

ファジ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

杉山俊幸*・水谷淳**・熊谷紳一郎**

山留め壁の変位の実測値と予測値の整合性の良否を判定する際の専門家の意思決定プロセスをファジ理論を導入してモデル化することを試みた。そして、構築したモデルをアンケート調査に基づいて同定したところ、専門技術者は予測結果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」の順でこれらの要因を重視していることが明らかとなった。

Key Words : fuzzy set theory, observational construction, retaining wall

1. はじめに

現在、大規模な掘削工事や軟弱地盤における掘削工事においては、山留め構造物に各種の計測機器を取り付け、山留め壁の変位等を計測しながら工事を進めるといった方法が用いられている。さらに、設計の段階では不確実性が多分に含まれている地盤反力係数や内部摩擦角などの土質定数を山留め壁の変位から推定するという、いわゆる逆解析により将来の掘削過程における山留め壁の挙動を予測し、安全で経済的な施工を目指す山留め情報化施工システムも開発されている¹⁾。しかし、現在用いられている山留め情報化施工システムにおいては、実測データの処理が電算化されているにすぎず、掘削工事にフィードバックさせる場合には各段階で専門技術者の判断を必要としているのが実情である。例えば、山留め壁の実測変位と各種の仮定の下に計算された予測値との整合性の良否の判断などは専門技術者に委ねられており、システム内で自動的に処理され、即刻掘削工事にフィードバックされているわけではない。仮にこの段階で、山留め壁の変位の予測値と実測値の整合性の良否の判断に関する専門技術者の意思決定プロセスが何らかの方法を用いてモデル化でき、電算システム内で自動的に整合性の良否を判断できるようであれば、掘削工事現場に専門技術者が常駐していない場合でも掘削工事を円滑に進めることが可能になってくる。

そこで本研究では、山留め壁の変位の実測値と予測値の整合性の良否に関して判定を下すまでの専門家の意思決定プロセスをファジ理論を用いてモデル化し、アンケート調査を利用して構築したモデルの同定を試みることにする。そして、構築したモデルを分析することによ

り、専門家がその判定に際しどのような要因に着目し、各要因に対してどのような重み付けをしているかを探ることを目的とする。なお本研究の最終目標は、専門家が不在の場合でも山留め壁の変位の実測値と予測値の整合性の良否をファジ理論を用いて自動的に判定できるだけでなく、十分な整合性が得られない場合の変位再現計算をもファジ理論を導入して自動的に行えるような機能を有する山留め情報化施工システムを構築することである。

2. ファジ理論を導入した専門技術者の意思決定プロセスのモデル化

ディスプレイ上、あるいは図面上に示された山留め壁の実測変位と各種の仮定の下に計算された予測値を見比べて (Fig.1 参照)、専門技術者がその整合性を如何に判定しているのかのプロセスが把握できればよい。一般に、この意思決定プロセスは、ファジ理論を導入して以下のようにモデル化することができる²⁾。

(1) 評価のパラメータの設定

評価のパラメータとは、後述する評価ルールを構成する要素のことである。すなわち、①最終的に求めようとする評価 (総合評価) に影響を与える要因の度合い (程度)、②個々の要因が総合評価に及ぼす影響度の大きさ、および、③総合評価の3つが評価のパラメータと呼ばれるものである。山留め壁の実測変位と予測値との整合性を評価する場合、これらのパラメータは、①に関しては、「ピーク位置のずれ」や「全体的な形状の違い」など整合性の評価に影響を与えると考えられる要因の度合い、例えば、『ピーク位置は大きくずれている』等、②については、各要因が整合性の評価に及ぼす影響の大きさ、例えば、『ピーク位置のずれはかなり考慮される』が、『全体的な形状の違いはあまり気にしない』等、③に関しては、実測値と予測値の整合性の程度、例えば、『実測値

* 正会員 工博 山梨大学助教授 工学部土木環境工学科 (〒400 甲府市武田4-3-11)

** 正会員 工修 住友建設(株) 土木部土木開発課

Table 1 Estimation rules

評価パラメータ E	評価パラメータ G	評価パラメータ N
大きい	小さい 比較的 どちらともいえない 比較的大きい 大きい	一致している まあまあ一致している どちらともいえない あまり一致していない 一致していない
比較的大きい	小さい 比較的 どちらともいえない 比較的大きい 大きい	かなり一致している ある程度一致している どちらともいえない さほど一致していない ほとんど一致していない
中くらい	小さい 比較的 どちらともいえない 比較的大きい 大きい	まあまあ一致している どちらかというとも一致している どちらかともいえない どちらかというとも一致していない あまり一致していない
比較的小さい	小さい 比較的 どちらともいえない 比較的大きい 大きい	どちらかというとも一致している どちらともいえない どちらともいえない どちらともいえない どちらかというとも一致していない
小さい	評価パラメータGの度合(程度)に 実測値の整合性の判断にはほとんど影響を及ぼさない	一致している まあまあ一致している どちらかというとも一致している どちらかともいえない どちらかというとも一致していない

