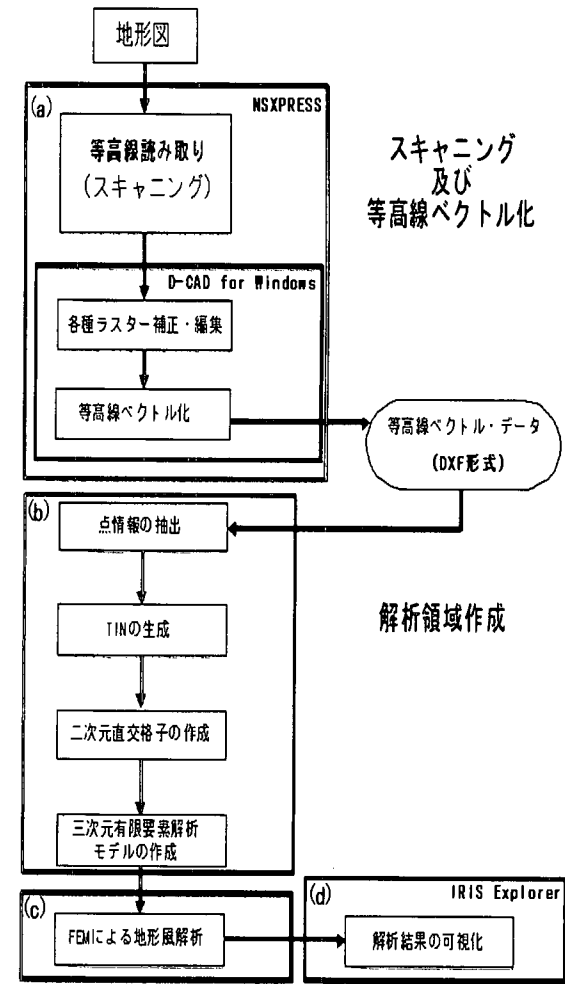


図-1 : システム概要

3.1. スキャンニング

対象となる地域の地形図を大型スキャナで読みとり、ラスター・イメージを獲得する。本システムで使用するスキャナは「context ScanPlus III 800T」で、A0用紙サイズまでのスキャンニングが可能である。事例として今回用いた地形図は1/25,000地形図「余部」である。

そして、得られたラスター・イメージに対し四点補正を行う。これは、スキャンした図面の四角をプロットし、x方向、y方向の正確な長さを入力することで、紙

のゆがみや傾きを補正するというものである。さらには、ゴミ取り(文字や地図記号、埃等の消去)、不要な領域の削除等、各種ラスター編集を施すことにより、精度良く、かつベクトル化しやすいラスター・データを作成する。

3.2. 等高線ベクトル化

本システムではベクトル化ソフトとして、新日鐵社の「NSXPRESS」上で稼働する「D-CAD for Windows」を使用している。得られたラスター・データの等高線を、D-CAD上の等高線追跡機能を利用し、コンピュータと対話しながらベクトル化を行うので、作業を高速かつ正確に行うことができる。また、等高線追跡のパラメータを変えることで、デジタイザによる入力と同様に精度、解析領域の大きさ等、必要に応じて獲得するデータ量を自由に調節できるのも、本システムの大きな特徴である。さらに、CADデータ特有のレイヤー構造により属性情報の入力が可能なため等高線、道路、建物データ等の種類別に、解析に必要なもののみを取り出すことも容易である。等高線のみをベクトル化したものを図-2に示す。

そして、ベクトル化されたデータをDXF(Drawing Interchange File)形式に書き出す。DXFとは、米国オートデスク社のAutoCADが、新旧バージョン間でのデータ交換のためにオートデスク社が規定した変換用フォーマットであり、現在では、異なるCAD間でのデータ交換用の中間ファイルとして普及している。また、DXFはAsciiタイプのデータなので、任意に読み書きが行える。

