構造工学論文集 Vol.33A (1987年3月) 土木学会

構造設計へのファジイ意思決定理論の応用に関する基礎的研究

APPLICATION OF FUZZY DECISION MAKING TO STRUCTURAL DESIGN

白石成人* 古田均** 吉住先司***
By Naruhito SHIRAISHI, Hitoshi FURUTA and Motoshi YOSHIZUMI

In this paper, an attempt is made to apply the fuzzy sets theory to the design planning of bridge structures. By using the linguistic variables, it is possible to judge the superiority of several alternative design plans from a comprehensive standpoint of view. Once the design factors are evaluated in terms of the linguistic variables defined by fuzzy sets, the final synthetic evaluation is also obtained as a fuzzy set. In order to determine the ranking of their fuzzy evaluations, an ordering method of fuzzy numbers is proposed herein, which is illustrated by a numerical design example.

1. まえがき

構造設計の目的は「良い」構造物を作ることである。この「良い」という意味には「使いやすい」、「安全である」、「耐久性がある」、「経済的である」、「美しい」等の性質が含まれている。建築構造物の設計ではこのなかでも「使いやすい」、「美しい」などの特性が比較的強く意識されており、快適さ、周辺環境への調和などの設計者の嗜好や経験に基づく設計要因の影響を重視している。これに対し、土木構造物は人間活動の維持・発展のために建造されるものが多く、その公共性から安全性・耐久性が重視されるので、種々の法律、諸規定および力学的な要因から設計がかなり束縛されるという側面を持つ。しかし、このことは建築構造物で重視されている「使いやすさ」、「美しさ」などの要因を軽視してもよいことを意味しているわけではない。例えば、橋梁の計画設計について考えると、当然のことながら、橋を利用する人々の快適さや、周りの景色との調和を考慮しなければならない。ところが、このような要因を明確な形で定量的に評価することは非常に難しい。すなわち、美観は地域住民・設計者・利用者それぞれによって評価が異なり、

* 工博 京都大学教授 工学部土木工学教室 (〒606 京都市左京区吉田本町)
** 工博 京都大学講師 工学部土木工学教室 (〒606 京都市左京区吉田本町)
*** 住宅・都市整備公団 (元京都大学生)

各々の意見を計画設計に的確に反映させることは容易ではない。万人が納得のいく形で美観という要因を考慮するには、「美しさ」の程度をなんらかの指標によって評価し、その指標を用いて立場の異なる人の意見を計画設計に反映させなければならない。通常このような定量化しにくい要因を人間はどのように評価しているのであろうか。最も一般的な表現法としては、言葉による評価が考えられる。この言葉による表現を忠実に規定でき、それらを組み合わせて総合的な形で評価できる方法が最も実際的であると思われる。

本研究では、言葉による表現をファジイ集合[1]で規定し、言語変数[2]を用いて構造設計の良否を評価することを考える。ファジイ集合論は通常の集合論を拡張したものであるため、通常の集合を特殊なものとして含んでいるので、明確な評価が可能な要因とそうでないものを統一的に扱うことができる。ところが、言語変数（ファジイ集合）で各設計要因を評価すると、最終的な結果として得られる総合評価値もファジイ集合として表されるので、単純な大小比較でその優劣を判定することはできない。本論文の主たる目的は、このファジイ集合で表された総合評価値を比較して、その中から最も良い代替案を選択するための手法を開発することである。そのために、まずファジイ数の順序付けに必要な要件を明らかにする。次に現在までに提案されている方法の長所を取り入れたより一般的な順序付けの方法を導くことを試みる。さらに構造計画設計の例として、水路横断計画を取り上げ、本方法を適用してその有効性について検討を加える。

2．ファジイ意思決定理論の橋梁計画設計への適用

設計者の嗜好、利用者の使い易さ、周囲環境への影響などのように明確な形で定量化出来ない要因を言葉で表現することを考える。そして、この言葉による表現をファジイ集合で規定し、言語変数で評価することを考える。例えば「良い」という評価を図1で示すファジイ集合で規定する。この言語変数による表現は、全くあいまいさを含まない場合には図2のように幅を持たないメンバーシップ関数となり、これは通常の集合（ファジイ数に対する通常の数）を表すことになる。すなわち、ファジイ数は通常の数を特殊な場合として含んでいるので、明確な評価が可能な要因とそうでない要因を統一的な形で評価でき、同じ土壌で取り扱うことができる。

実際の構造設計にはさまざまな要因を考慮する必要があり、代替案（構造形式）選定をファジイ意思決定理論で行うには、まずこれらの要因をすべて抽出し、要因間に重み付けを行うことが必要である。ここでは、これらの要因の評価及び重み係数を言語変数で評価し、総合評価値を得る。ここでは、拡張原理[3]を用いた次式より総合評価値を求める。拡張原理を用いると総合評価値Tは以下の式より求められる。

