

山留め情報化施工システムにおけるファジー理論の適用

(株) CRC総合研究所 正会員 青木琢磨

同 上 上野誠二

同 上 小林智之

山梨大学工学部 正会員 杉山俊幸

住友建設（株） 正会員 北田郁夫

1. はじめに

近年、山留め工事は、大規模、大深度構造物への対応や、地盤条件・周辺環境からの制約等による施工条件の悪化への対応から、計測工を実施して、山留めの情報化施工を取り入れるケースが増加している。さらに、種々の解析手法を取り入れた逆解析システムが開発され、設計の段階で不確実な要因（地盤パネや土質定数等）を山留め壁の挙動から推定する方法が提案されている。しかし、現在用いられている逆解析システムでは、実際の複雑な山留め工事の施工に対応しきれず、解析条件の作成段階や解析結果の評価段階において専門技術者による仮定や工学的判断を必要としている。

著者等は、不確実な要因を未知パラメータとして任意の範囲と刻み幅で定義し、順解析計算を繰り返し行った結果から、最適なパラメータを自動抽出する情報化施工システムを開発した。なお、計測値と計算値のフィッティング判定にファジー理論を適用させ、専門技術者と同等な判断を自動的に行う事を可能とした。

2. ファジー理論の適用

計測値と計算値のフィッティング判定は、両者の残差を求めて評価する方法が一般的であるが、残差だけで山留め壁の変形モードを評価するには十分とは言えない。また、他の要因と組み合わせて評価することも、お互いの数値の性格が異なり難しい。しかし、ファジー評価では、フィッティング対象となる要因を「一致している」、「まあまあ一致している」、「どちらとも言えない」、「あまり一致していない」、「一致していない」の5段階の共通した表現で評価することができ、複数の要因から総合的な評価が可能である。

著者等は、専門技術者が山留め壁変位の計測値と計算値の適合性を判断するための意志決定プロセスをファジー理論を導入してモデル化することを試みてきた。その結果、専門技術者は両者の良否の判定に際して、「平均絶対差」、「全体差」、「ピーク値付近差」、「ピーク深差」、「15%誤差比率」の5つの要因をこの順番で重視していることを導いた。また、これら5つの要因を評価5～評価1に判定するための基準値（表1参照）を提案するとともに、これら5つの要因の度合いをそれぞれメンバーシップ関数Gで表した。さらに、これら5つの要因に専門技術者がどのように重み付けをして整合性の良否の判定を行っているかを考察し、影響度と整合性の程度に関してもそれぞれメンバーシップ関数EおよびNで定義した。そして、これら3つのメンバーシップ関数を評価ルールに基づいて関係づける演算方法を構築した。¹⁾

表1：ファジー評価の要因および基準値

要 因 お よ び 計 算 方 法		評価5	評価4	評価3	評価2	評価1
平均絶対差	絶対値の合計／計測データ数	1.610	2.580	4.030	5.880	
全体差	残差の平方和／最大値	0.670	1.009	1.465	2.349	
ピーク値付近差	ピーク値付近の残差の平方和／最大値	0.541	2.042	2.925	4.417	
ピーク深差	ピーク深差／山留め壁長さ	0.028	0.056	0.167	0.306	
15%誤差比率	15%誤差以内の個数／全体の個数	0.470	0.280	0.240	0.190	

キーワード：山留め、情報化施工、逆解析、ファジー理論

〒136-8581 東京都江東区南砂2-7-5 (株) CRC総合研究所 TEL 03-5634-5830, FAX 03-5634-7337

今回は、構築したファジー理論を逆解析システムに取り組み、より多くの計測データとの検証から整合性を高め、基準値とメンバーシップ関数の見直しを行った。また、ファジー評価は各5項目の要因から得られた最終的な分布関数のピーク値だけで評価するのではなく、合格の基準値を3.5点と定義し、基準値以上の分布関数の面積が、分布関数全体の面積に対して占める割合を総合評価に加えた。（図1）