* メンバシップ関数の形状に差あり

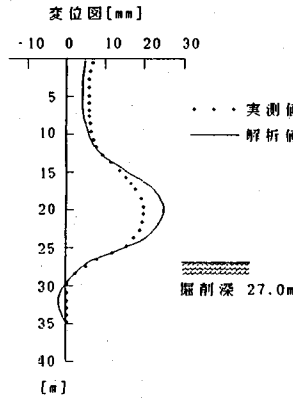


Fig.1 Field-measured data and analytical values of deformation of retaining wall

と予測値はよく一致している』等に相当する。ここでは便宜上、①、②、③の評価のパラメータを各々G, E, Nと記すことにする。

(2) 評価ルールの策定

ファジ理論を用いた評価方法の特長は、評価の非線形性を有していることである。すなわち、「数多くの要因が存在しても、最終的にはその中の1つの要因だけで総合評価する」、あるいは「いろいろな要因を考え合わせるが、最終的には1つあるいは少数の要因に大きく影響された総合評価となる」ことを前提としている。このことを前述した3個の評価パラメータを用いて記述すると、一例として、ある要因Aに関して

「要因Aの『ずれ』(あるいは『差』)が小さく(g), かつ、要因Aが実測値と予測値の整合性の判断に及ぼす影響の度合いが大きければ(e), その場合の専門技術者の判

断は『実測値と予測値はよく一致している』(n)ということになる」

というルールを導き出すことができる。このようなルールを一般的な推論の形で表現すると、

$$[\text{if } G=g \text{ and } E=e \text{ then } N=n]$$

ただし、g, e, nは各々評価のパラメータG, E, Nの度合いを表示

となる。すなわち、実測値と予測値の整合性に関する総合評価(専門技術者の判断)はGとEの関係によって決められていると考えられる。ここでGを「(ずれは)小さい」、「比較的小さい」、「どちらともいえない」、「比較的大きい」、「大きい」の5段階、Eを「大きい」、「比較的大きい」、「中くらい」、「比較的小さい」、「小さい」の5段階に分けると、Table 1に示す総計21種類の推論が可能となる。本研究では、この21種類の推論を評価の基本的ルールとして策定することにする。

(3) 評価ルールのファジ的表現

ファジ集合の考え方を応用して、2.(2)で策定した21種類の評価ルールをファジ集合によって表現することを考える。すなわち、「『ずれ』は小さい」「影響が大きい」といった曖昧な表現をファジ集合で表現することにより、人間のことはの曖昧さをそのまま分析に利用していくことを考える。

まず、3つの評価のパラメータG, E, Nをそれぞれファジ集合と考える。すなわち、パラメータGは「要因(評価項目)の大小の程度」を表わす集合とし、「非常に小さい」から「非常に大きい」の間をm段階に分けたg₁, g₂, ..., g_mのm個の要素から成るものとする。同様に、ファジ集合E, Nも各々「大きい・小さい」、「一致している・一致していない」の程度を示すm個の

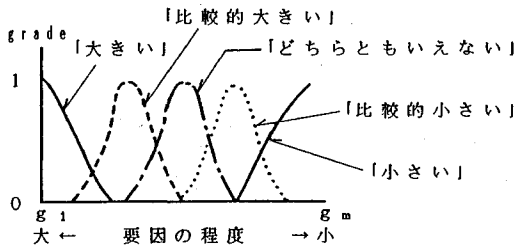


Fig.2 Schematic diagram of membership function of parameter G

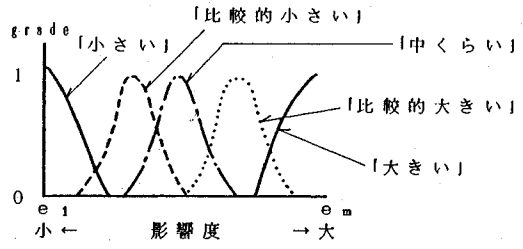


Fig.3 (a) Schematic diagram of membership function of parameter E

要素で構成されているものとする。

次に、ファジィ集合 G 上で、「小さい」、「比較的小さい」、「どちらともいえない」、「比較的大きい」、「大きい」という曖昧な表現をメンバーシップ関数を用いて表わすと Fig.2 のようになる。同様に「大きい」、「比較的大きい」、「中くらい」、「比較的小さい」、「小さい」をファジィ集合 E 上で、また、「一致している」、「まあまあ一致している」、「どちらともいえない」、「あまり一致していない」、「一致していない」などをファジィ集合 N 上で、各々メンバーシップ関数を与えて表現すると Fig.3 のようになる。なお Fig.2, Fig.3 では、個々の要素に対するメンバーシップ関数の値を曲線で結んだものを示してある。これらのメンバーシップ関数は主観的に決定したものであるが、誰が決定してもその形状が大幅に変化してしまうことはなく、不合理ではないといえよう。