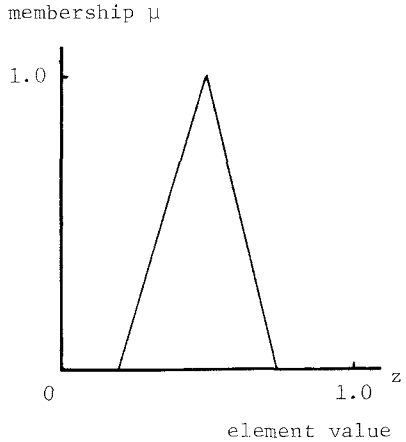

図1　「良い」に対するメンバーシップ関数

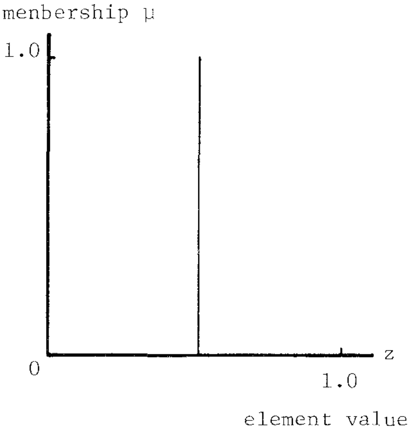

図2　あいまいさがない場合のメンバーシップ関数

$$\tilde{T} = \tilde{u}_1 \odot \tilde{w}_1 \oplus \tilde{u}_2 \odot \tilde{w}_2 \oplus \cdots\cdots \odot \tilde{u}_n \oplus \tilde{w}_n \tag{1}$$

ここに$\odot$，$\oplus$は次式で定義される拡張原理を用いたファジイ数に関する乗法、加法を表す。

ファジイ数$\tilde{A}$，$\tilde{B}$，$\tilde{C}$間に$\tilde{C} = f(\tilde{A}, \tilde{B})$の関係があるとき、$\tilde{C}$のメンバーシップ関数$\mu_C(z)$は$\mu_A(x)$、$\mu_B(y)$より次式で計算される。

$$\mu_C(z) = \sup_{f(x,y)=z} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)) \tag{2}$$

ここで、記号$\wedge$はmin演算を表す。ただし、式（1）を定義通り計算することは、非常に煩雑であるので、通常はL－R関数[4]等の近似法を用いる。このとき、総合評価値はファジイ量（ファジイ数）として得られることになる。通常の２つの数の大小比較は簡単にできるが、ファジイ数は幅をもった形で与えられているので、２つのファジイ数の大小の比較は容易ではない。代替案の優劣の判定にはファジイ数で得られる総合評価値の大小比較をしなければならないので、このファジイ数の順序付けが的確にできる方法を開発する必要がある。

いま、代替案$\hat{u}_i$ と$\tilde{u}_j$ の総合評価値を、

$$\tilde{u}_i = \{z, \mu_{ui}(z)\} \tag{3}$$

$$\tilde{u}_j = \{z, \mu_{uj}(z)\} \tag{4}$$

で表されるメンバーシップ関数で定義する。このとき、$\tilde{u}_i$と$\tilde{u}_j$の優劣を表すための指標として$G(\tilde{u}_i)$，$G(\tilde{u}_j)$を定義し

$$\begin{array}{ll} G(\tilde{u}_i) < G(\tilde{u}_j) & \tilde{u}_i < \tilde{u}_j \\ G(\tilde{u}_i) = G(\tilde{u}_j) & \tilde{u}_i = \tilde{u}_j \\ G(\tilde{u}_i) > G(\tilde{u}_j) & \tilde{u}_i > \tilde{u}_j \end{array} \tag{5}$$

