

III-26 シールドの自動方向制御におけるダイナミック処理

佐藤工業株式会社 正 大西 豊
 石川島播磨重工業株式会社 田方 茂佳
 株式会社東京計器 梅野 貢一

1. はじめに

シールドの目標の方向変化量（以下、目標値）から必要な回転モーメントを出力する数値モデル（図-1）による自動制御方式は、いくつかの現場で良好な自動掘進を実現している。しかし、自動方向制御では本来その長所である即応性（感度）が高いことにより、セグメントの組み立てによるシールドの変動の影響を受けることがある。このような外乱に対処するために、目標値の設定にダイナミックな解析手法を採用し実施したのでその一部について報告する。

2. 数値モデルによる制御

シールドの方向変化量と回転モーメントには深い相関がある。この相関を基本にした数値モデルによる自動方向制御では、それでも高精度の自動方向制御ができることが確認されている。ただし、数値モデルによる自動制御では、一般に外乱が生じたときの修正動作において、振動や制御遅れが発生する確率が高いといわれるので、外乱には別個に対応する方法を備えていなければならない。

シールドでは、セグメントの組立によるシールドマシンの変動という大きな外乱がしばしば発生する。その状況を示す図-2、3から明らかのように、大きな変動となることがあり、それには規則性がみられず予測は困難である。この変動が大きいときは、次のリングの掘進開始時から大きな修正動作をかけるため振動や制御遅れが起こる確率が高くなる。本自動方向制御システムでは、数値モデルのゲインを高くして制御遅れを防止し、目標値に動的な解析手法を取り入れることにより振動を抑制する方法を適用している。

3. 静的な解析による目標値の設定方法とその実施例

数値モデルの目標値は、シールドの方向の計測値をもとに設定される。方向の現在値のみから目標値を設定すると図-4に示すように振動が発生することがあった。

$$Y_o = G_s (y_n)$$

Y_o : 目標値 G_s : 関数

y_n : 方向データ（推進10cm毎） n : 現在

この振動の原因は、セグメント組立によるシールドの変動であると考えられる。この変動がその後の掘進に影響を与えていると想定できる。シールドは周囲を地山に囲まれているが、これまで向いていた方向は地山の拘束が少ないと推測される。そのため、その方向には向きやすいと考えられる。これらのことから、目標値には動的な解析が必要であると判断した。

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

$$\alpha = F(S_1, S_{1-1}, S_{1-2}, \dots)$$

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-1 制御基本数値モデル

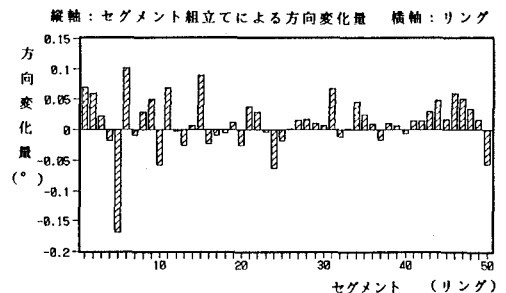


図-2 セグメント組み立てによる変動（方位）

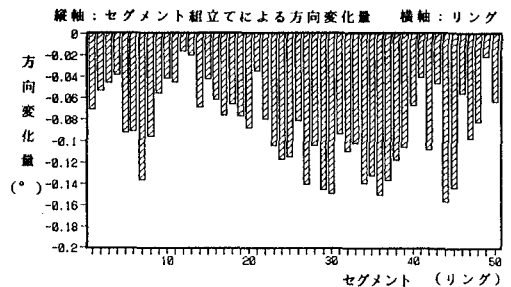


図-3 セグメント組み立てによる変動（ピッチ）

4. 動的な解析による目標値の設定方法とその実施例

まず、前のリングの掘進方向の影響は受けないとして、セグメント組立後の掘進開始時から現在までシールドが向いていた方向（方向履歴）が、今後の方向変化に影響すると仮定した。そこで、掘進開始後から現在までのすべての方向データをもとに、次の目標方向を設定する方法を採用した。

