

技術ノート

エキスパートシステムによる橋梁形式の走行性評価

Evaluation of Driver's Sense at Running on Bridges by Using an Expert System

野村 国勝*
Kunikatsu NOMURA前田 研一**
Ken-ichi MAEDA西土 隆幸***
Takayuki NISHIDO島田 清明****
Kiyooki SHIMADA

The people want beauty and room about structure around them recently. They always see and use bridges. Therefore, a designer should consider the sense at running and the beauty for selecting the suitable type of a bridge. The old system evaluated the sense at running by only expansion joint. This new system uses moreover vibration caused by girder stiffness and obstruction to view. The evaluation of latter elements is difficult, because these are subjective. The authors use fuzzy sets theory to evaluate these elements and get satisfactory the results of evaluation on the sense at running.

Keyword : expert system, fuzzy sets, sense at running

1. まえがき

著者らは、先に河川橋梁を対象にした上下部工形式選定エキスパートシステムを開発した¹⁾。このシステムでは、選定された橋梁形式に対して経済性に重点をおいた評価を行い、走行性と施工性の評価は参考程度に留めている。

最近では、地域住民が自分たちの周りの構造物に対して美観あるいは、ゆとりや快適さを強く求めるようになってきている。そのなかで橋梁は特に住民の目に触れることが多く、かつ利用頻度が高いことから、その形式を選定するに当たり、走行性や美観などは重要な要素となりつつある。

そこで、今回鋼橋を対象に、本システムで選定された橋梁形式の走行性に対する評価をファジィ理論により定量的に行う方法を提案した^{2),3)}。すなわち、走行性は、著者らのこれまでのシステムを含めて従来のシステムではエキスパンション・ジョイント(以下ジョイントと略記)の数のみにより評価されていたが^{4),5)}、本システムではそれに橋梁形式に対する振動特性と視界との要素を加えることにより、総合的に走行性を評価しようとするものである。なお、本システムは、LISP専用マシン(KS-303, 日本ユニシス株)とエキスパートシェル(KEE, インテリ

ープ社)とを用いている。

本文は、ファジィ理論を用いた走行性の評価方法とその適用結果について述べるものである。

2. 走行性の評価方法

ここではジョイント、振動特性、視界それぞれの要素の評価方法と走行性の評価方法について述べる。

(1) ジョイントの評価

ジョイントは以下の方法で定量的に評価される。すなわち、まず評価すべきすべての橋梁形式のジョイント数を調べる。次に、最もジョイント数の多い形式は走行性が最も悪くなることから最低の評価である1点が、また、最もジョイント数の少ない形式には最高の評価である5点が与えられる。そして、それらの間のジョイント数に対しては比例配分して点数が与えられる。

(2) 振動特性の評価

運転者は橋上を走行するとき、あるいは橋上で急停車するとき、桁の揺れに不安を感じることがある。そして、その不安感は橋梁形式によって異なる。そのようなことから、この要素も走行性に影響を与えられ考える。しかしながら、桁の揺れに対する不安感の程度は主観的なものであり、ジョイントの評価のような定量的な評価は困難である。そこで、この評価に主観すなわち、あい

*川田工業㈱取締役技術本部長 **川田工業㈱技術本部中央研究室室長 ***川田工業㈱技術本部中央研究室 ****川田工業㈱技術本部技術部設計二課

まいさを評価できるファジィ理論を用いることにした。

振動特性,あるいは後述する視界などを評価するためには,図-1のメンバーシップ関数を用いる(この図に示される関数は一例であり,実際には鋼橋に対して吊橋を除くすべての橋梁形式の関数が用意されている)。これらの関数は,すべて1人の熟練設計者により作成されたものである。単純下路トラスを例に取り,これらの関数の取り扱い方を説明する。

なお,走行性は運転者の受ける感覚の程度を評価するものであることから,本来,図-1のようなメンバーシップ関数は,運転者によって作成されるべきである。しかし,一般の運転者は橋梁に関して十分な知識をもたないことから,たとえば,図-1の橋梁形式に対する各要素の評価を容易には行えない。そこで,熟練設計者のみによりメンバーシップ関数を作成することにした。

