

力学モデルに基づく最適曲面の自動構成システム

1X-9

阪井和男 加藤剛史 古沢 実 向殿政男

明治大学

1. はじめに

電力土木工事における大規模な地下工事を実施するには、地質構造を把握することが重要である。

ここでは、地質調査で行われるボーリングデータから、それらを結ぶ最適な3次元曲面を生成するための力学に基づいた新手法を提案する。

地質境界面は3次元空間内の開曲面とみなせる。この曲面を推定する方法として、地質調査ではボーリングによる1次元サンプリングを行う。つまり、ボーリングによる局所的なデータから地質境界面の3次元形状を推定できればよい。ところが、ボーリングによって明らかになるデータは、地質境界面の位置座標 R_{ai} と、境界面のボーリング軸からの傾き角 θ_{ai} の2つであり、境界面を決定するために不可欠な軸回りの回転角 ϕ_{ai} についてはボーリングの性質上決定出来ない。ここで添字 αi は、 α 番目のボーリングの i 番目の境界面を意味する。

もし、十分多数のボーリングデータが与えられている時は、ボーリングデータのうち境界面の位置座標のみを用いて、比較的精度の良い境界面形状が得られる。

しかし、ボーリングデータが十分に与えられることは少なく、まばらなボーリングデータから境界面を推定せざるを得ないことが多い。この場合、ボーリングデータから得られるもう一つのデータ、ボーリング軸からの境界面の傾き角 θ_{ai} を生かす必要がある。つまり、軸回りの回転角度 ϕ_{ai} をいかに決定するかという問題が残される。

本報告では、軸回りの回転角度を力学モデルに基づいて、自動的に逐次的に決定する方法を提案する。

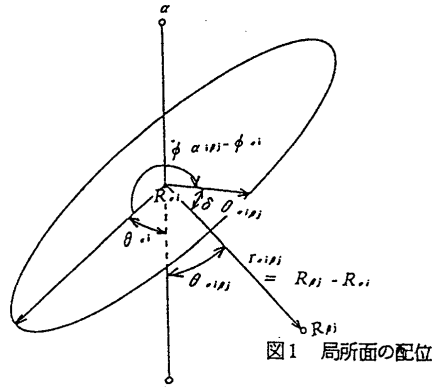


図1 局所面の配位

ば良いから、評価関数は、結局、次式になる。

$$E_{ai}(\phi_{ai}) = \sum_{j} E_{aij}(\phi_{ai}) \dots (3)$$

上式は、評価関数 E_{ai} に対する回転角 ϕ_{ai} の最適化問題とみなせる。

そこで、次式によって ϕ_{ai} を決定することにする。

$$\frac{d\phi_{ai}}{\tau} = - \frac{\partial}{\partial \phi_{ai}} E_{ai} \dots (4)$$

実際の計算には、この式を差分化して、

$$\phi_{ai}(t + \Delta t) = \phi_{ai}(t) - \frac{\Delta t}{\tau} \frac{\partial}{\partial \phi_{ai}} E_{ai} \dots (5)$$

という表式を用いる。以上より、結局

$$\phi_{ai}(t + \Delta t) = \phi_{ai}(t) + \sum \frac{\Delta t \tau_0}{2\tau} \frac{k_{aij}}{r_{aij}} \cos \theta_{ai} \frac{\sin(\phi_{aij} - \phi_{ai})}{\sin(\theta_{aij} - \delta \theta_{aij})} \times \sin(2\delta \theta_{aij} - 2\delta \theta_{aij}) \dots (6)$$

によって、軸方向の回転角を逐次代入的に決定すればよい。

本方法と類似の方法が、最近、田村によって概念マップ生成システム [1] に応用され、良好な結果が得られている。

3. システムの概要

本報告においては、sun4 上において、S 言語を用いてプロトタイプを構築し、数値実験を行った。

システムに与えるデータは4つで、地質図作成専門家に使われるフォーマット用いて入力できるようにしている。

これらのデータファイルは、

- f・1: 座標軸決定用データ。
- f・2: 回転軸 (ボーリング) の位置、傾きのデータ。
- f・3: 局所面の位置、傾斜角度、傾斜方向のデータ。
この際、傾斜方向を実際に値を入力するか、または、欠損値として入力するかで、固定面、自由回転面の区別がされる。
- f・4: 各局所面間の関係データ (平面・上、下に凸)