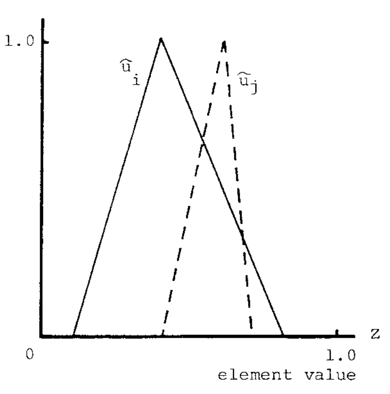

図3　優劣の判定が容易な場合

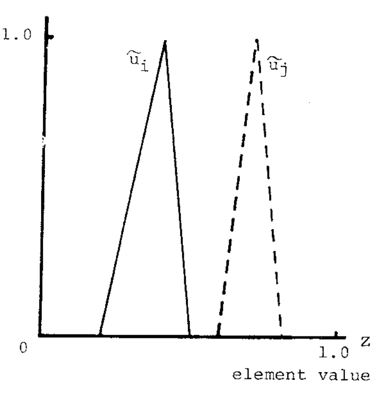

図4　優劣の判定が困難な場合

の関係があるとする。図3では明らかに、G（$\tilde{u}_i$）<G（$\tilde{u}_j$）が成立し$\tilde{u}_i$と$\tilde{u}_j$の優劣の判定は容易である。しかし、図4の例では両者の優劣の判定は容易ではない。これらの図の縦軸はメンバーシップ関数のグレード値を表している。また、横軸は［0，1］で定義されており、$z=1$のとき完全に良いことを表し、$z=0$に近づくにつれて評価が悪くなることを表している。以下論議を簡単にするために、全ての総合評価値は［0，1］の範囲のファジイ数で定義されているとする。このような判定の困難さは、各代替案の評価値が唯一の数ではなく、可能性として［0，1］の範囲の値をとるいくつかの数の集まりという形で定義されていることに起因している。ファジイ数同志の優劣を判定するには、各々のメンバーシップ関数の以下の4つの特性に注目すべきである。

（1）　形状
（2）　高さ（Hgt）　：　グレード値の最大値
（3）　台集合（Support）　：　グレード値が0でない横軸の値の集合
（4）　面積

3．　汎用的な順序付け法

ファジイ数の順序付けの方法として現在までにいくつかの方法が提案されている。本研究では、これらの方法の長所を取り入れ、より汎用的な順位付けの方法を導く。　そのために台集合（Support）及び高さ（Hgt）の両者に含まれているメンバーシップ関数の特性を複合化して、全て高さ（Hgt）に関する特性を表すものと考え、メンバーシップ値が最大となるときの Support値z_i、z_jに注目する。横座標zの値が1に近づくほど高い評価が与えられることを考慮すれば、　$\tilde{u}_i$と$\tilde{u}_j$間の差z_i-z_jに対応する量を$\tilde{u}_j$の最大値 $\max\tilde{u}_j$（z_j）から引くことでこの影響を高さ（Hgt）に導入することが出来る。しかし、ただ単にz_i-z_jをHgtから引くだけでは、高さ（Hgt）の持つ特性と Support の特性を同等に取り扱うことになる。問題によっては、この2つの特性の重要度には違いがある。そこで、ここではパラメータαを乗じることにより、両者の重要度の相違を考慮することを考える。ただし、横軸も［0，1］の範囲に正規化しておけば、$\alpha=1$としても問題はない。

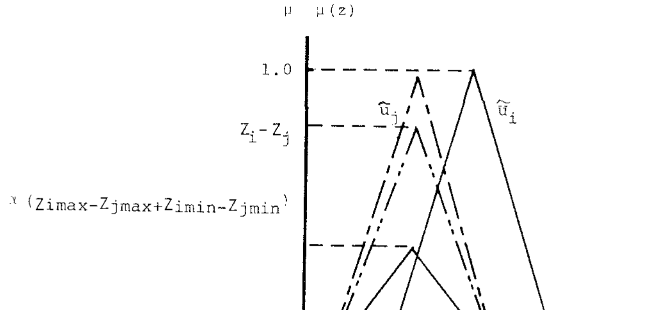

図5　代替案の比較

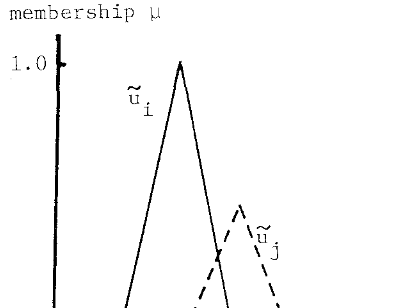

図6　ファジィ数の比較

次に、より正確に Support に関する特性を把握するために$\tilde{u}_i$，$\tilde{u}_j$の Support の最大値、最小値z_{imax}，z_{jmax}，z_{imin}，z_{jmin}に注目する（図5参照） 例えば図6に示すような場合、$z_{jmax}-z_{imax}>0$であれば$\tilde{u}_j$が$\tilde{u}_i$よりも高い評価を受ける度合が強まり$z_{jmin}-z_{imin}<0$であればこの逆が言える。よってこの Support の最大値、最小値に関する情報も高さ（Hgt）の評価に導入することも有効である。しかし、この場合もz_{imax}，z_{jmax}，z_{imin}，z_{jmin}の大小関係を$z_{imax}-z_{jmax}+z_{imin}-z_{jmin}$の形で高さに組み入れると、高さ（Hgt）の持つ特性と Support の特性を同等に取り扱うことになるので、(z_i-z_j)の場合と同様に、パラメータβを乗じることにより両者の重要度の相違を考慮する。ただし、パラメータα、βの取り方によって代替案の評価順位が変わるので、対象とすべき問題の特性を良く検討してこれらの値を決定しなければならない。以上のことを考慮して、本研究では新しい指標として次式で定義される$F(\tilde{u}_i)$、$F(\tilde{u}_j)$を提案する。