(4) 演算方法の構築³⁾

メンバーシップ関数によって表示された3個の評価パラメータ G, E, N を、評価ルールに基づいて関係づける演算方法を構築する必要がある。ここでは、ファジィ集合の積集合・和集合の概念を導入した行列表示による演算方法を以下のように構築している。なお、理解を容易にするために、Fig.4 に演算方法の概略を示してある。[ステップ 1]

各要因ごとに評価ルールを (G, E) 行列, (E, N) 行列に分けて表わす。ある要因 A に関して、評価のパラメータ G, E が各々「小さい」、「大きい」と推定されたとき、Table 1 に示した評価ルールによれば、パラメータ N は「一致している」となる。このときの G と E の関係は「 G は小さくて、かつ E が大きい」という積集合で表されると仮定できる。従って、 (G, E) 行列は、 G, E の各成分のうち小さい方の値を成分とした行列となる。また、 E と N の関係も「 E が大きいときは N の表現も『一致している』あるいは『一致していない』というように確定的となる」ことを考えると積集合と見なす方が妥当であるので、両者の関係は積集合の関係にあるとしている。従って (G, E) 行列と同様に (E, N) 行列を求めることができる。なお (G, E) 行列とは、 G に属する個々の要素 $g_i (i=1 \sim m, m$ は要素数) の度

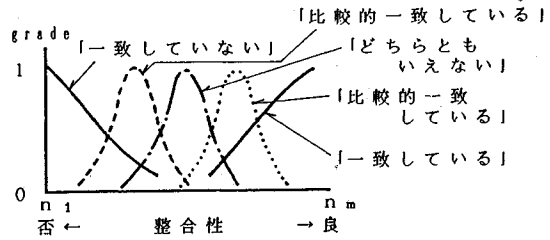


Fig.3 (b) Schematic diagram of membership function of parameter N

合い (grade) を示す値を '行' 成分として、また、 E に属する個々の要素 $e_j (j=1 \sim m, m$ は要素数) の度合い (grade) を示す値を '列' 成分としてファジィ演算 (ここでは積集合としての演算) を行って得られる行列のことである。

[ステップ 2]

要因ごとに求められた (G, E) 行列および (E, N) 行列を各々1つに合成する。ここでは個々の要因ごとに得られている (G, E) 行列の和集合を求める。すなわち、合成された (G, E) 行列の第 (i, j) 成分を a_{ij} , k 番目の要因に関する (G, E) 行列の第 (i, j) 成分を ${}_k a_{ij}$ とすると、

$$a_{ij} = \max\{{}_k a_{ij}\} \text{ for all } k$$

となるような行列を求めることになる。同様のことを (E, N) 行列についても行う。

[ステップ 3]

$(G, E) \times (E, N)$ により (G, N) 行列を求める。ステップ2で求めた (G, E) 行列と (E, N) 行列の積をとることにより、 (G, N) 行列を求める。一般の行列の積は対応する成分の積の総和をその成分とするが、ファジィ演算では、対応する成分の最小値 (小さい方の値) を順次とっていき、その中の最大値を求めてその成分とする。たとえば、求める行列の第 $(3, 3)$ 成分 b_{33} は