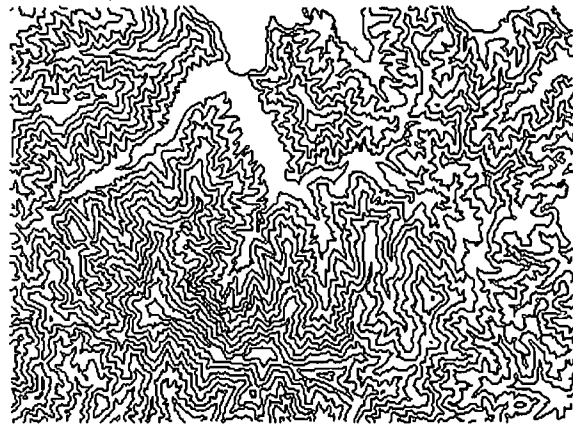


図-2 : ベクトル化後の等高線

3.3. TINの生成

ベクトル化された等高線は曲線を多数の点同士をつなぐ微小な直線で近似して表現している。そこで、DXFから点情報のみを抽出し、その全ての点同士をDelaunay三角形分割法³⁾⁴⁾により不等辺三角形網(Triangulaed

Irregular Network; TIN) を生成し, 三角形パッチを貼りつめることで, 地表面形状を表現する。(図-3)

Delaunay 三角形分割法を適用する際, 等高線が閉じている部分では二重節点が存在し, 正確な TIN を作成することができないので, これを取り除く必要がある。

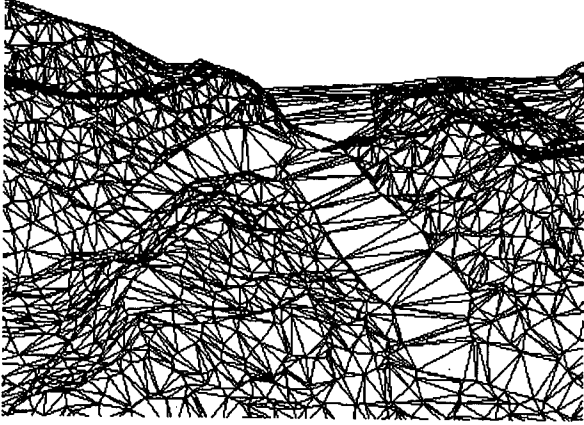


図-3 : TIN (余部鉄橋付近拡大)

4. 有限要素解析モデル作成

4.1. 二次元直交格子の作成

三次元解析領域作成の前処理として, 二次元直交格子を作成する. 生成された三角形網上に, x 座標, y 座標を任意の数で分割して新しく格子点を発生させる. そして各格子点がどの TIN に含まれるかを判断した後, 該当する TIN を構成する三点を用いて, 次の補間式⁵⁾より各格子点の標高値 h を求める.

$$h = \Phi_1 h_1 + \Phi_2 h_2 + \Phi_3 h_3$$

h_1, h_2, h_3 は TIN を形成する三節点の標高値を表し, 補間関数 Φ_1, Φ_2, Φ_3 は次のように定義される.

$$\Phi_\alpha = a_\alpha + b_\alpha x + c_\alpha y \quad (\alpha = 1, 2, 3)$$

ここで,

$$\begin{aligned} a_\alpha &= \frac{1}{2\Delta} (x_\beta y_\gamma - x_\gamma y_\beta) \\ b_\alpha &= \frac{1}{2\Delta} (y_\beta - y_\gamma) \\ c_\alpha &= \frac{1}{2\Delta} (x_\gamma - x_\beta) \end{aligned}$$

(x_α, y_β) は TIN を形成する三節点の座標値, Δ は TIN の面積を表す. 以上の過程により TIN から二次元直交格子状に変換したものを図-4に示す. これは, 数値地図の標高データと同義のものであり, かつ任意の格子数に分割できるので, 微地形を正確に表現し得る数値標高モデル (Digital Elevation Model; DEM) が獲得できる.