$$F(\tilde{u}_i)=\max \tilde{u}_i(z_i) \tag{6}$$
$$F(\tilde{u}_j)=\max \tilde{u}_j(z_j)-\alpha(z_i-z_j)+\beta(z_{jmax}-z_{imax}+z_{jmin}-z_{imin})$$

ただし、$F(\tilde{u}_j)>1$の場合には$F(\tilde{u}_j)=1$とする。 この$F(\tilde{u}_i)$，$F(\tilde{u}_j)$の大小により代替案$\tilde{u}_i$と$\tilde{u}_j$の優劣を判定する。次に、本方法の妥当性及び適用性を Buckleyの方法[6]と Max-Min法[7]と比較することにより検討する。Buckleyの方法と Max-Min法の概略を以下に簡単に記す。

Ｂｕｃｋｌｅｙの方法[6]

Buckley はファジイ数の順位付けの指標として次のものを提案した。

$$e_{ij}=\max_{x>y}[\mu_{ui}(x)\wedge\mu_{uj}(y)] \tag{7}$$

式（7）で$e_{ij}=1$，$e_{ji}<\sigma$（σは1より小さい正の実数）として与えられるならば$\tilde{u}_i>\tilde{u}_j$と判断し、$e_{ij}=e_{ji}$となれば$\tilde{u}_i$，$\tilde{u}_j$の間に優劣はないとする。

Ｍａｘ－Ｍｉｎ法[7]

２つのファジイ数$\tilde{u}_i$，$\tilde{u}_j$に対して $\widetilde{\max}(\tilde{u}_i, \tilde{u}_j)$ および、$\widetilde{\min}(\tilde{u}_i, \tilde{u}_j)$ を拡張原理を用いて定義する。つまり２つの実軸上のファジイ集合$\tilde{u}_i$，$\tilde{u}_j$の maxおよび min演算を、次式で定義する。

$$\widetilde{\max}(\tilde{u}_i, \tilde{u}_j)=c \longleftrightarrow \mu_c(z)=\sup_{\max(x,y)=z}\mu_{ui}(x)\wedge\mu_{uj}(y) \tag{8}$$

$$\widetilde{\min}(\tilde{u}_i, \tilde{u}_j)=c' \longleftrightarrow \mu_{c'}(z)=\sup_{\max(x,y)=z}\mu_{ui}(x)\wedge\mu_{uj}(y) \tag{9}$$

この $\widetilde{\max}$,$\widetilde{\min}$ の定義を用いて以下のようにu_iとu_iの優劣を判断する。

$$\tilde{u}_i<\tilde{u}_j \longleftrightarrow \widetilde{\max}(\tilde{u}_i, \tilde{u}_j)=\tilde{u}_i, \quad \widetilde{\min}(\tilde{u}_i, \tilde{u}_j)=\tilde{u}_j \tag{10}$$

この方法は計算が簡単で適用範囲が広いが、順序付けが不可能となる場合が必要以上に多い。

図7に示す7つの代替案（ファジイ数）の順位付けを考える。この例題では、これら7つの代替案の順位付けを Buckleyの方法と Max-Minを用いた方法、そして本方法を用いて行うと図8のようになる。この結果よりまず注目すべきことは、3方法とも異なる順序付けを与えることである。一般に Max-Minに基づく方法では、順位付けできない場合が多く生じ、Buckleyの方法は詳しい順序付けを与える傾向がある。これに対

し、本方法は両者の中間の結果を与える。すなわち、Max-Min の方法では順位付けを行うためには $\widetilde{\max}(\tilde{u}_i, \tilde{u}_j) = \tilde{u}_i$ が成立しなければならないが、少しでも共有部分が存在するとこの関係は成立せず、順序付けが困難となる。これに対し、本方法は共有部分が存在しても順序付けが可能である。一方、Buckley の方法によると本方法で $\beta = 1$ とした場合（横軸が［0, 1］で定義されているので $\alpha = 1$ としている）に順序付けできないものに対してさらに詳しい順序付けができる。ただし、この結果は $\beta = 1$ とした場合についてであり、β の値の取り方によっては順位付けが変わる可能性がある。