まず,単純下路トラスに関して径間長が「小さい」「普通」,そして「大きい」という概念を表すメンバーシップ関数を作成する。たとえば,径間長が「小さい」という関数は,60m以下ならばその確からしさが1となる。60m以上になると確からしさが順次低くなり,70m以上ではもはや径間長が小さいとはいえなくなることを表している。

次に,径間長が「小さい」ときの桁の振動特性は,桁の揺れをまったく感じないときに最高の評価である5点が,揺れを感じ非常に不安であるときに最低の評価である1点が与えられる。この場合には,5点となる確からしさが最も高いことを示している。このような方法で,あいまいな概念を定量的に表現することができる。

(3) 視界の評価

橋梁形式によっては,橋上走行中に運転者の視界を遮ったり,あるいは運転者が圧迫を感じたりすることがある。したがって,この要素も走行性に影響を与えると考えられる。この要素も主観的であり,定量的な評価が困難であるので,振動特性と同様の方法で評価する。この場合は,走行中に視界を遮るものが何もないとき,あるいは圧迫をまったく感じないときに最高の評価である5点が与えられる。

(4) メンバーシップ関数の作成方法

おのおののメンバーシップ関数に整合性をもたせるため,図-1の振動特性と視界とに関する関数は,前述したようにすべて1人の熟練設計者により作成された。しかしながら,その熟練設計者のもつ振動特性や視界の感覚が他の人と大きく異なる場合には,それらのメンバーシップ関数をそのまま使用するのは危険である。そこで,作成後,数人の熟練設計者にそれらの関数を検討してもらい若干の修正を加えた。

以上のような方法でメンバーシップ関数を作成することは妥当であると考えられるが,その設計者の負担は相当重くなる。ここではメンバーシップ関数をより容易に作成する別の方法も提案する。

まず,図-2の様式のアンケートを10名の熟練設計者に行った。たとえば,径間長では径間長に対するアンケート結果の範囲を度数として集計し,最も高くなる度数の値で他の度数を除いたものをそのままメンバーシップ関数とした。図-3にアンケート結果により作成されたメンバーシップ関数を,1人の熟練設計者により作成された

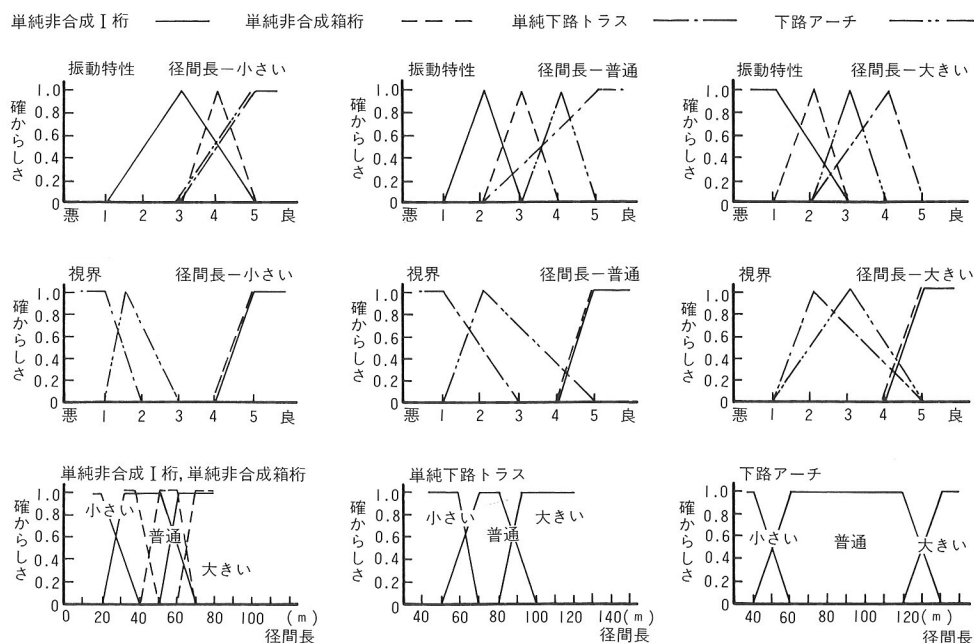


図-1 走行性の評価に用いられるメンバーシップ関数

メンバーシップ関数とともに示す。振動特性、視界のメンバーシップ関数も同様の方法で作成される。

(5) 各要素の重み付け

走行性をジョイント、振動特性そして視界の各要素を用いて評価する場合においても、ジョイントの影響が最も大きくなると思われるが、それら3要素が走行性にどの程度の重要性(重み)をもっているかは不明である。運転者が振動特性、視界のメンバーシップ関数を作成するのは困難であるが、3要素の重みを決定することは十分可能である。