$$b_{33} = \max\{\min\{c_{3i}, d_{i3}\} \text{ for all } i\}$$

となる。ただし c_{3i}, d_{i3} は各々 (G, E) 行列の第 $(3, i)$ 成分, (E, N) 行列の第 $(i, 3)$ 成分である。

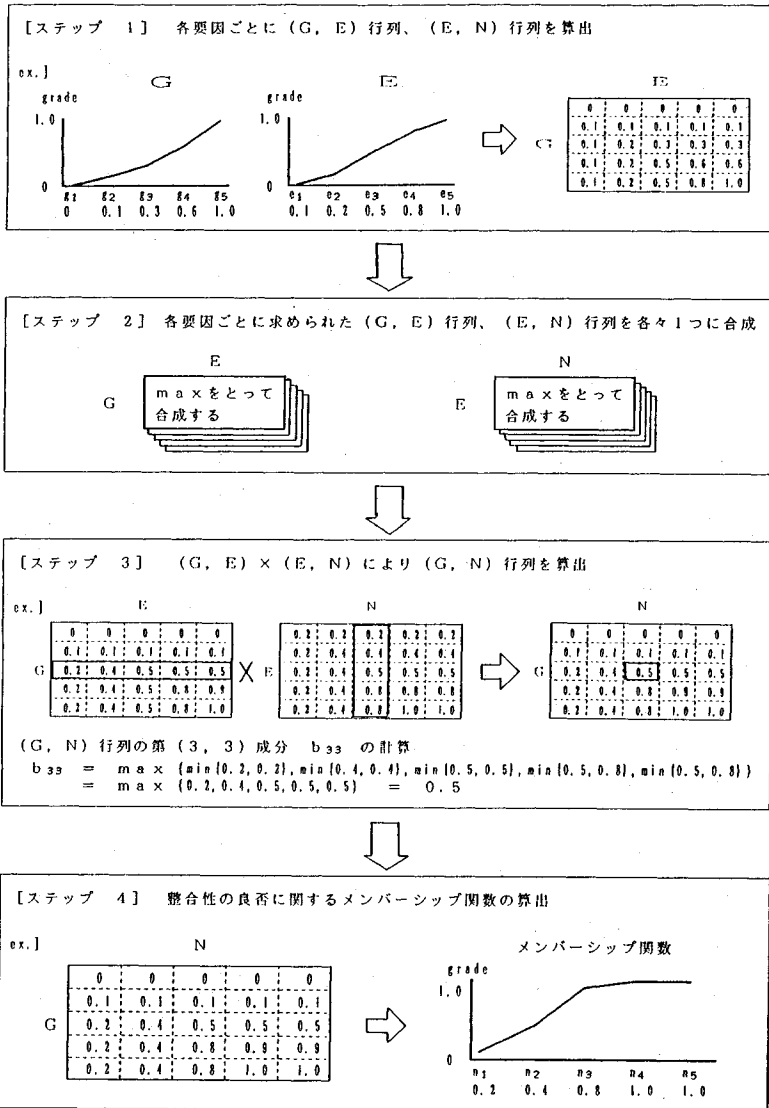


Fig.4 Schematic diagram of fuzzy operation

[ステップ 4]

(G, N) 行列のうち、各列の中での最大値をとる。これは、各列の最大値をとることで非線形性を表わすことができるためである。すなわち、パラメータ N の各要素、たとえば n_m (「一致している」) の度合いがどの程度かを求める場合、 n_m の列の最大値によって決まると考えられるからである。このようにして $n_1 \sim n_m$ までの各列の最大値をとっていくことで、「一致している」~「一致していない」までの整合性の度合いを示すメンバーシップ関数を求めることができる。

3. 山留め壁の変位の実測値と予測値の整合性の良否の判定プロセスのモデル化と構築したモデルの同定

前章で述べたように、山留め壁の変位の実測値と予測値の整合性の良否に関わる評価パラメータ G, E, N のメンバーシップ関数の形状が既知であれば、これらの関数形をファジ演算の中に組み込むことにより、最終的な評価、すなわち、実測値と予測値の整合性がよいかどうかのメンバーシップ関数を得ることが可能となる。しかし、実際には、評価パラメータ G としてどのような要因を抽出すればよいのか、また、抽出した要因が整合性の良否の判定に及ぼす影響の度合い、さらには、どの程度の整合性であれば、「よく一致している」と評価し

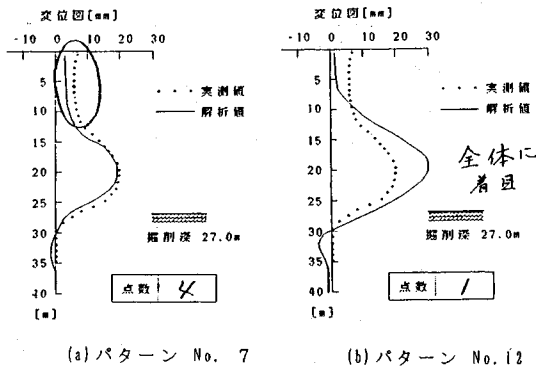


Fig.5 Examples of questionnaire sheets

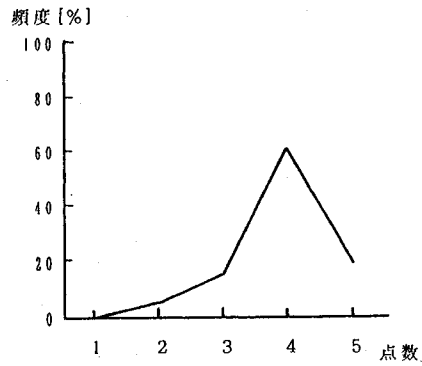


Fig.6 (a) Frequency diagram of score corresponding to Fig. 5 (a)