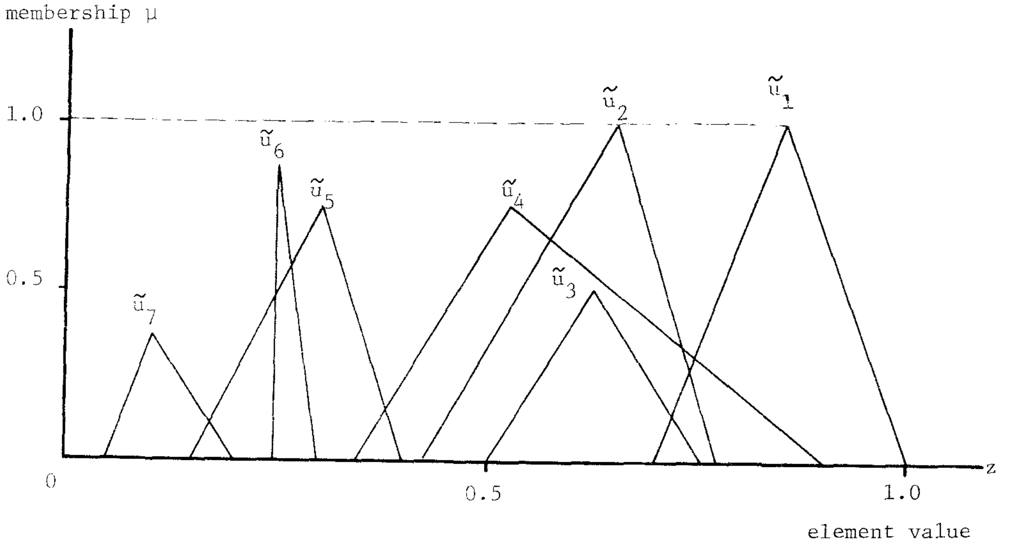

図7　７つの代替案の例

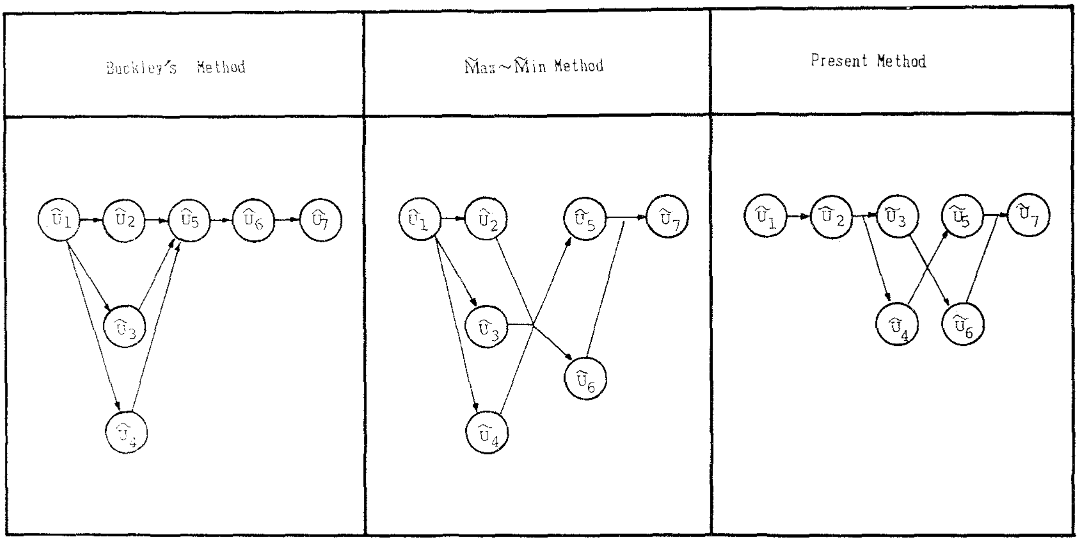

図8　７つの代替案の評価例

ところで、総合評価値を得るための実験あるいは観測データには精度の異なるものが多くある。例えば構造物の形式選定を行うにあたっても、力学的な要因の評価ははっきりとした数値で与えられるのに対し、美観は評価者によってその基準が異なる。このような場合、総合評価に対して詳しい順序付けを行ってもどのくらいその順位が正しいかは疑問である。また順序付けを行うに際して、ほんの少しの差によって順序付けが行われたのであれば、要因の少しの評価の違いによってその順位が逆転する可能性もある。このような場合には無理に順序付けを行わず、１つのグループとしてこのような代替案を扱うほうが良いと思われる。言いかえると、構造形式選定において代替案に詳細な順位付けを行うよりは、むしろある程度の順位付けは行うものの、大まかなグループとして代替案を評価するほうがより実情に即していると思われる。このことを考えると、Max-Min法でも十分に対応できるが、もしなんらかの順序付けを必要とする場合には Buckleyの方法を用いれば良いことになる。
さて本方法はこの例題の場合,Max-Min法と Buckleyの方法の中間の順位を与えている。これは先にも述べたように$\beta=1$を採用した結果であり、βの値を変えれば、さらに詳しい順位付けができ,Buckleyの方法で順位が付かなかったものにも、ある程度の順位付けができる。また、反対にＭａｘ－Ｍｉｎ法以上に大雑把な順序付けも可能である。

