

新しい制御指標を導入した地下水修復のファジイ制御

○(株)フジタ 技術センター 正 昌 俊郎
 防衛大学校 システム工学群 正 宮田喜壽

1. はじめに

汚染地下水の修復に地下水揚水法を適用する場合，調査結果にもとづいて最も効率が良いと考えられる場所に修復井戸を配置することが求められる。しかしながら，揚水処理が進むにつれて汚染物質の分布状況が刻々と変化するため，初期に立案した修復計画で効率よく修復を継続することが困難な場合が多い。以上より，地下水揚水法による汚染地盤の修復を速やかに完了させるためには，日常モニタリングの結果を揚水計画にフィードバックさせることが重要と考える。本研究では，技術者の経験を修復モデルに組み込む事で，速やかな汚染地盤の修復を支援する手法について検討を行っている。先に行った検討の結果，日常のモニタリング結果を揚水計画にフィードバックさせるモデルとしてファジイ推論の有効性が認められた。本文では，制御周期の短縮と演算の高速化を目的とし，新しい制御指標を導入したファジイ推論モデルを提案している。そして，この制御指標を用いたファジイ制御の有効性について数値シミュレーションで検討した結果について報告する。

2. 従来モデルの概要

先に提案した推論モデルを図-1に示す。日常モニタリングの3項目を入力として，「修復への貢献」と「地盤環境への影響」を評価し，合成則を用いて揚水量を求めている。先に行った数値シミュレーションの結果から，ファジイ制御規則を $(5^2+5^2=50)$ とした場合に，安定した制御出力が得られることが明らかになっている。従来モデルでは，多数のメンバーシップ関数およびファジイ制御規則を技術者の経験に基づいて定性的に作成する必要がある。一般的な手法の確立には，メンバーシップ関数とファジイ制御規則を減ずる事が必要であると考えられる。

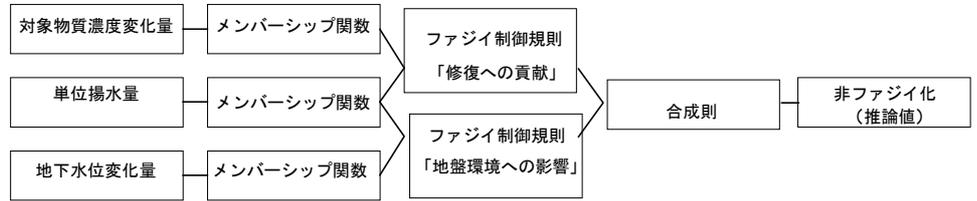


図-1 従来モデル

従来モデルでは，多数のメンバーシップ関数およびファジイ制御規則を技術者の経験に基づいて定性的に作成する必要がある。一般的な手法の確立には，メンバーシップ関数とファジイ制御規則を減ずる事が必要であると考えられる。

3. 提案モデルの概要

従来モデルの簡略化を目的とし，入力3変数を2つの指標に代表する制御指標を考案した。(式-1参照)

修復貢献指標では累積揚水量を用いている。これは修復期間中に同じ濃度を示した場合，初期に比べて後期の評価を低くする目的がある。地盤影響指標では単位揚水量を用いている。これは地下水水位の変動は累積揚水量より単位揚水量の影響が大きいと考えたためである。

$$\begin{aligned} \text{修復貢献指標} &= (\text{修復目標濃度} - \text{実測濃度}) / \text{累積揚水量} \\ \text{地盤影響指標} &= (\text{浄化開始時の地下水水位} - \text{実測地下水水位}) / \text{単位揚水量} \end{aligned} \tag{式-1}$$

次に，新たに考案した提案モデルの概要を図-2に示す。

提案モデルは，2つの制御指標を用いる事で，従来モデルに比べてメンバーシップ関数およびファジイ制御規則を削減したものである。出力変数は従来モデルと同様に，現在の揚水量に対する調節量とした。

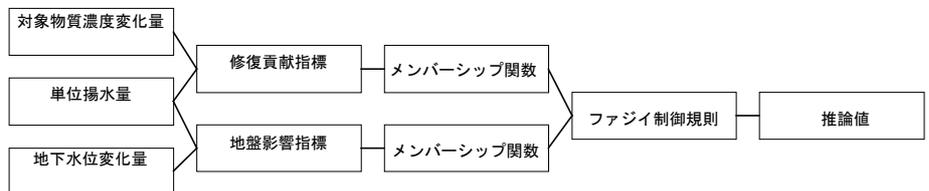


図-2 提案モデル

「if - is - and - is - then - is -」形式で表すファジイ制御規則については，「if”修復貢献指標”is”目標範囲”and”地盤影響指標”is”多い”then”揚水調節量”is”やや少ない”」や，「if”修復貢献指標”is”やや少ない”and”地盤影響指標”is”目標範囲”then”揚水調節量”is”やや多い”」といった内容を設定した。ファジイ変数(メンバーシップ関数)の形状はファジイ制御で一般的に用いられている3角型を用いた。推論手法はMax-Min合成演算とした。また，ファジイ推論の後件部をファジイ変数ではなく定数で与えるモデルを用いることで重心計算を省略し，演算の高速化を図った。表-1に従来モデルと提案モデルの長所および短所をまとめる。提案モデルでは，推論結果がなめらかに変化しないことから制御の安定性の点で検証が必要と考えた。そこで，従来モデル $(5^2+5^2=50)$ と提案モデル $(3^2=9, 5^2=25)$ 2種類の計3種類について数値シミュレーションを行い，制御の安定性について検討を行った。