1. 各橋種に対して径間長が、小さい、普通、大きいと確実にいえる範囲は何mから何mまでですか。小さい、普通、大きい範囲が重ならないようにして下さい。

連続非合成Ⅰ桁	小さい	50～60m
	普通	70～100m
	大きい	100～200m

2. 橋梁上を自動車で走行するとき、各橋種のジョイント以外の桁の揺れ(振動)に対する不快の程度はどれくらいですか。(最も不快と感じる場合を1、全く不快と感じない場合を5とする) 1から5までの整数でお答え下さい。

連続非合成Ⅰ桁 径間長が小さい 5 普通 4 大きい 4

3. 橋梁上を自動車で走行するとき、各橋種が与える視界、あるいは圧迫感ほどの程度ですか。(最も視界が悪い、あるいは圧迫感が大きい場合を1、視界が良い、あるいは圧迫感をまったく感じさせない場合を5とする) 1から5までの整数でお答え下さい。

連続非合成Ⅰ桁 径間長が小さい 5 普通 5 大きい 5

図-2 メンバーシップ関数を決定するためのアンケート様式

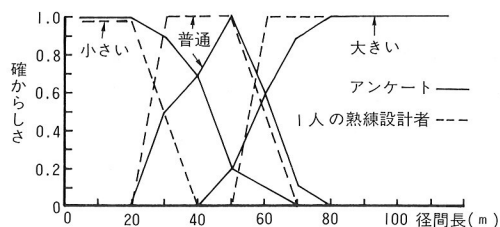


図-3 径間長のメンバーシップ関数

運転者と設計者との3要素の重みに対する考え方が大きく異なれば、重みは利用者である運転者が決定した値を採用すべきであると思われる。そのため、両者の評価にどれくらいの差異があるのかを明確にしておくことは重要である。ここでは、これらの要素の重みを、アンケートを行いその結果より決定する方法と、メンバーシップ関数を作成した熟練設計者が決定する方法とを用いた。

アンケートは図-4の方法で17名の運転者を対象に行われた。いずれのアンケート結果も「ジョイントを通過するときの振動あるいは、騒音」に最高点が付けられていたので、その要素が10点となるようにおのの要素を得点し直し、さらに、それらの平均値を10で除したものを各要素の重みとした。その結果、ジョイント:1.0, 振動特性:0.34, 視界:0.44となった。一方、熟練設計者により、決定された重みは、1.0, 0.3, 0.5となった。

なお、ジョイントの評価には、あいまいさがまったく含まれていないが、振動特性と視界の評価には、それらが定量的なものであっても、あいまいさが含まれている。それらの評価結果に同様に重みを乗じることが、必ずしも妥当な方法ではなく、それらの取り扱いに関して今後検討の余地がある。