てよいのかを決定することは容易ではない。

本研究では、山留め壁の変位の実測値と予測値の整合性の良否の判断プロセスを表現できるモデルを以下のようにして構築することを試みる。

- ①山留め壁の変位の実測値と予測値が一致しているかどうかの判定に影響を及ぼすと考えられる要因を抽出する。
- ②抽出した要因が実際にどのような状況だったかをファジィ的に判断する。この判断は専門家でなくても容易にできる判定である。
- ③①で抽出した要因が最終的な良否の判定にどの程度影響を及ぼすかを評価する。この評価が専門家でないできないものである。
- ④①～③の段階でファジィ的に表現された情報に対して前章2.で述べた方法に基づいてファジィ演算を実行する。
- ⑤ファジィ演算により判定した結果が専門家の判定結果とできるだけ一致するように、③で取り扱った「影響度」を評価する。

(1) 整合性の判断に影響を及ぼす要因の抽出と評価値

ここでは、山留め壁の変位の実測値と予測値が一致しているかどうかの専門技術者の判定に影響を及ぼすと考えられる要因として、最終的に

- 1) ピーク値付近差……実測データのピーク値近傍5点の値と予測値の2乗平均誤差
- 2) ピーク深差……実測値と予測値のピーク位置の深さ方向の差
- 3) 全体差……全ての実測値と予測値の2乗平均誤差
- 4) 平均絶対差……実測値と予測値の差の絶対値
- 5) 15% 誤差比率……実測値と予測値の差が実測値の15%以内である比率

の5つを抽出している。これら以外にも幾つかの要因を抽出し、ファジィ演算の中に組み込んでみたが、判定に

メンバーシップ関数

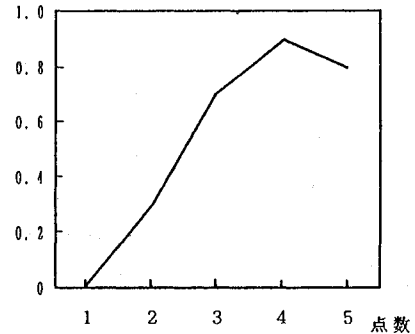


Fig.6 (b) Membership function of G-N function corresponding to Fig.5 (a)

影響をほとんど及ぼさないと判断できたため削除してある。ただし、判定に影響を及ぼす要因を残らず抽出しているという保証が得られている訳ではない。

(2) 構築したモデルの同定

構築したモデルが有効かどうかを判定するためには専門家の判定結果と比較する必要がある。そこで、アンケートを実施することにより専門家の判定結果を得ることにする。

Fig.5は、専門技術者83人に回答してもらったアンケートの一例である。今回は同図に示すように、掘削深27m、最終掘削深35mの場合の実測値に対して、予測値を意図的に変化させたものを27パターン作成し、実測値と予測値が「一致している」と評価するならば5点、「まあまあ一致している」なら4点、「どちらとも言えない」なら3点、「あまり一致していない」なら2点、「一致していない」なら1点と、ファジィ的な表現を点数で回答してもらった。また、評価の際どこに着目しているかを○で囲んでいただいた (Fig.5参照)。そして、ある1つのパターンについて専門家がどのような割合で点数をつけているかを調べて頻度分布図を描き (例えば、Fig.6(a) および Fig.7(a)), メンバーシップ関数の形

Table 2 Estimation standards of parameter G

	評価 5	評価 4	評価 3	評価 2	評価 1
ピーク値付近差	~ 0.84	0.84 ~ 3.16	3.16 ~ 4.53	4.53 ~ 6.84	6.84 ~
ピーク深差	~ 3.70	3.70 ~ 7.40	7.40 ~ 22.2	22.2 ~ 40.0	40.0 ~
全体差	~ 1.05	1.05 ~ 1.59	1.59 ~ 2.27	2.27 ~ 3.69	3.69 ~
平均絶対差	~ 1.61	1.61 ~ 2.58	2.58 ~ 4.03	4.03 ~ 5.88	5.88 ~
15%誤差比率	~ 0.47	0.47 ~ 0.28	0.28 ~ 0.24	0.24 ~ 0.19	0.19 ~

注] a ~ b は [a, b) を表示、平均絶対差の単位は mm

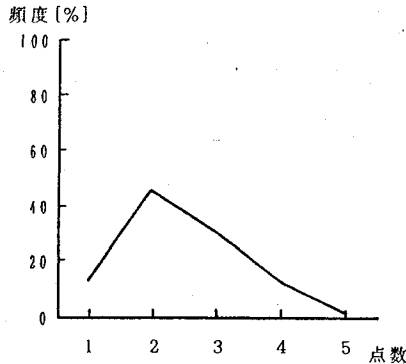


Fig. 7 (a) Frequency diagram of score corresponding to Fig. 5 (b)