出力には、特定の3次元曲面を作成できるように、一つの局所面に対し3点の位置データを出力する。

今回の実験では、出力データをS言語の3次元図形表示関数に与えて、実際に3次元曲面として表示させた。

2. 自動逐次調整法の概要

まず、注目する局所面は α 番目のボーリング軸の i 番目の局所面とし、これと接続する近傍の局所面の中心座標を β 番目のボーリング軸の j 番目の位置座標とする (図1)。そして、注目する局所面 $\{R_{ai}, \theta_{ai}, \phi_{ai}\}$ に対し、 $R_{\beta j}$ との接続を考える。

ここで、残された自由度は ϕ_{ai} である。 ϕ_{ai} を調節すると、図1の角 $\delta \theta_{aij}$ が変動する。 $\delta \theta_{aij}$ はボーリングと $R_{\beta j}$ とを含む面上の角である。したがって、 $\delta \theta_{aij}$ は、 ϕ_{ai} の関数とみなせる。

次に $\delta \theta_{aij}$ についての評価関数を次の性質を満たすように決定する。

- (1) $\delta \theta_{aij}$ の目標角は $\overline{\delta \theta_{aij}}$
- (2) $\overline{\delta \theta_{aij}}$ の前後で下に凸の関数
- (3) $\delta \theta_{aij}$ は180度回転しても等価
- (4) 接続距離 r_{aij} が小さいものほど有効
- (5) 接続位置間に任意の重要度 k_{aij} を設定する

以上を考慮し、2点間の評価関数を次式で与える。

$$E_{aij}(\phi_{ai}) = \frac{1}{2} \frac{\tau_0}{k_{aij}} \times \sin^2(\delta \theta_{aij} - \overline{\delta \theta_{aij}}) \dots (1)$$

ここで、 τ_0 は特徴的な接続距離を意味し、最小のボーリング間距離を用いればよい。また、

$$\delta \theta_{aij}(\phi_{ai}) = \arccos[\cos(\theta_{ai})\cos(\phi_{aij} - \phi_{ai})] - \theta_{aij} \dots (2)$$

である。

さて、複数の接続条件がある場合には、すべての和を取れ

An Automatic Interpolation System Constructing 3D Curvature from a Group of Point Data

Kazuo Sakai Takeshi Katoh
Minoru Furusawa Masao Mukaidono
Meiji University

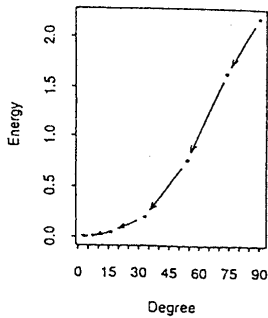


図2 評価関数上の推移 (傾斜平面)

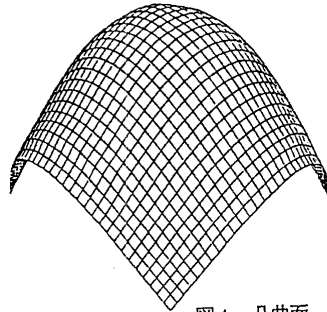


図4 凸曲面

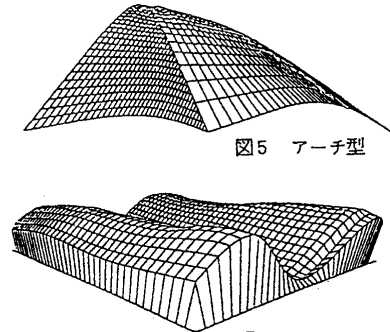


図5 アーチ型

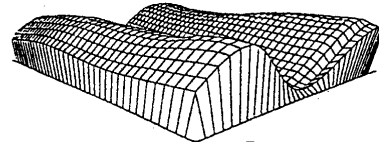


図6 波状曲面

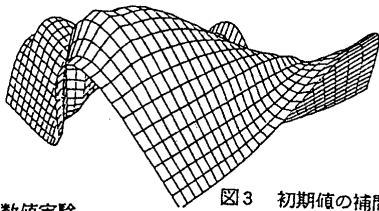


図3 初期値の補間曲面

4. 数値実験

今回、データとして与える形状としては、1) 凸曲面、2) アーチ型曲面、3) 傾斜平面、4) 波状曲面の4種類。回転軸はZ軸に平行。各回転軸に一つの局所面を持たせ、全ての局所面は自由回転できるものとする。回転軸は、1) ~ 3) は平面の角に置いた4本、4) は平面の角と、平面の内側の2本、計6本とする。