$$Y_o = G_{D1} \cdot (y_1, y_2 \cdots y_n)$$

Y_o : 目標値 G_{D1} : 関数

y_i : 方向データ（推進10cm毎） n : 現在

この方法による掘進実績では、図-5に示すように外乱が大きくても振動が起らず変動を修正している。

次に、シールドの方向履歴の影響は推進の最新40cmの区間だけであり、それ以前は受けないと仮定して、最新40cmの区間の方向データをもとに目標値を設定する方法を実施した。

$$Y_o = G_{D2} (y_{n-3}, y_{n-2}, y_{n-1}, y_n)$$

Y_o : 目標値 G_{D2} : 関数

y_i : 方向データ（推進10cm毎） n : 現在

40cmの推進までは、前者の方法と同じであり、前のリングの影響は受けないとしている。このときの掘進状況を図-6に示す。この方法においても振動は抑制され、良好な修正制御が行われている。

これら2つの手法とも非常に良好な結果が得られており優劣はつけがたい状態であるが、外乱の影響が早期に解消することもあると予想されるので、後者の方法を現在適用している。

5. 考察

目標値の設定に動的な解析を用いることにより、数値モデルによる自動制御では良好な掘進ができることが確認された。このことから、シールドの方向変化は、方向履歴に依存するという仮説が正しいことを実証的に確認できた。振動は防止できるので、ゲインを高め設定して感度をよくすると、本自動方向制御システムの主要な機能である補償回路が有効に作用して、制御遅れも防止することができる。これらのダイナミックな解析手法を取り入れることにより、自動制御の精度は非常に高くなり、方向を計測するセンサーの精度に制約されるほどのレベルに達している。

6. おわりに

自動方向制御において振動と制御遅れがほとんど発生せず、シールドの方向を設計方向に安定に保つ本自動方向制御システムの制御理論は、シールドに適した独特の制御理論と判断している。ソフト上だけでなく、シールド本体においても圧力制御方式を取り入れ、さらに制御精度の向上を図っている。

この自動方向制御システムは、多くのシールドに現在適用されており、良好な自動掘進を行っている。

<参考文献>

桐谷、他 「ジャイロコンパスによるシールドの自動方向制御システム」、土木学会第44回年次講演会

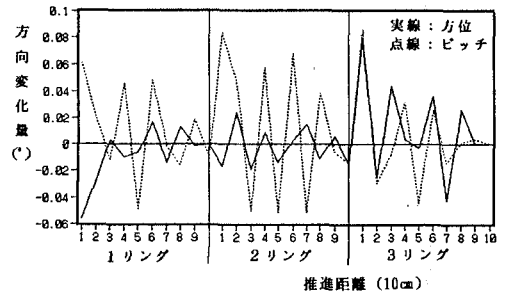


図-4 静的な処理による方向制御状況

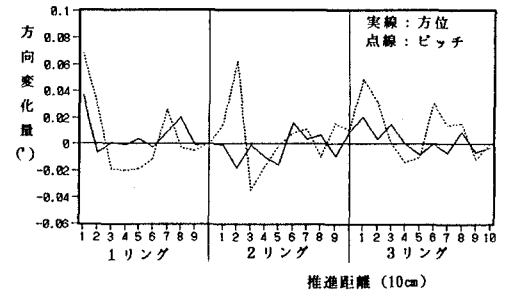


図-5 動的な処理による方向制御状況（1）

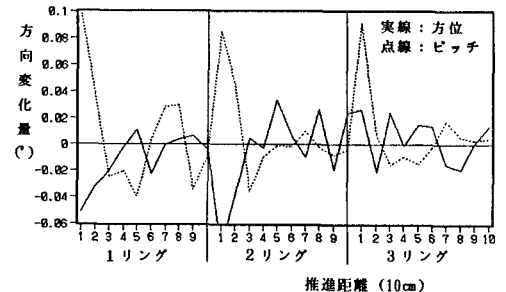


図-6 動的な処理による方向制御状況（2）