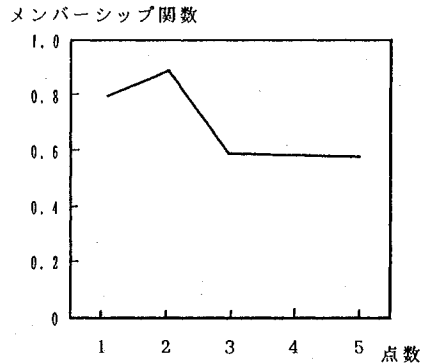


Fig. 7 (b) Membership function of G-N function corresponding to Fig. 5 (b)

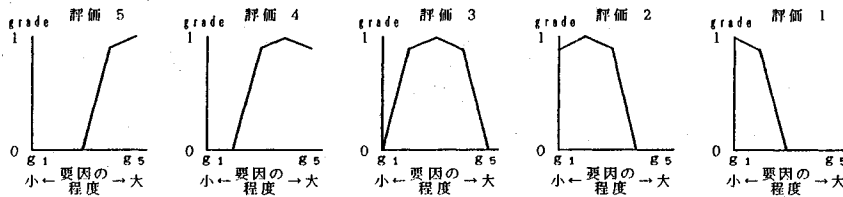


Fig. 8 Membership function of parameter G

で表現されるファジィ演算の結果 (例えば, Fig. 6(b) および Fig. 7(b)) がこの頻度分布図とできるだけ一致するように③の各要因の影響度の決定を行うことにした。

各要因の影響度の決定に際しては、アンケート調査から得られる頻度分布図とファジィ演算の結果得られる G-N 関数のメンバーシップ関数の形状ができるだけ一致するように配慮することになる。この時、両者の図の形状を見比べて視覚的 (直感的) に一致していると判断するのは望ましくない。そこでここでは、G-N 関数の形状を全体の形状を歪ませることなく百分率化した後、アンケート調査より得られる頻度分布図との 2 乗平均誤差を「一致しているかどうか」の評価尺度として採用し、この評価尺度ができるだけ小さくなるように影響度に関するメンバーシップ関数を決定することにした。

なお、②のステップにおいて、実際に得られている実測値と予測値から、評価パラメータ G として抽出された 5 つの要因に対し、評価値を与える必要がある。この評価値の与え方に「曖昧さ」が残ると、電算プログラム

内で自動的に整合しているかどうかの判定を下すことが不可能となる。本研究では、5 つの各要因に対し、評価 5 から評価 1 までの基準を任意に設定して試行錯誤を繰り返し、ファジィ演算の結果得られるメンバーシップ関数の形状が頻度分布図とできるだけ一致するように評価基準を決定した。その結果を示したのが Table 2 である。また、評価 1 から評価 5 までの各評価に対して与えたメンバーシップ関数の値を示したのが Fig. 8 である。なお、評価パラメータ N のメンバーシップ関数は、文献 2) で用いられているものとはほぼ同じである。

ここでは、掘削深 27 m の場合の山留め壁の変位をアンケートの対象としているが、本研究で得られる成果を一般の掘削工事にも適用可能にするためには、専門技術者の判定に影響を及ぼす要因を無次元化して取り扱う必要がある。そこで、1), 3) に関しては実測変位の最大値で、2) に関しては掘削深で除することにより無次元化することにする。なお、4) に関しては、専門技術者が絶対量としての数ミリの差を「測定誤差」とみなして

