

VI-105

カルマン・フィルタを用いたシールド自動誘導システム

武蔵工業大学 工学部 土木工学科 正会員 星谷 勝
東急建設㈱ 施工本部 土木技術部 正会員 ○酒井邦登

1. はじめに

シールド工法は、その作業が、①切羽の安定、②シールド掘進、排土、③ライニングの3要素のくり返しであるため、土木分野の中では比較的、自動化に適していると考えられる。しかし、シールドの自動誘導システムには、ゼネコンや建設機械メーカーが取組んではいるものの、種々の技術的問題点を克服できず、計測結果に基づいた制御を含めた自動運転にまでは発展していない。

著者らは、逐次型最小自乗法とも言ふべき制御理論の一つであるカルマン・フィルタ^{(1)・(2)}を用いたシールド位置の予測と制御手法を開発した⁽³⁾。この手法によれば、シールド位置の計測結果から、将来点の位置を精度良く予測することができる。また、制御に関しては、通常の掘進状況での誘導だけでなく、予測結果に基づいて目標到達点までの修正用軌道を設定し、これに要する最適ジャッキ稼働パターンの選択によりシールド機を誘導できることが確認されている。

この方法を有効に用いて、シールド機の自動誘導を行なうために、小型コンピュータを用いたフィードバック・ネットワークを構築した。続いて、シールド位置に関する自動運転を実施工で行ったところ、非常に良い結果を得たため、システムの構成と特長に関して報告するものである。

2. 自動誘導システムの概要

シールドの自動誘導システムは、図-1に示すように、以下のシステムで構成されている。

①自動測量システム

高精度かつ省力的な施工のためには、不可欠の測量システムである。

④ジャイロコンパス方式

小口径、急曲線に対応

⑥レーザ方式

中・大口径、直線に対応

②掘進管理システム

切羽状況や掘進状況を小型コンピュータを用いて短い計測間隔で、全自動計測するシステムで、如何なるシールド工事にも対応できる汎用性を有する。自動誘導システムの中核を成すシステムで、自動制御システム、自動測量システムを統合する働きも有する。

③自動制御システム

シールドジャッキの完全自動運転を行うもので、カルマン・フィルタ理論を用いた予測・制御を可能とした独自のシステムである。

3. 自動誘導手法

カルマン・フィルタ理論とは、シーケンシャルにデータを取り込みながら、その最適推定値を逐次修正することの可能な近代制御理論の一つであり、バラツキや誤差を含む対象系の解析を可能とするだけでなく、シーケンシャルに取り込んだデータを処理するたびに廃棄できることから、小規模容量の小型コンピュータにおいてもオンライン制御が簡単に実行可能となる等の利点を有している。そこで、自動誘導システムでも、予測と制御の両方にカルマン・フィルタ理論を用いることとした。

(1) 予測手法

路線線形についてはリアルタイムに計測するものの制御にまで発展しておらず、計測データの処理手法と処理速度等の問題から、シールド機の挙動に制御が追従できていない。熟練技術者の経験により事前に傾向

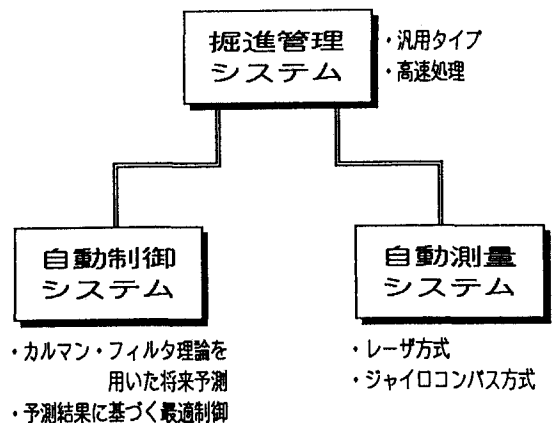


図-1 システム概念図

の把握を試みているが、リアルタイムに定量的な予測を行うまでには至っていないことから、ここに適切な統計的予測を組み込めば、事前に制御することが可能になると考えた。

この手法によれば、従来より望まれていたシールド機の何点か先の将来予測位置を精度良く算出することができ、事前制御の前提条件となると考えられる。

統計的解析に使用する数式モデルは自己回帰モデル[autoregressive (AR) model]とし、基本式は式[1]に表現される。

$$x_t = \sum_{i=1}^N a_i \cdot x_{t-i}, \quad y_t = \sum_{i=1}^N b_i \cdot y_{t-i} \quad [1]$$