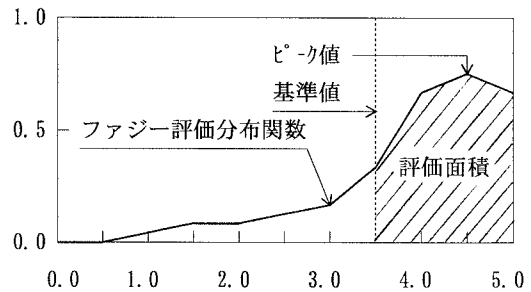


図1：最終的なファジー評価分布関数 評価点

3. 計算結果例

逆解析の計算例として山留め壁20mで施工ステップ4（切梁4段）のケースによる解析結果を紹介する。表2に地質条件を示す。逆解析で不確実性が高い内部摩擦角 ϕ と切梁バネ k_h に着目し、第3層の内部摩擦角 ϕ （ $\phi=15, 30$ ）と第5層の地盤バネ K_h （ $k_h=500, 1000, 1500, 2000$ ）を未知パラメータとして定義した。表3に逆解析による計算結果をファジー評価順に一覧表で示し、決定された ϕ と K_h 、ファジー評価点を残差順位、残差（自乗和）と比較して記載した。

表2：地質条件および未知パラメータ

	層厚	γ	Φ	N値	C	k_h
1	砂	1.3	1.90	24	6	0
2	粘	1.7	1.80	0	4	2
3	砂	2.5	1.90	未知	15	0
4	粘	3.0	1.98	0	4	5
5	砂	8.2	1.90	40	42	0
6	粘	3.3	1.91	0	7	15

表3：ファジー評価順位一覧

ファジー順位	Φ	k_h	評価点	残差順位	残差
1	30	2000	2.301	1	2879
2	30	1500	2.301	2	2971
3	15	2000	1.398	4	32631
4	15	1500	1.356	5	36576
5	30	1000	1.292	3	20976
6	15	1000	1.244	6	58125
7	30	500	1.121	7	311210
8	15	500	1.121	8	339204

図3にファジー評価順位1位の解析図を示す。この図から山留め壁変位量の計測値と計算値は良い一致することが確認でき、ファジー理論を適用した逆解析の妥当性が確認できた。

また、本システムは、山留め壁モーメント、切梁軸力や土圧の計測値が存在する場合、図化表示する機能を有しており、それらの計測値と計算値の比較からも、計測値と計算値は良い一致を示していることが確認できた。

4. 終わりに

本システムが開発できた経緯としてはパソコンの処理能力がここ数年で飛躍的に向上したことが挙げられる。複雑な弾塑性解析が数秒程度で解析可能となり、以前はできなかった繰り返し計算により、精度の良い結果を導く事ができた。

今後は多くの事例を取り入れた計算を行い、本システムの有効性を高めていく予定である。

【参考文献】1) 杉山俊幸、水谷淳、熊谷紳一郎：ファジー理論を用いた山留め壁変位の実測値と予測値の整合性判定プロセスのモデル化、土木学会論文集No. 480/VI-21, 1993

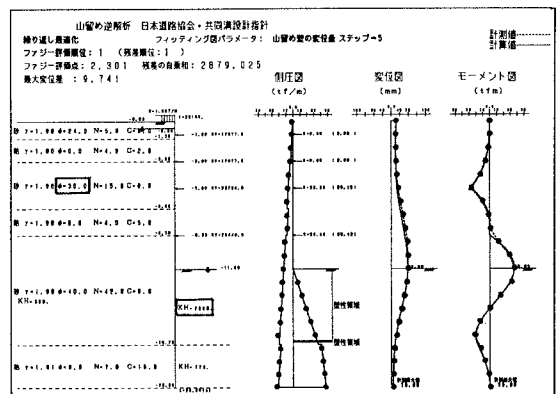


図3：評価順位1位の解析結果