

前田建設工業(株) 正 員 ○伊東 多聞
 熊本大学工学部 正 員 小林 一郎
 同 上 正 員 三池 亮次

1. はじめに 筆者らはアーチダムの安全管理への重回帰分析の適用に関する研究を行ってきた¹⁾。確率論による回帰モデルでは、回帰偏差は正規分布に従うと仮定している。また、これが正規分布に従わなくても、データサイズが十分に大きい場合には中心極限定理によって回帰推定値は正規分布に収斂することが知られている。しかし、データサイズが小さい場合には回帰推定値が正規分布に従う保証はなく²⁾、重回帰モデルによりダムの安全管理限界を設定することは論理的に不確実なものとなる。本研究では、与えられたデータ間の不確実性は、システム自体のゆらぎに起因するとみなすファジィ(可能性)線形回帰モデル³⁾を用いた手法のダムの安全管理への適用を提案し、従来の確率モデルを用いた結果との比較を行なう。

2. 安全管理へのファジィ重回帰分析の適用

今、被説明変数 y_i と説明変数 x_i のデータの組が n 組得られたとする(ただし、 $i=1, 2, \dots, n$)。通常の重回帰分析では、これらの変数間に

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + e_i \quad (1)$$

の関係が成立すると仮定する。 e_i は観測誤差で、係数 β_j の推定値は e_i の2乗和を最小にする値として得られる。

ファジィ重回帰分析では観測誤差は係数の持つあいまいさに依存すると考え、次のような可能性線形システムを設定する。

$$Y_i = A_0 + A_1 x_{i1} + A_2 x_{i2} + \dots + A_p x_{ip} \quad (2)$$

Y_i は、実測値 y_i のファジィ推定値である。図-1に Y_i の帰属度関数を示す。ファジィ重回帰の問題は、 y_i が Y_i の帰属度関数に、ある可能性の度合い h ($0 \leq h < 1$) 以上で含まれ、かつ、システムのあいまいさを表す幅の合計が出来るだけ小さくなるように係数 $A_j = (\alpha_j, c_j)$ を求めるLP問題に帰着される³⁾。

アーチダムのたわみ δ とその要因(水位、堤体温度等)間に次のような可能性線形モデルを設定し、解析を行なう。図-2にアーチダムの概要を示す。

$$\delta = K + \sum_{j=1}^2 A_j(t_j - t_{0j}) + \sum_{j=1}^2 B_j(g_j - g_{0j}) + C(H - H_0) \quad (3)$$

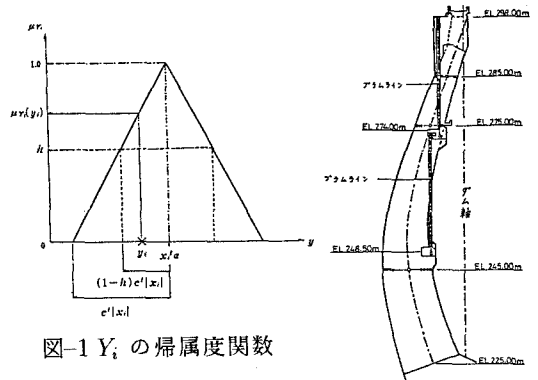


図-1 Y_i の帰属度関数

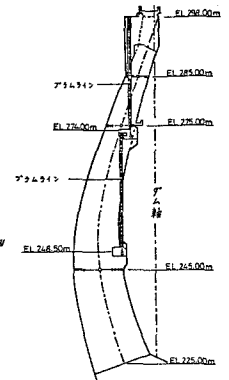


図-2 アーチダムの概要

ここに、 K 、 A_j 、 B_j 、 C はファジィ回帰係数、 t_j 、 g_j 、 H は堤体温度、温度勾配、水位である。また、 t_{0j} 、 g_{0j} 、 H_0 は湛水開始時の値であることを示す。解析は以下の順序で行う。

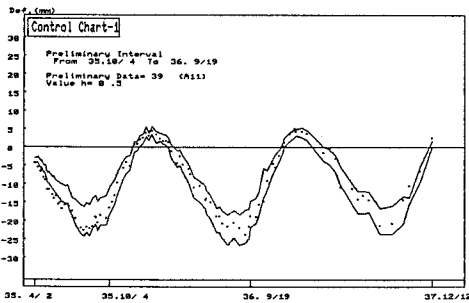
- 予備期間のデータについてファジィ係数を求める。
- 管理期間のデータを (a) で求めた回帰式に代入して、ファジィ推定値を求める。
- もし、予備期間のデータと管理期間のデータが同じ集団に属するならば、管理期間のたわみの実測値はファジィ推定値の与える幅の中に入れると考える。

