

差の検定手法によるアーチダムの安全管理へのファジィ理論の適用

熊本大学工学部 学生員 ○中武 透
 同上 正 員 三池 亮次
 同上 正 員 小林 一郎

1. はじめに アーチダムの安全管理に重回帰分析の区間推定手法を用いる場合、従来から研究されている確率モデルによるものとファジィ理論における可能性モデルを用いたものとの比較を行い、後者でも十分実用的な結果が得られる事が確認されている¹⁾。区間推定の手法においては、管理期間の何れか一組のデータが観測されればその時点でリアルタイムに異常の有無が評価される。これに対して差の検定手法では予備期間と管理期間の回帰構造に差が生じれば、何らかの異常原因が作用しているという考えに基づいて安全管理を行う。今回は、ファジィ数の一致度の概念²⁾を用いることによって、差の検定手法へのファジィ理論の適用をはかる。

2. 可能性回帰モデル 可能性モデルでは観測誤差は回帰係数の持つあいまいさに依存すると考え、次式を設定する。

$$Y_i = A_0 + A_1 x_{i,1} + A_2 x_{i,2} + \cdots + A_p x_{i,p} \quad (1)$$

ただし、 Y_i は、実測値 y_i のファジィ推定値である。ファジィ重回帰問題における回帰係数の計算は次のようなLP問題に帰着される。

目的関数：

$$\sum_{i=1}^n C^t |x_i| \rightarrow \min. \quad (2)$$

制約条件：

$$x_i^t \alpha - (1-h)C^t |x_i| \leq y_i \quad (3)$$

$$x_i^t \alpha + (1-h)C^t |x_i| \geq y_i \quad (4)$$

$$\varepsilon | \alpha_i | \leq C_i \quad (5)$$

ここで、 α 、 C はそれぞれファジィ数の中心、幅で、 ε は C に幅を持たすために導入したパラメータである。 $\varepsilon = 0$ の場合は文献1) の解析と同じで、ファジィ回帰係数の幅が0となる。このことはファジィ数の定義に矛盾するため ε を0でない正の数として回帰係数に幅を持たせた。

3. 差の検定理論 管理期間の観測データに対して式(1)をマトリックス表示すると次式となる。

$$\tilde{Y} = \tilde{A}_c X_c \quad (6)$$

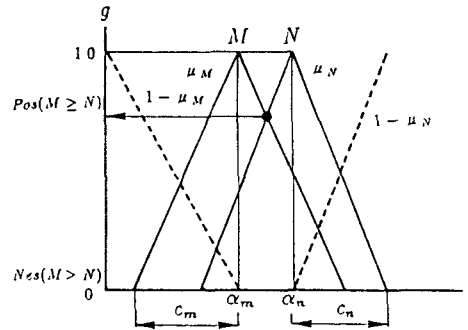


図-1 2 のファジィ数の一致度

ここで、 $\tilde{Y}$ は実測値 y のファジィ推定値、 $\tilde{A}$ はファジィ回帰係数である。上式において、 $\tilde{A}_c$ のかわりに予備期間における観測データより求めたファジィ回帰係数 $\tilde{A}_p$ を用いると

$$\tilde{Y}' = \tilde{A}_p X_c \quad (7)$$

となる。確率論では、式(6)と(7)の回帰推定値の差を求め検定するが、ここでは、ファジィ数間の等号関係を用い、2つのファジィ推定値間の一致度を求め、これにより安全管理を行う。式(6)、(7)から得られるファジィ推定値をそれぞれファジィ数 M 、 N とすると、ファジィ数 N がファジィ数 M に等しい可能性の度合いを一致度 g として与える。2つのファジィ数の関係の可能性と必然性の度合いを $Pos(M \geq N)$ 、 $Nes(M > N)$ を用いると、 g は次式で求められる。

$$\begin{aligned} g &= Pos(M \geq N) \\ &= \min(Pos(M \geq N), Pos(N \geq M)) \\ &= \min(Pos(M \geq N), 1 - Nes(M > N)) \quad (8) \end{aligned}$$

図-1の2つのL-Lファジィ数 $M = (\alpha_m, c_m)$ 、 $N = (\alpha_n, c_n)$ のメンバシップ関数をそれぞれ μ_M 、 μ_N で表すと $Pos(M \geq N)$ は図-1の黒点の値であり、 $Nes(M > N)$ は $1 - \mu_M$ と $1 - \mu_N$ の交点となる。ただし、本図では0である。従って、式(8)より g も黒点の値となる。

4. アーチダムの安全管理への適用 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、解析を行った。

$$\delta = K + \sum_{j=1}^2 A_j(t_i - t_{0j}) + \sum_{j=1}^2 B_j(g_j - g_{0j}) + C(H - H_0)^2 \tag{9}$$

ここに、 K 、 A_j 、 B_j 、 C はファジィ回帰係数 t_i 、 g_i 、 H は堤体温度、温度勾配、水位である。また、 t_{0i} 、 g_{0i} 、 H_0 は湛水開始時の値であることを示す。