あなたは、橋梁上を車で通過するとき、次のどの項目が最も気(不快)になりますか。

1. ジョイントを通過するときの振動あるいは、騒音	6
2. 視界あるいは、橋梁が与える圧迫感	2
3. 橋梁の揺れ(振動)……………ジョイント以外	4

最も気(不快)になる……………10点
まったく気(不快)にならない……………0点
を基準にして点数をつけて下さい。

図-4 重みを決定するためのアンケート様式

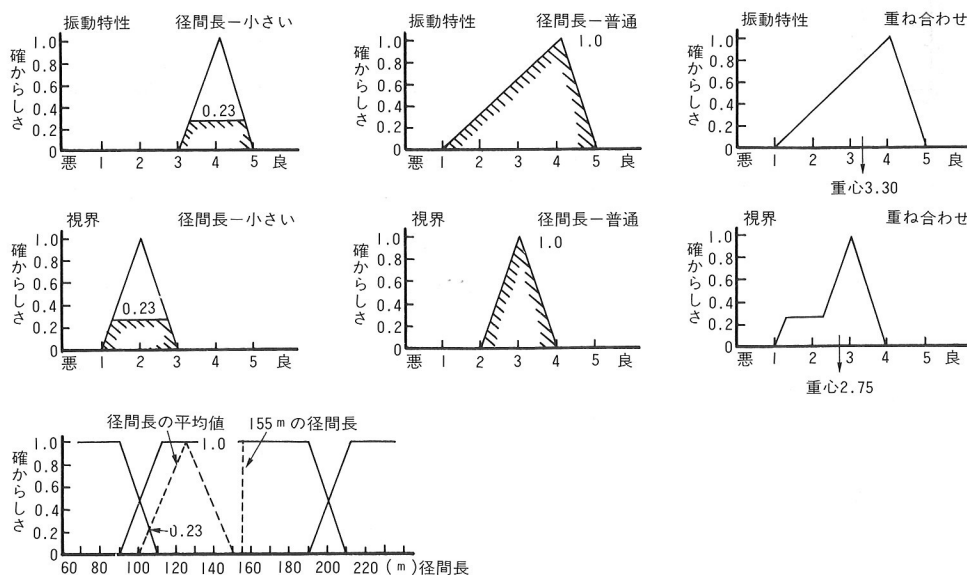


図-5 斜張橋の場合の評価方法

(6) 総合評価のための計算方法

走行性の総合的な評価は、図-5 (斜張橋の例) のように行われる⁹⁾。

- ① 径間長の平均値を計算し、平均値(125 m) $\pm$ 20%の幅をもつ2等辺3角形のメンバーシップ関数を作成する。そして、その関数と径間長が「小さい」、「普通」、「大きい」という状態を表すメンバーシップ関数とを重ね合わせ、それらの交点を求める(たとえば「小さい」との交点は0.23)。
- ② それらの交点の値で径間長が「小さい」、「普通」、「大きい」という場合の振動特性、視界のメンバーシップ関数をカットする。「普通」の場合には、交点が1.0となるので、振動特性、視界それぞれのメンバーシップ関数は元の形となる。また、「大きい」の場合には交点がないので、その値を0でカットする。すなわち、メンバーシップ関数は存在しないことになる。
- ③ カットされた振動特性、視界それぞれのメンバーシップ関数(径間長が「小さい」、「大きい」)を重ね合わせ、両者の値の大きくなる方を取る。そして、その図形の重心と横軸との交点を求めると、その値が振動特性と視界の評価となる(3.30, 2.75)。
- ④ 2. (1)の方法で求めたジョイントの評価および振動特性、視界の評価に重みを乗じ、それらを加算して最終的な走行性を評価する。

①では径間長の平均値を用いたが、径間長そのものを用いる方法も考えられる。その場合には、径間長のメンバーシップ関数(155 m)は1本の直線となる。

以上の方法では、メンバーシップ関数の重ね合わせと重心の取り扱いとに関して次のような問題が生じる。まず、二つのメンバーシップ関数が重なった場合には、その部分の確からしさが、他の部分よりも大きくなる。また、図-6のような場合には、(a)の評価値の確からしさが、(b)よりも大きくなる。

それらを考慮し、前者では橋梁形式ごとに両者の確からしさを加算し、それらの値をすべての形式に対する最大の確からしきの値で除する⁷⁾。また、後者では前者の方法でおのおののメンバーシップ関数を重ね合わせ、それらの確からしき L と底辺の幅 B との比 L/B を計算する。そして、その比が最大となるものでおのおのの L/B を除し、それらを各評価値に乘じる。なお、これらの方法を「改良法」と呼ぶことにする。

3. 適用例とその考察

図-7に示す実際の比較設計例を対象に、今回提案した方法の妥当性を検討する。この設計例では、熟練設計者により走行性が評価されたが、走行性が4位となってい

るものが2ケースある。これはどちらがどの程度優れているか明確にはわからなかったためである。

評価結果を表-1に示す。この表には以下の四つの方法で走行性を評価した結果が示されている。なお、走行性の評価には、評価値そのものと各評価値を最大の評価値で除したもの、すなわち、最大値に対する比率とがある。