４． 数値計算例および考察

橋梁構造物とトンネルを対象とした水路横断計画の代替案比較を行う。スパン長は1000m前後を想定し、以下に示す８代替案を考えた。

（１）一辺アーチ橋＋吊り橋（u_1）
（２）一辺斜張橋＋吊り橋 （u_2）
（３）二辺アーチ橋＋吊り橋（u_3）
（４）二辺斜張橋＋吊り橋 （u_4）
（５）一辺斜張橋＋トンネル（u_5）
（６）斜張橋＋トンネル （u_6）
（７）トンネル （u_7）
（８）二辺斜張橋＋トンネル（u_8）

評価要因の選定においては表１に示すように地域・沿道、自動車利用、船舶運行、港湾管理、事業主体の５グループに分け、それぞれの評価立場を設定して各要因の特性を明確にしている。５グループをさらに細分化し４４項目に付いて考え、それぞれをＡ～Ｋまでの１１段階の言語変数で評価している。このメンバーシップ関数は図９のように与える。たとえばトンネル形式の場合には船舶衝突の危険性はほとんどないので、トンネル案には高い評価である”Ｋ”、”Ｊ”が与えられている。さらに構造物を建設することによって周りの風景との調和を考えるのであれば、トンネルの場合には全く変化がないのでやはり”Ｋ”や”Ｊ”が得られている。海水の濁りについても同じことがいえる。これとは逆に火災、爆発の危険性を考えると、一度事故が発生すれば、橋梁案よりもトンネル案の方が大惨事になることは容易に予想されるので、評価としてはトンネル案が”Ａ”か”Ｂ”であるのに対して橋梁案では”Ｋ”や”Ｊ”の評価が得られている。これらの評価を用いて総合評価値を計算すると、図１０のようになる。ただし、式（１）の計算にはBuckleyが提案した総合評価を求めるための近似計算法[6]を用いている。結果をみると、$\tilde{u}_1$と$\tilde{u}_6$の代替案が優れているという評価がなされている。これにMax-Min法、Buckleyの方法、本方法（$\alpha=1$、$\beta=1$）を用いて順位付けを行うと、表２の結果が得られる。この結果をもとにMax-Min法、Buckleyの方法と本方法の比較検討を行

表１　要因項目別評価値

	評　価　項　目	$\tilde{u}_1$	$\tilde{u}_2$	$\tilde{u}_3$	$\tilde{u}_4$	$\tilde{u}_5$	$\tilde{u}_6$	$\tilde{u}_7$	$\tilde{u}_8$
地域・沿道	工事による海水の濁り	C	C	E	E	G	G	H	G
	大気汚染	A	A	A	A	I	I	K	I
	騒音	K	K	K	K	F	F	A	F
	ながめの変化	E	E	E	E	C	C	A	C
	通過交通の減少	I	G	E	E	C	E	C	C
	通行料金	K	I	F	F	A	C	A	A
自動車利用	危険物運搬車	A	A	A	A	A	A	A	A
	濃霧、強風等（利用制限）	K	K	K	K	K	K	K	K
	工期	F	D	D	D	D	D	B	D
	縦断線形	A	A	B	B	A	A	A	C
	閉塞区間の延長	A	A	A	A	G	G	G	G
	ランプの構造	A	A	A	A	I	I	G	I
	火災、爆発の危険性	A	A	A	A	J	J	J	J
	道路上からの眺望	E	C	E	C	I	I	I	I
	通行料金	K	I	F	F	A	C	A	A
船舶運行	工事用船舶航行量	A	A	A	A	F	F	F	E
	航路切り廻し	A	A	A	A	F	F	E	E
	航路一時閉鎖	K	K	K	K	F	F	A	A
	電波障害	G	G	G	G	D	D	A	D
	視覚認識	G	G	G	G	E	E	A	E
	船舶の橋脚への衝突	B	B	B	B	A	A	A	A
	緊急時の投錨の制限	A	A	A	A	K	K	K	K
	航行管制業務量	K	K	K	K	I	H	I	I
	けい船方法	A	A	A	A	A	A	A	A
	静穏度	G	G	C	C	G	K	K	C
	圧迫感	G	G	G	G	E	E	A	E
港湾管理	工事による海水の濁り	C	C	B	B	G	G	H	G
	航行管制業務量	A	A	A	A	F	F	F	E
	航行管制業務量（航路変更）	K	K	K	K	I	H	I	I
	築島利用	F	F	E	E	F	F	A	E
	電気・ガス等の併用可能性	A	A	A	A	F	F	F	F
	土地の有効利用	A	A	A	A	I	I	E	I
	工期	F	D	D	D	D	D	B	D
	事務費	K	K	H	H	B	D	B	A
	通行料金	K	I	F	F	A	C	A	A
事業主体	建設費総額	K	K	H	H	B	D	B	A
	維持管理費	K	K	H	H	D	E	G	A
	施工の容易性	A	A	A	A	I	I	I	I
	建設の容易性	I	I	A	A	A	A	A	A
	防災システム	A	A	A	A	F	F	K	F
	船船衝突の危険性	B	B	B	B	A	A	A	A
	交通事故の可能性	A	A	A	A	F	F	K	F
	工期	F	D	D	D	D	D	B	D
	完成時期の整合性	F	F	F	F	K	K	K	K