軸の位置と角度、局所面の位置と傾斜角度は、目的の形状になるように与え、局所面の傾斜方向を欠損値として計算を行い、目的の形状が描けるような回転角 ϕ_{ai} を求めさせる。ただし、回転角 ϕ_{ai} の初期値は全て乱数で与え、1)、2)、3) については同じ値を初期値としている。

数値実験の結果は表1に示す。どの形状であっても、計算回数30回前後で収束条件に達している。評価関数 E_{ai} の推移を図2に示した。このグラフより、最適値への収束はかなり早いことがわかる。

図3は、1) ~ 3) の初期値を補間した3次元図を示している。図4~6は計算後の3次元図である。このように全くランダムな形状であっても目的とする形状に到達している。

図6は計算後の波状曲面である。こちらも目標とした形状を得られている。

(表1) 計算結果

形状	初期値	収束値	収束回数	備考
平面	$\beta = 45^\circ$ $\phi = 138^\circ$ $\delta\beta = 0^\circ$	$\phi = 2.483^\circ$	35回	
凸型	$\beta = 45^\circ$ $\phi = 138^\circ$ $\delta\beta = 30^\circ$	$\phi = 45.0^\circ$	27回	図4
アーチ型	$\beta = 45^\circ$ $\phi = 138^\circ$ $\delta\beta = 0, 30^\circ$	$\phi = 8.735 \times 10^{-5}$	28回	図5
波状	$\beta = 45^\circ$ $\phi = 90^\circ$ $\delta\beta = 0, 30^\circ$	$\phi = -9.706^\circ$	37回	図6

(収束条件) $\rightarrow \text{Max}(\Delta \phi_{ai}^2) < 10^{-8}$

評価関数 E_{ai} を図7~8に示す。この2つは、第3節での1・4の各局所面間の関係データのみ異なっていて、目的の3次元図を描く回転角度が最小となっている。

今回の実験の収束条件は、各角度の変化量の二乗和のうち最大値を取り出して、その値が 10^{-8} 以下、つまり、変化量の最大が $\pm 10^{-4}$ 以下となり、かつ、計算回数20回以上になった時としている。図9に最大2乗誤差の推移を示す。

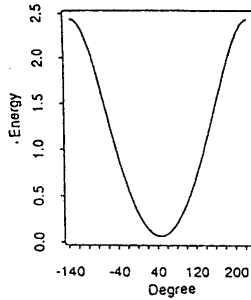


図7 評価関数 (凸曲面)

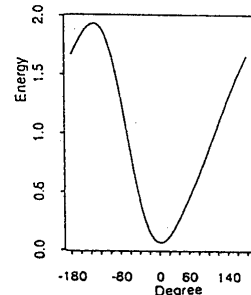


図8 評価関数 (アーチ型)

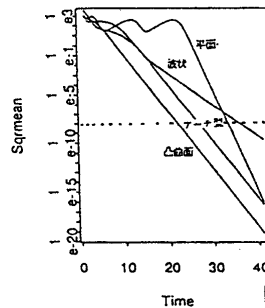


図9 最大2乗誤差の推移

これらの結果が示すように、全体的には良好な結果が得られ、この新手法の有効性を示すことが出来た。

5. 終わりに

各局所面の力学に基づいた自動逐次決定法を提案し、その有効性を示すことが出来た。

今後は、本システムをS言語から他の言語 (C言語) に移植し速度の問題の解消にあたるともに、実際の地質図に対する有効性を確かめる予定である。

<参考文献>

[1] 田村淳: "記号間の力学に基づく概念マップ生成システム SPRINGS": 情報処理学会論文誌 Vol. 33 No. 4 pp. 465-470, 1992