キーワード：地下水揚水，揮発性有機化合物，ファジイ推論，浄化技術

連絡先：〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 TEL 046-250-7095 FAX 046-250-7139

表-1 各推論モデルの長所および短所

	長所	短所
従来モデル	熟練技術者の経験を正確に表現可能 推論結果がなめらかに変化する	メンバーシップ関数とファジィ制御規則の数が多 重心計算等を伴うため、演算が遅い チューニングに要する演算回数が多い
提案モデル	メンバーシップ関数とファジィ制御規則の数が少ない 演算が簡略化されるため解析が容易 チューニングに要する演算回数が少ない	熟練技術者の経験を正確に表現する事が難しい 演算結果がなめらかに変化しない

4. 実データによる解析的検討

システムの妥当性を検証する目的で、実汚染サイトでの計測データを用いたシミュレーションを行った。計測データと同じ汚染濃度の経時変化を得るために必要となる揚水量を従来モデルと提案モデルで推定し、今回考案したファジィ制御システムの安定性について検討を行った。図-3に、式-1にもとづいて計算した修復期間中の修復貢献指標と地盤影響指標の推移を示す。

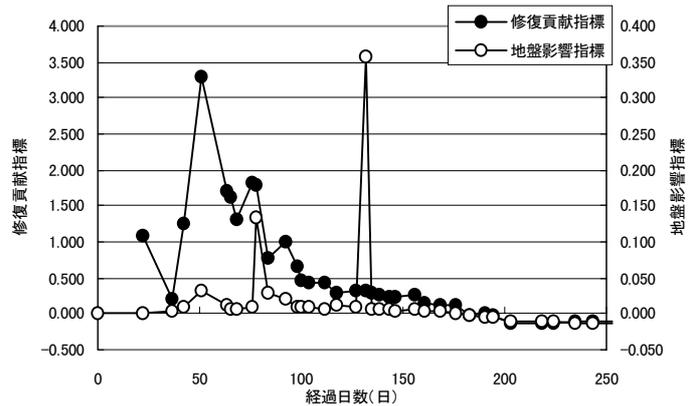


図-3 新しい制御指標の推移 (修復貢献指標, 地盤影響指標)

5. 解析条件

実際の浄化作業にもとづき、以下の制約条件を推論モデルに組み込んだ。

- 日最大揚水量は 120m³以下とする。
- 修復目標濃度は環境基準値以下とする。
- 修復目標期間は1年間とする。
- 地下水位は修復期間中-1.0m以内を維持する。

一連の解析では、時間 t での修復目標濃度を t + Δt の実測濃度として、それを実現するために必要となる揚水量を計算した。

6. 解析結果と考察

実汚染サイトで得られた計測データを用いて 3 種類のケースについて必要揚水量 (推論揚水量) を計算した結果を図-4に示す。図中には実際の修復作業における揚水量 (実測揚水量) もあわせて示した。推論値と実測値を比較すると、すべてのケースで修復初期の修復貢献指標が高く、地盤影響指標が低い期間に揚水量を大きくする効果が認められた。その後、ファジィ変数=3 の場合を除いて修復貢献指標の低下にあわせて揚水量を抑える効果が認められた。ファジィ変数=3 の場合は、修復貢献指標の低下が推論結果に反映されず、その後も一定量の揚水を継続する結果となった。この原因としては、メンバーシップ関数および制御規則の設定が適切に行われなかった事が考えられる。一方、ファジィ変数=5 の場合は、従来モデルとほぼ同じ傾向を示した。以上より、提案モデルが2つの指標を考慮しながら安定した制御値を出力する事が認められた。

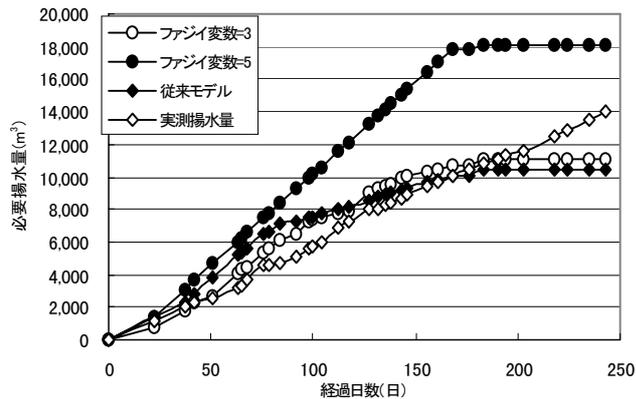


図-4 数値シミュレーション結果

5. まとめ

新しい制御指標を導入した地下水修復のファジィ制御について検討を行った。主要な結論は、以下のようにまとめられる。

- 新しい制御指標を用いたファジィ制御は、地下水揚水法に対して有効である。
- 新しい制御指標を導入することにより、メンバーシップ関数とファジィ制御規則の数を減らすことが可能になる。
- 数値シミュレーションによる検討の結果、ファジィ変数の組合せが 3²=9 個より 5²=25 個のモデルが適している。

今回提案したモデルは、実汚染サイトへの適用を考慮し、制御周期の短縮と演算の高速化を図ったものである。検討の結果、メンバーシップ関数とファジィ制御規則の設定が適切に行われた場合、従来モデルとほぼ同じ結果を得る事が認められた。今後は、メンバーシップ関数とファジィ制御規則を自己評価するモデル等を追加する事により、修復が長期に渡る場合でも安定した制御値を出力するモデルの開発を進めていきたい。