

III-55 システム同定によるシールド自動掘進データの解析例

中部電力(株) 横水 紀宣
 佐藤工業(株) 関本 昇
 " 正員○大西 豊

1. はじめに

全自動化に向けて開発が進められているシールド工法では、その技術の中核をなす自動方向制御システムの実施例が増えている。これに伴い蓄積されてきた自動掘進データは、自動方向制御システムをさらに発展改良していくために活用されなければならない。そのためには、適切な解析が必要となる。本論においては、システム同定による解析例を報告する。これは、シールドの方向変化特性を確率モデルで同定しようとするものである。この解析には、同一シールドの一樣な土質、線形で多くの自動掘進データを必要とする。泥土圧式シールドにおいてこのような条件を満たした1000m以上の自動掘進施工が行われたので、そのデータを用いてシステム同定を試みた。以下にその概要を述べる。

2. 同定の目的

ここで行うシステム同定の目的は、自動方向制御システムの机上シミュレーションによる制御方式の改良である。方向変化特性を確率モデルで表わすことができれば、実機による制御と同じ現象を計算上でも復元することができる。すなわち、シールド機のスペックの違いや土質の変化などに対して、事前に改良や新規開発を行うことができる。

3. 同定の手順

システム同定は、確率モデルの想定、シミュレーション、シミュレーション結果と実掘進データとの比較、検証の繰返しとなる。

シミュレーションは、実機方向制御システムと全く同じ動作を行う制御演算処理プログラムを稼働させて行う。シールドの方向変化は、確率モデルにより発生させる。最初はランダムな確率モデルからシミュレーションを始め、少しずつ想定される物理的要因について条件を付加していく。

確率モデルの検証は、数値的な方法が望ましいと思われるが、これについては今後の研究課題として、ここではシミュレーションと実掘進の方向変化のグラフ形状を比較することとした。

4. 確率モデルの想定

本自動方向制御システムによる制御方式では、図-2に示す数値モデルによる制御を行っている。実際の自動方向制御では、このモデル式どおりにならず制御偏差が生じる。この制御偏差がどのような確率モデルにしたがって発生するのが明確になれば、シールドの方向変化特性を同定することができる。この制御偏差の確率モデルは以下のものを想定して、順次シミュレーションを行った。

- ① 正規分布モデル 正規分布する一様乱数の確率モデル。
- ② 動的処理を付加 正規分布モデルに、方向履歴を考慮した次式による確率モデル。

(方向履歴：シールドが過去に向いていた方向)

$$\beta = \text{ran} + F(y_1, y_2, y_3, y_4)$$

β : 外乱、 ran : 乱数、 y_i : 方向履歴

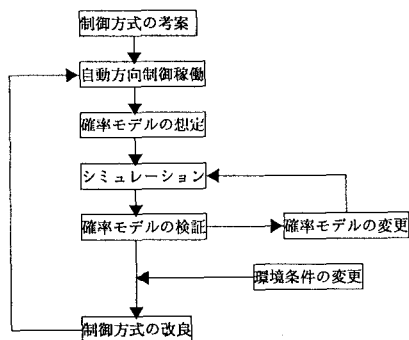


図-1 システム同定のフロー

$$M_s = A \cdot Y_o + B + \alpha$$

$$\alpha = F(S_i, S_{i-1}, S_{i-2}, \dots)$$

A : 比例係数(ゲイン)
 B : オフセット量
 M_s : 指令回転モーメント
 Y_o : 目標方向変化量
 α : 補償値
 S_n : 制御偏差

図-2 制御基本数値モデル

5. 同定結果

システム同定に用いた自動制御データは、表-1に示す工事で得たものである。1000mを越える疑似地盤をほぼ直線区間で掘進したもので、これらのデータの中から、連続する5リング間でかつ各リングの開始時の方向偏差が0.1度前後の区間を抽出した。これは、シミュレーション条件をそろえることにより、シミュレーション結果の比較を容易にするためである。図-3は、実際の自動掘進データを、図-4、5は、シミュレーションによる結果を示している。グラフの縦軸は、推進10センチ間の方向変化量、横軸は推進距離である。

表-1 工事概要

工事名	275kv西ルート(岩上~千成5)洞道新設工事	
発注者	中部電力株式会社	
工法	泥土加圧シールド 中折れ式	
口径	φ4,490mm	
機長	5,860mm	
土質	洪積砂層(砂)	N ₆₀ =20~50
延長	1800m	

シミュレーションは、実掘進データと同様に5リング間連続して行った。図-4は正規分布モデルにより、図-5は動的処理を付加した確立モデルによる結果である。前述のように、各掘進開始時は、約0.1度の方向偏差があったものとした。

正規分布モデルによる場合は、実際の制御とは異なっている。一方、動的処理を付加したモデルでは、比較的实际のものとなっていて、これは、シールドの方向変化特性は、シールドが過去に向いていた方向(方向履歴)が今後の方向変化に影響すること、制御演算処理にもそれを考慮した動的処理をしていることによると考えられる。これらの結果は、確率モデルを構築するときに、方向履歴を考慮する必要があることを示しているといえよう。

6. おわりに

本論で示した分析結果は、本工事の特徴でもある長距離区間での解析を試みた結果である。単一条件下での同定が高い精度でできれば、線形、土質などの変化にも拡張していく予定である。種々の条件下での確率モデルが想定できれば、本来の目的であるシミュレーションが可能になる。

この自動方向制御におけるシステム同定の手法は、土圧制御や流体制御などのシールド工事における他の自動制御システムにも適用できるものと考えている。

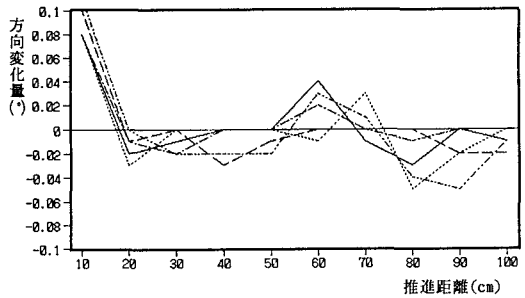


図-3 自動方向制御システムによる掘進結果

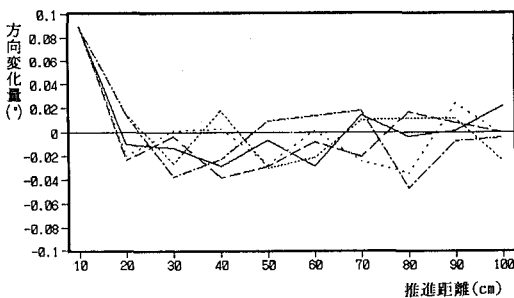


図-4 一様乱数によるシミュレーション結果

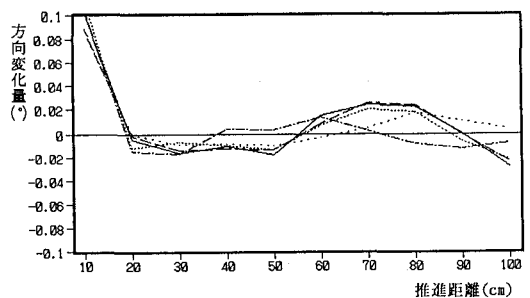


図-5 動的処理を付加した乱数によるシミュレーション結果