方法1：(6)の計算方法の①～④を用いる(1人の熟練設計者によるメンバーシップ関数と径間長の平均値を用いる)。

方法2：1人の熟練設計者によるメンバーシップ関数と径間長そのものの値を用い、方法1と同じ計算を行う。

方法3：アンケートから得られたメンバーシップ関数と径間長の平均値を用い、方法1と同じ計算を行う。

方法4：方法3に対して「改良法」を用いる。

重みについては、方法1～4とも1人の熟練設計者およびアンケートにより決定した値の両方を用いる。

これらの結果から以下のことが考察できる。

- ① 今回提案したどの方法を用いても、走行性の1位から3位までの順位は比較設計例と同じになる。4位に関しては、前述したように比較設計例では明確な評価が困難なため2ケースあるが、提案した方法では、定量的に4、5位まで評価できる。
- ② 方法1と方法2とではほぼ同じ結果が得られる。前者は後者に比べ計算量が少なくなるので、走行性の評価には前者を用いればよい。
- ③ 運転者と熟練設計者により決定された重みを用い走行性を評価すると、差異は最大で4%となる。評価すべき橋梁形式が多くなる場合には、走行性の順位が逆転することもあると考えられる。
- ④ 方法1と方法3とでは走行性の評価値そのものを比較すると最大で15%の差異があるが、アンケートのサンプル数が10名と少なく、その数を増やせば両者の差異はさらに小さくなると思われる。後者の方法は、前者に比べメンバーシップ関数の作成が容易であることから、走行性を評価する有効な方法である。ただし、サンプル数が少ないと順位が逆転する可能性があるため、どちらの方法を用いるかは対象とするメンバーシップ関数の性質により選択すべきであろう。
- ⑤ 方法3と方法4とでは、走行性の評価値そのものを比較すると最大で40%の差異がある。また、方法3の振動特性と視界との評価値のほとんどが方法4の評価値よりも大きくなっている。これは主に、 L/B を考慮したためである。しかし、最大値に対する比率の評価結果に関しては、改良法を用いた影響はそれほど大きくない。

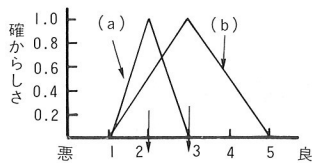


図-6 メンバシップ関数の重心

表-1 走行性評価結果一覧表

評価項目 CASE No.	ジョイント	振動特性	視界	走行性評価		提案方法による順位	比較設計による順位
				熟練設計者	運転者		
①方法1	1.00	2.63	4.65	4.11(0.50)	3.94(0.49)	4	4
方法2	1.00	2.63	4.65	4.11(0.50)	3.94(0.49)	4	
方法3	1.00	3.51	4.32	4.21(0.53)	4.09(0.52)	4	
方法4	1.00	3.62	4.31	4.12(0.54)	4.13(0.56)	4	
②方法1	5.00	3.00	4.65	8.23(1.00)	8.07(1.00)	1	1
方法2	5.00	3.00	4.65	8.23(1.00)	8.07(1.00)	1	
方法3	5.00	2.89	4.28	8.01(1.00)	7.87(1.00)	1	
方法4	5.00	2.18	3.86	7.61(1.00)	7.44(1.00)	1	
③方法1	5.00	4.70	1.30	7.06(0.86)	7.17(0.89)	3	3
方法2	5.00	4.41	1.60	7.12(0.87)	7.20(0.89)	3	
方法3	5.00	3.39	2.10	7.07(0.88)	7.08(0.90)	3	
方法4	5.00	2.13	1.85	6.50(0.85)	6.54(0.88)	3	
④方法1	1.00	4.00	2.70	3.55(0.43)	3.55(0.44)	5	4
方法2	1.00	4.00	2.70	3.55(0.43)	3.55(0.44)	5	
方法3	1.00	2.92	2.44	3.10(0.39)	3.07(0.39)	5	
方法4	1.00	1.69	1.40	2.21(0.29)	2.19(0.29)	5	
⑤方法1	5.00	3.30	2.75	7.37(0.90)	7.33(0.91)	2	2
方法2	5.00	3.34	2.63	7.34(0.90)	7.31(0.91)	2	
方法3	5.00	3.16	3.12	7.51(0.94)	7.45(0.95)	2	
方法4	5.00	2.37	3.13	7.28(0.96)	7.18(0.97)	2	
熟練設計者	1.00	0.30	0.50	()は最大値に対する比率を表す。			
運転者	1.00	0.34	0.44				