4.2. 三次元有限要素解析モデルの作成

二次元直交格子を鉛直方向に任意の層数積み上げ, 三次元有限要素解析モデルを作成する (図-5). この方法で作成された三次元メッシュは高さ方向の層数が一定であり, また, 大気境界層を考慮し, 地表付近で細かく, 上層ほどサイズの大きいメッシュにしているため, 地形風数値解析において精度, 及び効率の良い計算が期待される.

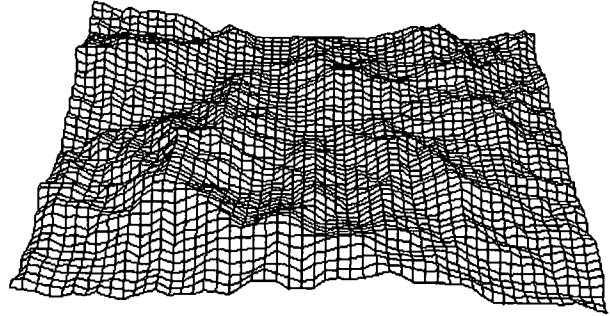


図-4 : 二次元直交格子

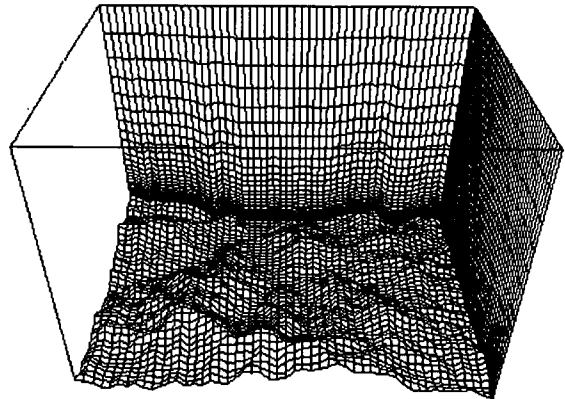


図-5 : 三次元有限要素解析モデル

5. 地形風数値解析例

5.1. 基礎方程式

本報告で提案するモデリング手法を FEM に適用し, 三次元非圧縮粘性流れを考える. 以下に, 無次元化された基礎方程式を示す²⁾.

連続式;

$$u_{i,i} = 0 \quad (1)$$

運動方程式;

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j u_{i,j} = -p_{,i} + \frac{1}{Re} u_{i,jj} + \frac{1}{Fr^2} \rho e_i \quad (2)$$

質量保存式;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u_i \rho_{,i} = w \quad (3)$$

ここで、 i は i 方向の流速、 p は圧力、 Re はレイノルズ数、 Fr はフルード数、 ρ は密度、 w は鉛直方向流速、 e_i は基底ベクトルで鉛直方向のみ-1である。

上記 (1) , (2) , (3) 式を安定化有限要素法⁶⁾により離散化し、地形風の数値解析を行った。

5.2. 解析モデル

本報告では本システムを用いて作成した、図-6に示す三次元孤立峰まわりの流れ解析を行った。なおラスタ-データの入手には手書きのものをうい、同様にスキャニングして作成した。境界条件は表-2に示すとおりである。

表-2：境界条件

流入境界	上層境界	側方境界	物体表面、下層境界
$u = 1.0$ $v = 0.0$ $w = 0.0$ $\rho = 0.0$	$w = 0.0$	$v = 0.0$	$u = 0.0$ $v = 0.0$ $w = 0.0$ $\rho = 0.0$ (物体表面は除く)

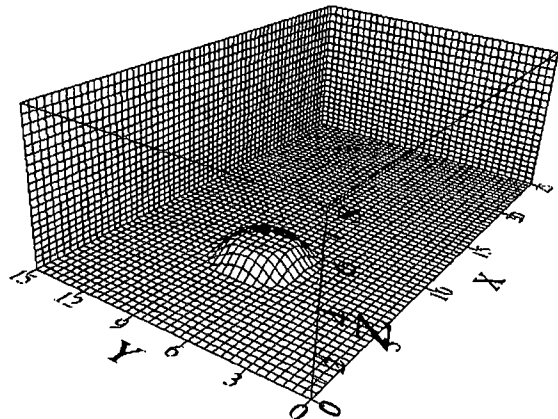


図-6：解析モデル

5.3. 可視化

可視化には、三次元可視化ソフト IRIS Explorer (英国 NAG 社が開発・販売)⁷⁾を用いた。IRIS Explorer は、モジュール構造をとっているのでカスタマイズ性に富んでおり、モジュールを組み合わせることで様々な可視化を行うことができるのが特徴である。