ここに、 $x_t(y_t)$:掘進距離 t での計画路線からの水平(鉛直)方向偏差、 $a_i(b_i)$:AR係数、 N :自己回帰モデルの次数、である。

(2) 制御手法

路線線形の制御に必要な方向力(偏心モーメント)を可観測であるジャッキ稼働パターンと線形に関連づけると、式[2]に示される。

$$V_x = \sum_{i=1}^m \frac{P}{n} \cdot (x_i - x_0) \cdot S_i, \quad V_y = \sum_{i=1}^m \frac{P}{n} \cdot (y_i - y_0) \cdot S_i \quad [2]$$

ここに、 $V_x(V_y)$:水平(鉛直)方向偏心モーメント、 m :ジャッキ総数、 n :ジャッキ稼働数、 (x_0, y_0) :ジャッキ図心(座標)、 P :全推力、 (x_i, y_i) :ジャッキ作用点(座標)、 S_i :ジャッキ稼働の有無(有:1, 無:0)、である。

式[3]に示すように、偏心量と偏心モーメントの関係式を作成した。

$$\frac{\partial^2 x_t}{\partial t^2} = K_x \cdot V_{xt}, \quad \frac{\partial^2 y_t}{\partial t^2} = K_y \cdot V_{yt} \quad [3]$$

ここに、 $K_x(K_y)$:水平(鉛直)方向変換係数、である。

そこで、カルマン・フィルタ理論による回帰分析により、常時、最適の線形回帰式を把握することができる。最適ジャッキ稼働パターンは、推定された最適変換係数を用いて、必要偏心モーメントと可能ジャッキ稼働パターンによる偏心モーメントの自乗誤差を最小にすることで求められる。

4. ネットワーク構成

カルマン・フィルタ理論を用いた自動誘導ソフトを効率的に利用するために、センサ、コントローラ、コンピュータ、アクチュエータをつないで、フィードバック・ネットワークを構成した。このネットワークによれば、計測機器からの時々刻々と変化する現場状況に基づいて、常時、最適な制御量を算出し、自動でジャッキ操作を行なうことができる。図-2にフィードバック・ネットワークを示す。

5. おわりに

紹介したシステムを施工に適用し、自動誘導を試験的に行なったところ、良い結果が得られ、シールド機は最適ジャッキ稼働パターンの選択により誘導できることが確認された。

今後、実測データへの適用を増やし、熟練オペレータとの比較、偏心モーメントと偏差の関係、および曲線部での施工時の挙動等、未解明な点を検討していく予定である。

参考文献

- (1) たとえば、片山徹:応用カルマンフィルタ, 朝倉書店, 1983.
- (2) たとえば, Jazwinski, A.H.: Stochastic Processes and Filtering Theory, Academic Press, 1970.
- (3) 酒井・星谷:カルマン・フィルタを用いたシールド位置の予測と制御, 土木学会論文集, 第385号/VI-7, 1987.9.

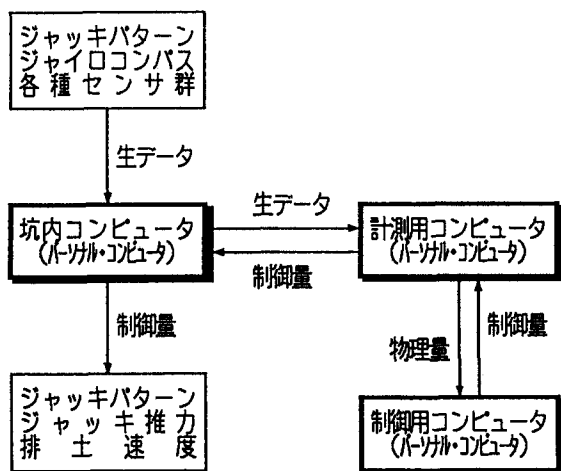


図-2 フィードバック・ネットワーク