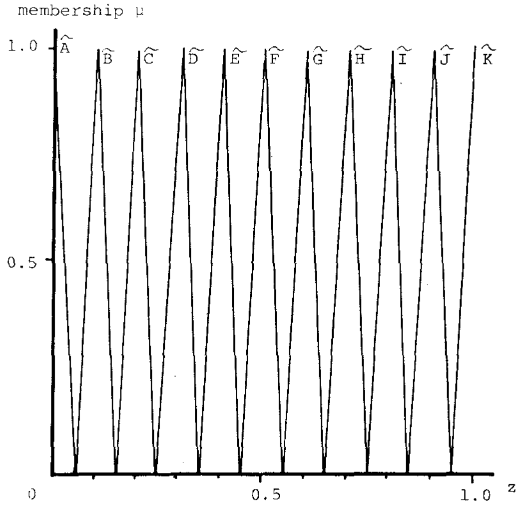

図９　言語変数のメンバーシップ関数

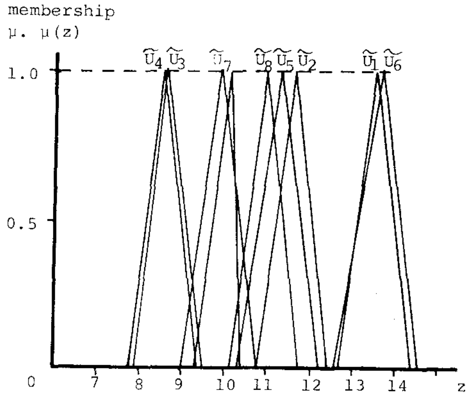

図１０　代替案の総合的評価値

表２　代替案の順序付け

M̃ax～M̃inの方法を用いた場合	$\begin{array}{c}\tilde{u}_1\\ \tilde{u}_6\end{array} \rightarrow \tilde{u}_2 \rightarrow \tilde{u}_5 \rightarrow \begin{array}{c}\tilde{u}_8\\ \tilde{u}_7\end{array} \rightarrow \tilde{u}_3 \rightarrow \tilde{u}_4$
Buckleyの方法を用いた場合	$\tilde{u}_6 \rightarrow \tilde{u}_1 \rightarrow \tilde{u}_2 \rightarrow \tilde{u}_5 \rightarrow \tilde{u}_8 \rightarrow \tilde{u}_7 \rightarrow \tilde{u}_3 \rightarrow \tilde{u}_4$
本方法を用いた場合（$\beta=1$）	$\tilde{u}_6 \rightarrow \tilde{u}_1 \rightarrow \tilde{u}_2 \rightarrow \tilde{u}_5 \rightarrow \tilde{u}_8 \rightarrow \tilde{u}_7 \rightarrow \tilde{u}_3 \rightarrow \tilde{u}_4$
本方法を用いた場合（$\beta=2$）	$\begin{array}{c}\tilde{u}_1\\ \tilde{u}_6\end{array} \rightarrow \tilde{u}_2 \rightarrow \tilde{u}_5 \rightarrow \begin{array}{c}\tilde{u}_8\\ \tilde{u}_7\end{array} \rightarrow \tilde{u}_3 \rightarrow \tilde{u}_4$

う。Max-Min法では少しでも代替案のファジイ数に共通部分が存在すると、完全な順序付けは不可能となる。それに対してBuckleyの方法および本方法は、その代替案間に順位付けを施すことが可能である。