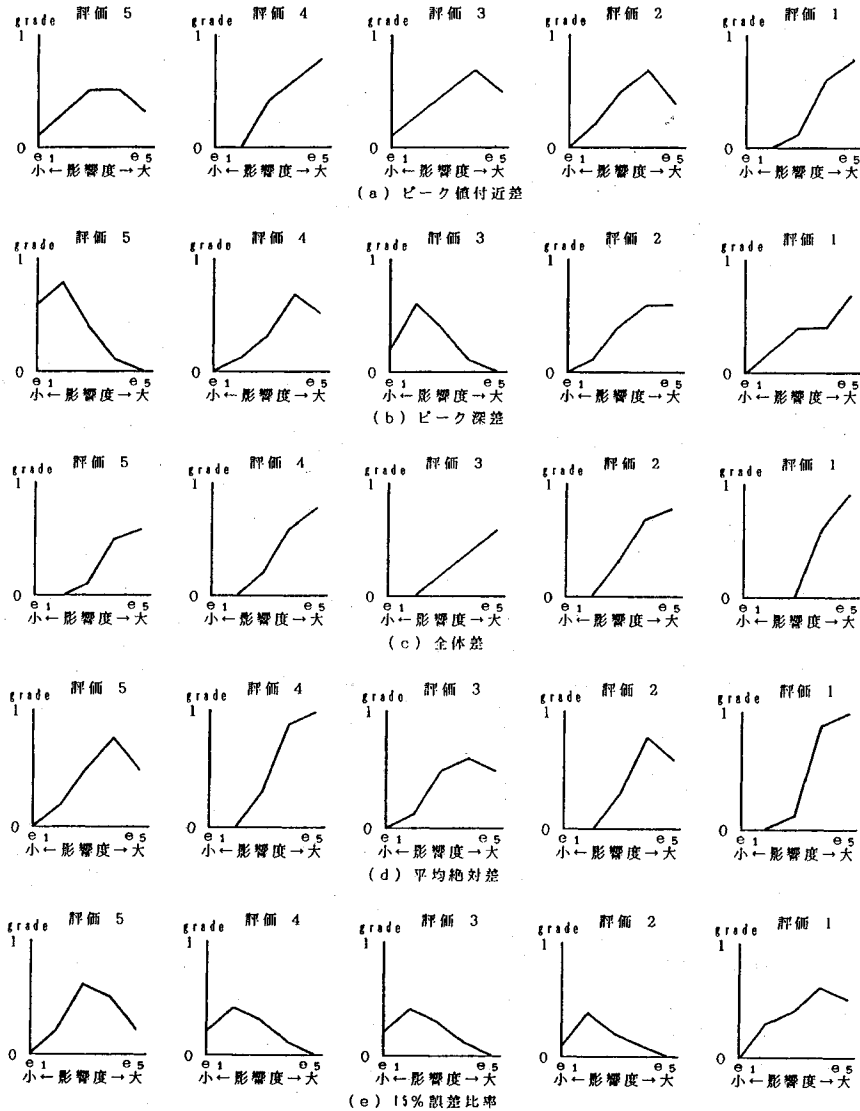


Fig.9 Membership function of parameter E for each parameter G_i ($i=1, 2, 3, 4, 5$)

いるかどうかを考慮にいたれた要因であるため、また、無次元化してしまうと、3) とほぼ同じ内容を表すことになってしまうため、無次元化する必要はないと考えている。5) は元来無次元量である。

4. 演算結果および考察

3.(1) で抽出した5つの要因に関し、どの要因にどのような重み付けをして専門技術者が実測値と予測値の整合性の良否の判定を行っているかを検討した。

Fig.6 は、Fig.5(a) に示すパターンに対して、アンケートにより得られた頻度分布図とファジィ演算の結果得られたメンバーシップ関数を比較したものである。縦軸は相対頻度 (Fig.6(a)) およびメンバーシップ関数の

値 (Fig.6 (b)), 横軸は山留め壁の予測変位と実測変位との一致の度合を評価した点数を表わしている。これより、アンケート結果のピークおよびファジィ演算結果のピークが共に4点になっており、また、図に示されている分布形状も類似していることがわかる。

Fig.7(a), (b) は、Fig.5(b) に示すパターンに対し、Fig.6と同様の比較を行った結果である。この場合も、アンケート結果のピークおよびファジィ演算結果のピークが共に2点になっていること、また、図の形状も類似していることがわかる。従って、山留め壁の実測値と予測値の整合性を判断する際の専門技術者の意思決定プロセスのモデル化がある程度成功しているといえよう。

同様のことを他の25のパターンについて実施し、山

留め壁の変位の実測値と予測値の整合性の良否の判定に影響を及ぼすと考えられる5つの要因が最終的な良否の判定に及ぼす影響度をメンバーシップ関数の形で表示したのがFig.9である。Fig.3に関して述べたように、これらの図において、メンバーシップ関数の形状が右に偏っており、しかも、そのピーク値が高い(1に近い値)ほど専門技術者の整合性の判断に際しての影響度が高いことを、また、メンバーシップ関数の形状が左に偏っており、しかも、そのピーク値が高い(1に近い値)ほど専門技術者の整合性の判断に際しての影響度が低いことを示すことになる。また、評価パラメータGの良否に関わらず常に同じメンバーシップ関数を保持するのが理想的であるが、パラメータGの評価の良否により影響の度合いが変化することもありうると考えられるため、パラメータGの評価毎にメンバーシップ関数の形状を決定することを試みている。