3. 計算例 式(3)の回帰モデルに対する解析の1例(予備期間のデータ数39、 $h=0.5$)を示す。図-3に2種類の管理図を示す。図-3(a)ではたわみの実測値を点で、信頼区間の上下限界値を実線で示した(管理図1)。図-3(b)は図-3(a)を正規化したものである(管理図2)。管理図1ではたわみの変動は容易に理解できるが、管理データと管理限界の関係はあまり明確でない。これに対して管理図2では上下管理限界が平行線で描かれるため管理はずれのデータが視覚的に容易に判別できる。

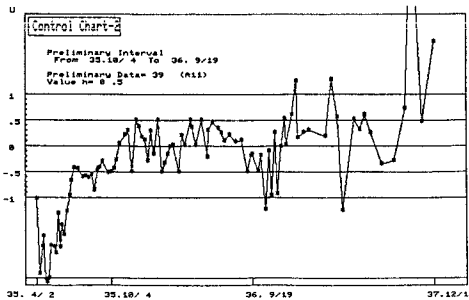
図-4に h の値の変化による管理限界の比較を行なった。同図と図-3(a)より、 h が小さくなると管理限界の幅が小さくなり、厳しい管理を行なうことになる。 h の値を変えても、前記のLP問

表-1 回帰係数の比較

回帰係数	確率モデル	可能性モデル
K	-6.097	-3.915
A_1	0.872	1.249
A_2	-1.341	-1.478
B_1	-2.777	-1.784
B_2	-3.844	-4.072
C	0.0015	0.0010



(a) 管理図 1



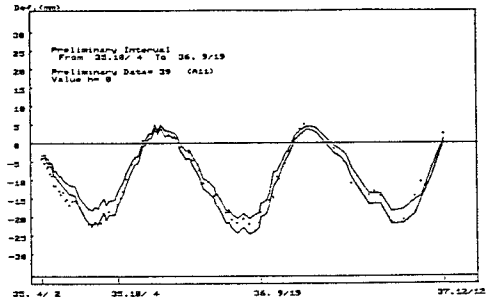
(b) 管理図 2

図-3 安全管理図 ($h = 0.5$)

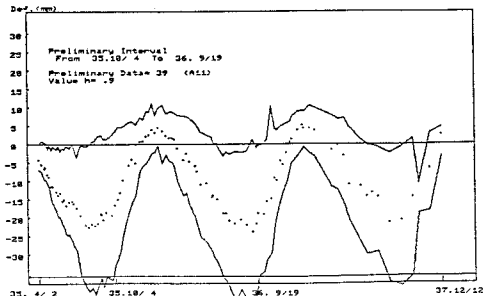
題を再度解く必要はないので、管理限界の変更や複数の管理限界を設定した安全管理を容易に行なうことができる。

図-5 には比較のため確率モデルによる管理図を示した。管理限界の設定にあたっては、通常の重回帰分析の区間推定手法において信頼区間を95%とした場合を示した。また、本モデルと図-3 (a) によるモデルの回帰係数を表-1 に示した。ただし、可能性モデルについては分布の中心の値のみを示した。

3. まとめ 今回は本計算例を含めて14ケースの計算を行なった。他の結果については、講演時に発表するが、以下のことがわかった。1) ファジ重回帰における区間推定の手法を用いて、確率モデルによる区間推定と同程度の高い精度でアー



(a) $h = 0.0$



(b) $h = 0.9$

図-4 h による管理限界の比較

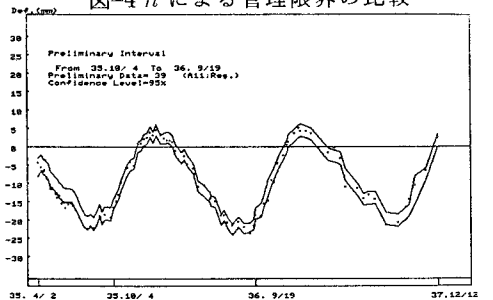


図-5 確率モデルによる管理図

チダムのたわみを推定することが可能である。2) ファジ重回帰分析においては、パラメータ h を変えることで区間幅を増減させることができるので、データ不足による推定精度の低下を補え、区間推定に専門家の意思を反映させることができる。3) 本法は、データの大きさや、回帰偏差の確率分布を考える必要がないので、リアルタイムの安全管理が可能である。

参考文献 1) Miike, Kobayashi: Safety Control of Dams by Multivariate Regression Model, Proc. of 4th ICOS-SAR, Vol.III, pp.383-392, 1985. 2) Miike, Kobayashi: Safety Control of Arch Dams by Regression Model, Proc. of 2nd Int. Sympo. on Design of Hydraulic Structures 89, Balkema, pp.91-96, 1989. 3) 寺野他編: ファジシステム入門、オーム社、pp.67-81, 1987.