

III-30

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—比例制御処理について

佐藤工業(株) 正員 大西 豊
石川島播磨重工業(株) 田方 茂佳
(株) 東京計器 梅野 貢一

1. はじめに

外径φ7.25mの泥水式シールドにおいて、「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」を導入した。N値0の軟弱シルト層の中を700m以上連続して自動掘進を行った。その間ほとんどシールドを設計線から±20mm以内に保って掘進することができた。本論では、本制御システムで用いた比例制御回路を中心にその演算処理状況の一部を報告する。

2. 比例制御処理の内容

シールドの方向制御に影響する因子は、土質、シールドと地山の摩擦力、あるいは粘着力、切羽前面土圧、シールド自身の癖やこれまでの掘進ラインの影響など数多くある。ここで用いた方向制御理論は、シールドの掘進特性を把握する「統計処理回路」と、それにより得られた比例係数（ゲイン）によって掘進中に比例制御し、制御偏差が発生したときは、回転モーメント量のオフセット量を逐次補正する「補償回路」を有した「比例制御処理回路」に分けられる。「比例制御処理回路」では、目標方向の設定、最適回転モーメントの算定、そのモーメントを発生するジャッキパターンの選択、そして、制御結果の検証と補償という一連の演算ループ処理を掘進中単位距離ごとに行っている。そして、ある一定以上の制御偏差が連続して発生したときは、統計処理回路にシフトして、ゲインを求め直す。

3. 制御偏差の補償

本システムで行っている補償方法は、統計処理回路によって得られたオフセット量を制御偏差によって逐次補正する方法をとっている。この方法では、大きな制御偏差が発生したときに即時補償を行なうことは、後に大きな影響をおよぼす恐れがある。そのためには、制御偏差の最大最小をカットして数10cm分の制御偏差の移動平均値で補償をおこない、急激な制御を抑制しながら微妙な土質の変化に対しては、こまめな制御を加えることにより、掘進終了時点では、この偏差の影響を残さないようにしている。

〈比例制御処理回路の基本式〉

$$MS = A \cdot Y_0 + B + \alpha$$

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

A : 比例係数（ゲイン）

B : オフセット量

MS : 指令回転モーメント

Y_0 : 目標方向変化量

α : 補償値

S_n : 制御偏差

4. 1リング以内の自動制御状況

1リング以内の自動掘進によるジャッキパターンの変化を図-1に示す。この図のような、複雑にパターンを変更させることは、人間の制御ではなかなかできない。人間の制御では、変化量が多くなり、シールドに無理な方向変化を与えることにより掘進特性をも乱してしまうことがある。図-2は、1リング内の掘進での方向変化量—回転モーメントの散布図である。1リング以内の相関係数は、ジャッキパターンの変更が多いことや無理な方向変化などがないために、非常に高い相関係数が得られ、それにともない制御精度も高くなるのが特徴である。図-3は、指令値とそれによる制御結果の実測値をプロットしている。掘進開始時は、セグメント組み立ての影響によりシールドの方向偏差が大きいが、掘進中に設計方向に対して±0.02度以内に速やかに修正されている。以上の自動制御の結果は、ごく一般的な掘進例である。自動制御では、「振動」や「制御遅れ」などが発生することがあるが、全て許容内に納まる範囲で、補償やゲインの変更によって対処することができた。なお、本システムでは、使用しないジャッキも無負荷で追従する全ジャッキ無負荷追従システムを採用しているため回転モーメントの変更が早く、合わせて決め細かな比例制御により安全かつ迅速に適正な制御をすることができる。

5. 推進結果

自動推進の結果非常に決め細かな制御をすることができた。本システムを使用することにより、シールドの方向を常に最適方向に対して 0.02 度以内に保って推進することができ、蛇行が発生することがなかった。