Fig.9より、以下のことがわかる。

1) ピーク値付近差については、「まあまあ影響度が高い」と見させるメンバーシップ関数となっている。これは、専門技術者の意思決定プロセスにおいて、ある程度の影響力を持っているが、実測値と予測値がピーク値付近でかなり近い値を示したとしても、他の要因の評価が「ずれが大きい」場合には、専門技術者はピーク値付近の差を意識しなくなってしまう要素を含んでいるためと考えられる。ただし、ピーク値付近差が大きくなるに従って、専門家の判断に大きく影響するようになってきている。

2) ピーク深差については、ピーク値付近差と同様、差が小さいときは影響度が低く、差が大きくなると影響度が高くなるというメンバーシップ関数となっている。これは、実測値と予測値のピーク深差が小さいときは意思決定プロセスにあまり関与しないが、実測値と予測値のピークのずれが大きくなってくるとかなり影響度が高くなることを意味している。

3) 全体差に関しては、影響度が高いメンバーシップ関数となっている。これは、全体的な形状の相違は、専門技術者にとって図を見たときの最初の印象となり得るものであるため、アンケート調査でも多くの技術者が着目点としており、全体差は総合評価に対し支配的であることを示唆している。

4) 平均絶対差に関しては、3)の全体差と同様あるいはそれ以上に、影響度が高いメンバーシップ関数となっている。その理由も「全体差」に関してのべたことと同じといえよう。また、平均絶対差の評価が3の場合に、影響の度合いが「やや大きい」という形状を示しているが、これは、「評価3」の評価規準が2.58mm～4.03mmとなっている(Table 2参照)ことを考慮すると、「2～3mm程度のズレは測定誤差の範囲内」との

判断が専門技術者の意思決定プロセスの中で生じていることを示唆しているとも考えられる。

5) 15%誤差比率に関しては、その評価が「低い」および、「高い」場合には、影響度がやや高くなる傾向にあるが、全体的には、専門技術者の整合性の判断に与える影響の度合いは「中くらい」といえる。なお、10%誤差比率、20%誤差比率に関しても考慮したが、15%誤差比率の場合と有意な差は生じなかった。

5. ま と め

山留め壁の変位の実測値と予測値の整合性の良否を評価する際の専門家の意思決定プロセスをファジ理論を導入してある程度モデル化することができた。そして、構築したモデルをアンケート調査に基づいて同定したところ、専門技術者は予測結果の良否の判定に際し「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」の順でこれら5つの要因を重視していることが明らかとなった。

実際に電算プログラムの中で、自動的に整合しているかどうかを判断し、次の掘削工事に進んでよいかどうかを判定するためには、ファジ演算を通じて得られるメンバーシップ関数の形状の判読のしかたに関して検討を加える必要があるものの、例えば、「ピーク値が4以上で、メンバーシップ関数と横軸で囲まれる図形の重心位置が3.5以上にあれば次の掘削に進む」というような基準を設定すればよく、この基準の設定はさほど困難ではないと考えている。

現在、「実測値と予測値は整合しておらず、山留め壁の変位を再予測をする必要がある」と判定された場合にも、実測値と予測値の形状の違いから「どの土質定数を再評価すればよいか」を自動的に判定し、変位の再予測を行えるようなモデルをファジ理論を導入して構築することを試みている。その成果については、別の機会に発表する予定である。

謝 辞：本研究を遂行するに際し、アンケート調査結果の整理・分析、およびファジ演算プログラムの作成・演算結果の整理に多大の協力をいただいた増田慎一郎、玉井雄二郎両君(研究当時山梨大学学生)に深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 鳥生晃・水谷淳：山留め情報化施工システム、住友建設技報67号、pp.49～59、1984年9月。
- 2) 杉山俊幸・深沢泰晴・谷内茂浩・小松弘文：既設橋梁の洪水時安全度の判定、構造工学論文集、Vol.35A、pp.1069～1080、1989年3月。
- 3) 水本雅晴：ファジ理論とその応用、サイエンス社、1988年2月。

(1993.1.8 受付)

MODELING OF DECISION MAKING PROCESS RELATED TO JUDGMENT OF AGREEMENT BETWEEN MEASURED AND PREDICTED VALUES OF DEFORMATION OF RETAINING WALL BASED ON FUZZY SET THEORY

Toshiyuki SUGIYAMA, Jun MIZUTANI and Shinichiro KUMAGAI

The purpose of this study is to construct the expert's decision making process, in which judgment whether the value of field measured data with respect to the deformation of retaining wall agrees considerably with the predicted values or not may be made automatically in computer system. In order to simulate the expert's decision making process based on fuzzy set theory, a questionnaire regarding to the above mentioned judgment was set out to 83 experts in excavation work. The results show that the decision making process of expert in excavation work can be simulated by using fuzzy set theory. It has been also revealed that the expert in excavation work must mainly pay attention to the five factors.