1) ε について

図-2 (a) は $\varepsilon = 0.0$ 、(b) は $\varepsilon = 0.1$ とした場合の解析結果である。図中の点はたわみの実測値で、二本の実線が予備期間のデータから求めた、管理限界線である。実測データがこの幅の外にある場合は、予備期間の回帰構造とは異なるデータが観測された事になり、ダム周辺になんらかの異常の「可能性」があるものとする。(b) のほうが僅かに区間幅が広がるが、両者とも同程度の安全管理が可能である。 ε については 0.05 から 2.0 までの場合についても計算を行ったが結果は大きく、 $\varepsilon = 0.1$ 程度を用いれば良いと考える。

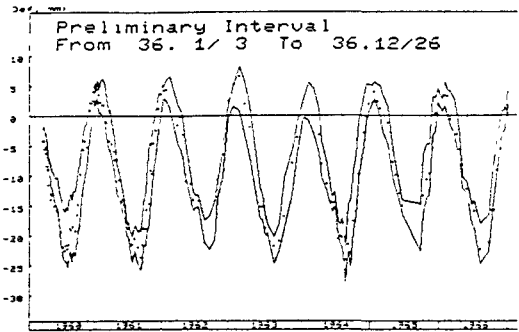
2) 一致度について

図-3 (a) は管理期間が 1 年、(b) は管理期間が 1962 年から 1965 年までの 4 年間について 2 年間とした場合の結果で、縦軸に一致度 g を示した。図中の予備期間（区間 p ）、管理期間（区間 c_1 、 c_2 ）を例にとって両者の比較を行う。式 (6)、(7) のファジィ回帰係数の比較を表-1 に示す。表からは区間 c_1 と c_2 のいずれが、どの程度区間 p に等しいかは判然としない。しかし、図-3 (a) のようにファジィ推定値間の一致度で整理すると、 g の平均値 $\bar{g}$ は区間 c_1 では $\bar{g}_{c1} = 0.706$ 、区間 c_2 では $\bar{g}_{c2} = 0.921$ となり、区間 c_2 と区間 p の回帰構造が極めてよく一致していることが数値的にも視覚的にも確かめられる。

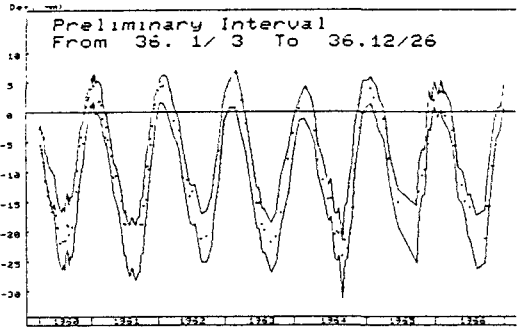
表-1 ファジィ回帰係数の中心値の比較

回帰係数	予備期間	区間 c_1	区間 c_2
K	-4.481	-4.763	-4.174
A_1	0.915	2.125	0.503
A_2	-1.374	-1.368	-1.323
B_1	-2.331	-6.751	-1.359
B_2	-4.428	-2.948	-5.350
C	8.58×10^{-4}	5.17×10^{-4}	7.02×10^{-4}

参考文献 1) 小林一郎、三池亮次：ファジィ重回帰モデルによるアーチダムの安全管理、構造工学論文集 vol.37 A pp.1329-1340,1991 年 3 月 2) 坂和正敏編：ファジィ理論の基礎と応用、森北出版、pp.58-72,1989.

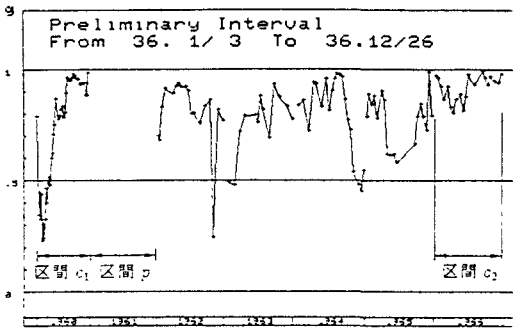


(a) $\varepsilon = 0.0$ の場合

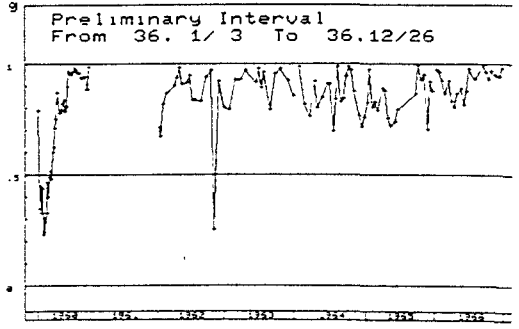


(b) $\varepsilon = 0.1$ の場合

図-2 ファジィ重回帰による区間推定



(a) 管理期間が 1 年間の場合



(b) 管理期間が 2 年間の場合

図-3 差の検定手法による管理図