統計処理回路により得られた比例係数（ゲイン）より、比例制御回路では、高めのゲインを設定するようにしていたことにより、「制御遅れ」はほとんど無かったが、「振動」の発生は若干見られた。本シールドで発生した振動は、推進距離 10 cm の制御ピッチの周期なので、線形管理の範囲では無視できる微小な値である。しかし、様々なシールドで本システムの制御理論を適用するに当たって、より高精度の制御システムへと発展させていくためには、振動の防止は重要な課題である。本システムでは、振動防止などの制御精度をさらに高めるため、目標値の平均化処理や将来進行予測の利用なども併用している。

6. おわりに

本システムが良好な結果を得ることができたのは、回転モーメント—方向変化量の関係の補償を、オフセット量により行ったことが、シールドの制御にとって非常に有効に働いたと思われる。本システムは、様々なシールドで使用可能な理論として構築しており、現在、様々な工法、外径、土質のシールドで利用している。これらについても、データをまとめて報告する予定である。

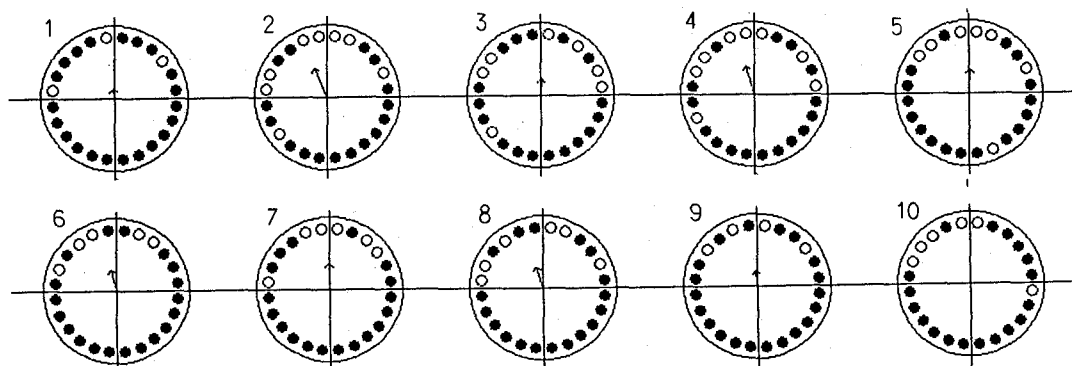
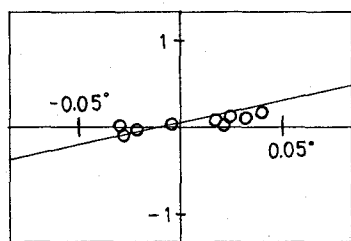


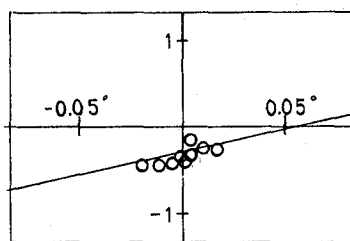
図-1 10 cm毎のジャッキパターンの変化

横軸：方向変化量

縦軸：回転モーメント

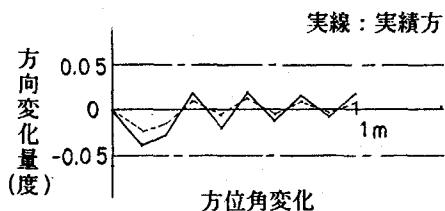


回転モーメント—方位角変化量

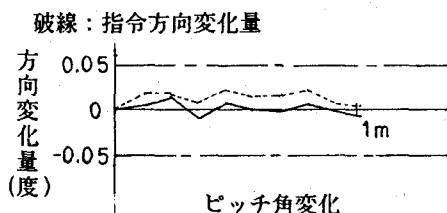


回転モーメント—ピッチ角変化量

図-2 回転モーメント—方向変化量の相関



実線：実績方向変化量



破線：指令方向変化量

図-3 自動方向制御による推進結果