このように、Buckleyの方法と本方法は詳細な順位付けが可能であるが、先にも述べたように大ざっぱな資料しか与えられていない本例題のような場合、それほど詳しい順位付けをしても、それが果して真実の意味を持つかどうかは疑問である。たとえば、図１０をみてもわかるように$\tilde{u}_1$と$\tilde{u}_6$には優劣の差をつけても無意味である。このような場合にも、本方法はβの値を変えることにより、いろいろな順位付けができる。例えば、$\beta=2$とすると、本方法は表２に示すように、Max-Min法と同じ結果を与える。このように本方法はMax-Min法、Buckleyの方法を含む汎用的な方法といえる。本方法を用いれば、Max-Min法が詳しい順序付けを望む場合には適用できない、あるいはBuckleyの方法では不必要に詳しい順位付けを行ってしまうという欠点を補っており、その有用性が確認された。

５．結論および今後の課題

本研究では、構造設計の根源的な命題に着目し、「良い構造物」を作るための代替案の順位付けの方法について考察を行った。構造設計に影響を及ぼす数多くの要因の中で、特に定量的に評価することが困難な要因に注目し、ファジイ意思決定理論の構造計画設計への応用を試みた。本研究で得られた主な結論を以下に記す。

（１）ファジイ集合で規定された言語変数を用いて代替案を評価すると、従来の得点付け法が持っていた欠点を克服することができる。すなわち、得点付け法では定量化が困難な要因を無理に定量的な形で評価することにより、有為な代替案が全く考慮されないことが起こる。これに対し、ファジイ意思決定理論を用いると、定量化が容易な要因とそうでない要因が統一的に扱え、しかも有意な差のない代替案は、順序付けが不可能と評価されるので、最終的な結果は唯一の代替案ではなく、いくつかの代替案が好ましい候補として選ばれることになる。本研究で取り上げた水路横断形式選定の問題にも、このファジィ意思決定理論の特徴を生かすことが出来る。

（２）構造設計の総合評価手法としては、拡張原理を用いた方法が、精度、解釈の容易さという点で優れている。ただし、拡張原理を実際の計算で厳密に実現することは困難であり、何らかの近似法を用いなければならない。本研究で用いたBuckleyが提案した総合評価のための近似法は、構造設計の代替案の総合評価を得るのに十分である。

（３）本研究で提案した順位付け方法を用いると、Max-Min法より精密な結果が得られ、またBuckleyの方法より大雑把な結果が得られる。すなわち、本方法は両者の中間の結果を与える。さらに本方法では、パラメータα、βの値を適宜設定することにより、評価の精度を調整することが出来る。Max-Min法もα ーレベルの概念を導入すると、本方法と同様評価精度を調整することが出来るが、計算は本方法の方が簡単である。実際的な水路横断計画の例題に本方法を適用し、本方法の有用性が確認できた。

今後の課題として、以下の項目が挙げられる。

（１）代替案の順序付けの新しい方法を提案してその有用性を示したが、この方法は計算においてSupportやHgtなどの多くの数値を必要とし、Buckleyの方法やα-レベルの概念を用いないMax-Min法と比べると、適用範囲は広いが計算は複雑になる。さらに、α、βの値を問題によって適宜選択しなければならず、この値をどのような根拠に基づいて決定するかについて、今後検討する必要がある。

（２）さらに、今回は総合評価方法として、拡張原理に基づくBuckleyの近似法を用いたが、他の有効と思われる、例えば多基準分析法[8]などについて今後検討する必要がある。

参考文献

1）Zadeh,L.A.:Fuzzy Sets,Information and Control, Vol. 8, pp.338～353, 1965.

2）Zadeh,L.A.:The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning-I,Information Science,Vol.8,pp.199～249,1975.

3）Dubois,D. and Prade, H.:Fuzzy Sets and Systems:Theory and Applications,Academic Press,1980.

4）Dubois, D. and Prade,H.:Fuzzy Real Algebra:Some Results,Fuzzy Sets and Systems,Vol.2,pp.327～348,1979.

5）Bortlan, G. and Degani, R.:A Review of Some Methods for Ranking Fuzzy Subsets,Fuzzy Sets and Systems,Vol.15,pp.1～19,1985.

6）Buckley, J.:Ranking Alternatives Using Fuzzy Numbers,Fuzzy Sets and Systems,Vol.15,pp.213～231,1985.

7）田中英夫、和多田淳三、浅居喜代治：ファジイ集合による多属性代替案の評価、システムと制御、Vol.27、No.6,pp.403～409,1985.

8）白石成人、古田均、橋本光行、ファジイ多基準分析に基づく構造物の健全度評価、システムと制御、Vol.28,No.7,pp.475～482,1984.

（１９８６年１０月１７日受付）