方法1：径間長の平均値に対するメンバーシップ関数を用いる。
 方法2：各径間長そのものに対するメンバーシップ関数を用いる。
 方法3：アンケートによって決定されたメンバーシップ関数を用いる。
 方法4：方法3に改良法を用いる。

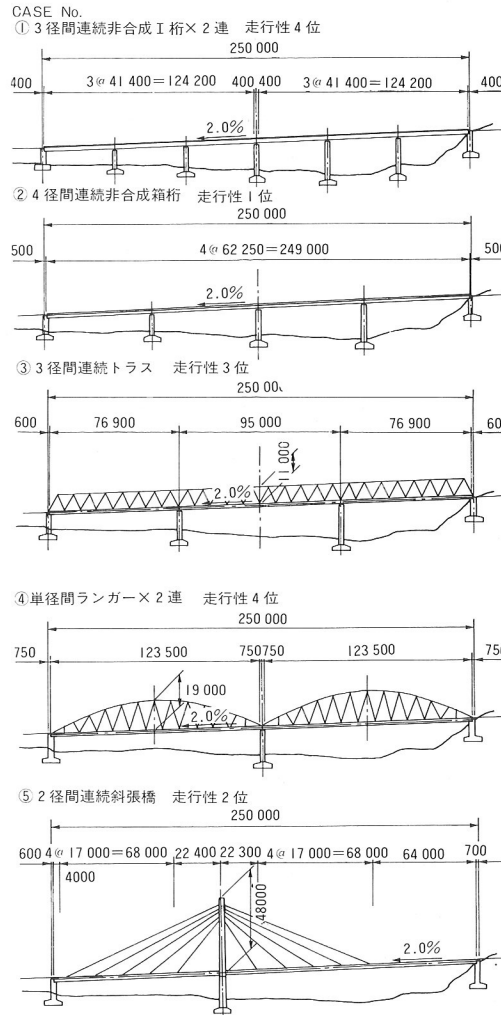


図-7 比較設計例の走行性の評価結果

4. あとがき

最適な橋梁形式は、経済性、施工性、構造特性、走行性および美観などの各項目を評価することによって選定される。したがって、各形式の走行性を定量的に評価することは、他の項目を含めた総合的な評価を行うために重要なことであると思われる。

本橋梁形式選定システムでは施工性、美観などに対しても走行性と同様にそれらを定量的に評価できる方法を研究する必要がある、それらを今後の課題としたい。

参考文献

- 1) T.Nishido, K.Maeda, K.Nomura: Study on Practical Expert System for selecting the types of River-Crossing-Bridges, *Proc. of JSCE*, No. 422, pp.121~132, Oct. 1990.
- 2) 西土隆幸・前田研一・島田清明・野村国勝：橋梁形式選定エキスパートシステムにおける橋上走行時の運転者の感覚評価に関する研究，構造工学論文集，Vol. 36A，

pp.513~524, 1990年4月。

- 3) 西土隆幸・前田研一・島田清明・野村国勝：橋梁形式選定のためのエキスパートシステムにおける走行性の評価方法について，第45回土木学会年次学術講演会概要集，1990年10月。
- 4) 岩松幸雄・須原茂・黒沼秀友：橋梁の比較設計支援エキスパートシステムに関する研究，橋梁形式選定エキスパートシステムに関するミニワークショップ，建設省土木研究所，1989年1月。
- 5) 土木設計エキスパート・システム研究会：報告書，1986年10月。
- 6) 田崎栄一郎：ファジィ・エキスパートシステム，数理科学，No.284，pp.46~54，1987年2月。
- 7) 水本雅晴：わかりやすいファジィ理論Ⅲ ファジィ推論とファジィ制御——，コンピュータロール，Vol.28，pp.32~45，1989年10月。