地形風数値解析の可視化例として孤立峰まわりの流速ベクトル (図-7) , 及び流跡線 (図-8) を示す。

6. おわりに

本報告では、大型スキャナと CAD を用いた地形モデリング手法を提案した。本手法により、複雑な微地形を正確に表現した微細メッシュの迅速な作成が可能となった。また、本手法を地形風解析手法、及び可視化手法と結合させることにより、有効な地形風解析システムの構築が可能となる。

今後は、地形に加え土木構造物を含めた領域に対するモデリングや、水域を含めた地形モデリング等、利用目的に応じたシステムの改良を進め、汎用性のある地形モデリングシステムの開発を行う予定である。

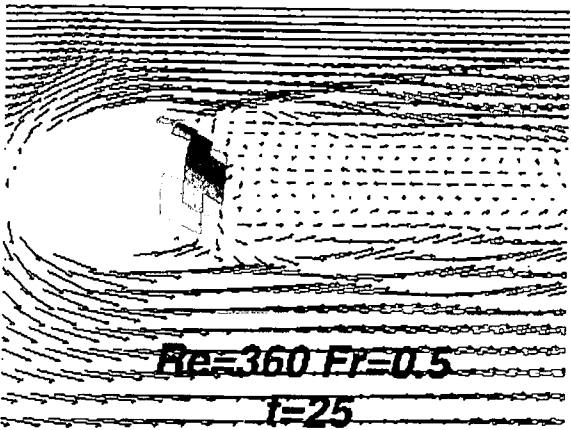


図-7：流速ベクトル

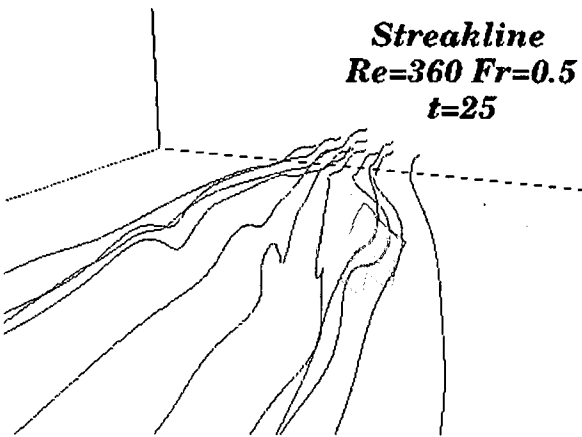


図-8：流跡線

参考文献

- 1) 串岡清則, 斉藤通, 本田明弘, "複雑地形まわり流れへの流動解析の適用", 第 13 回風工学シンポジウム論文集, pp579-584, 1994
- 2) 内田孝紀, 大屋裕二, "地面上の 3 次元物体を過ぎる安定成層流の数値解析", 第 10 回数値流体力学シンポジウム論文集, pp304-305, 1996
- 3) 檜山和男, 岡田毅, "水面波動解析のための最適自動要素分割システムの開発", 土木情報システム論文集 1992 年度, pp57-64, 1992
- 4) 谷口健男, "FEM のための要素自動分割", 森北出版, 1992
- 5) K. Kashiya, M. Kawahara, "Input data of water depth in FE analysis of shallow water flow", Eng. Comput., Vol. 2, pp266-270, 1985
- 6) 檜山和男, 猪俣渉, "混合補間要素を用いた非圧縮粘性流れ解析のための高精度安定化有限要素法, 土木学会論文集 (印刷中)
- 7) IRIS ExplorerTM User's Guide, Silicon Graphics, 1991.