

既設橋梁の洪水時安全度の判定

ESTIMATION OF SAFETY OF BRIDGE STRUCTURE UNDER A FLOOD

杉山俊幸* 深沢泰晴** 谷内茂浩*** 小松弘文****

by Toshiyuki SUGIYAMA, Yasuharu FUKASAWA, Shigehiro YANAI and Hirofumi KOMATSU

In order to quantitatively grasp what kind of factor has significant influence on the safety of bridge suffering from a flood, a method based on quantification theory No.1 and the one based on a fuzzy set theory have been put forward. Eleven factors, namely construction year, reduced clearance height, standard clear span length ratio, obstruction ratio of high-level water flow, decrease ratio of embedment depth of bridge foundation, normal line geometry of bank, riverbed condition, riverbed gradient, type of superstructure, type of substructure, and shape of pier, are extracted in this study. Forty-four bridges constructed in Fuji River basin and twenty-five ones existing in Abe River and Oi River basins are used as the sample. It has been revealed that the factors such as construction year, normal line geometry of bank and decrease ratio of embedment depth of bridge foundation have considerable effect on the safety of bridge when it suffers from a flood, whereas obstruction ratio of high-level water flow and riverbed gradient are relatively minor factors.

1. はじめに

わが国の多くの河川は、流域上流部の開発や砂利採取など河川を取り巻く環境の変化に伴い、その河床低下が顕著となってきた。そして、河床低下を伴う河川中の橋梁構造物の洪水時や地震時の安全性は著しく低下していることが指摘されている¹⁾。橋梁の流出・倒壊は、橋梁本体の損失だけに留まらず、交通路の遮断という経済流通上・社会生活上の損失にも結び付く。そのため、現在供用中の橋梁の洪水時・地震時の安全度を評価し、架け替えあるいは補修の必要性について検討しておくことが維持管理上必要となってくる。しかしながら、既設橋梁の安全度評価あるいは下部工の沈下・傾斜等に対する被災橋梁の復旧方法の決定は、技術者の長年の経験や勘に基づく工学的判断によってなされているのが実情であり、客観的・論理的根拠が必ずしも明確でない場合も多い。従って、既設橋梁の安全性にどのような要因がどの程度影響を及ぼすのかを、ある程度定量的に把握し、維持管理の対象となる橋梁の安全度を判定できるような手法を構築しておくことが望ましい。このような試みは、橋梁の耐震強度に関してはなされている²⁾が、洪水時の安全性という立場からの評価は現時点ではなされていない。

そこで本研究では、橋梁の架設年次や河床低下の度合などの諸要因が橋梁構造物の洪水時の安全性にどの

-
- * 工博 山梨大学助教授 工学部土木工学科 (〒400 甲府市武田4-3-11)
 - ** 工博 山梨大学教授 工学部土木工学科 (〒400 甲府市武田4-3-11)
 - *** 鹿島建設(株) (〒163 東京都新宿区西新宿2-1-1)
 - **** 大成エンジニアリング(株) (〒160 東京都新宿区新宿1-8-5)

程度影響を及ぼすかを定量的に評価することを試みる。その手法としては、数量化分析Ⅰ類を用いる方法およびファジイ理論を導入する方法の2通りが考えられる。両者を比較すると、数量化分析Ⅰ類を用いた方法においては、1つの要因の各カテゴリーに属する割合を「0（属さない）」か「1（属する）」のどちらかで評価しなければならない。これに対しファジイ理論を導入した方法では、カテゴリーに属する割合を〔0, 1〕の範囲の値を持つメンバーシップ関数で表現することが可能である。そのため、どのカテゴリーに属するかを必ずしも明確に判断できない場合には、後者の方が有利となる。たとえば、橋梁の架設年次を考えたとき、その橋が「古い」のか「新しい」のか、それとも「どちらとも言えない」のかというような曖昧さが判断の中に入ってくるような場合には、ファジイ理論を導入した方が好都合である。しかしながら現時点では、ファジイ理論を用いる場合のメンバーシップ関数や評価の基本的ルールの決定に関しては、検討の余地が多分に残されている。そのため実際に安全度評価を行う場合、すなわち洪水に見舞われたときにその橋梁が流出・倒壊といった被害を受け易いか否かを判定する場合には、両者を併用していくのが望ましいと考えている。

2. 数量化分析Ⅰ類³⁾を用いた評価方法

2. 1 要因とカテゴリーおよび目的変量

数量化分析Ⅰ類を用いて解析を行うためには、まず橋梁構造物の洪水時の安全性に影響を及ぼす要因を、「評価すべき項目」として決定する必要がある。本研究では、富士川水系の橋梁構造物に対して実施された現況調査項目¹⁾および建設省土木研究所によって実施された「橋脚の被災および補強工事例に関するアンケート調査」⁴⁾で取り上げられた評価項目を参考にして、表1に示すような11個の要因を抽出した。また、各々の要因に対するカテゴリーは、河川管理施設構造令⁵⁾（以下、単に構造令と呼ぶ）などを参照して表1のように分類した。これらの要因のうち定義の必要なものについて記述すると以下のようになる。

①有効桁下高

桁下高から計画高水位を差し引いた値で、構造令第20条に規定されている堤防の余裕高と等しくなるが、ここでは橋梁に関連する要因ということで「余裕高」ではなく「有効桁下高」と定義し直している。なお余裕高とは、計画高水位に匹敵する水位の洪水を越流させないための堤防の高さの余裕のことで、計画高水流量に応じて定められている。有効桁下高が小さいほど上部工が水に浸かる危険性が高くなる。

表1 数量化分析Ⅰ類に用いた要因（評価項目）とカテゴリー

要 因	カ テ ゴ リ ー	要 因	カ テ ゴ リ ー
架設年次	昭和20年以前 昭和21年～40年 昭和41年以降	河床状況	単列 複列 その他
有効桁下高	0以下 0～余裕高 余裕高以上	計画河床勾配	1/500未満 1/500～1/100 1/100以上
基準径間長比	1.0未満 1.0以上	上部工形式	PC桁 トラス I桁
河積阻害率	5.0%未満 5.0%以上	下部工形式	ケーソン 直接基礎 杭基礎
根入れ減少率	20%未満 20～40% 40%以上	橋脚形式	長円式 円柱式 壁式 その他
堤防法線 平面形状	直線状 蛇行 屈曲		

②基準径間長比

基準径間長比とは、現径間長の基準径間長（構造令第63条第1項で規定）に対する比を表わす。この項目は、橋梁架設地点での河積閉塞、すなわち橋脚間に流木等が漂積しやすいかどうかに関連するもので、基準径間長比が1.0以上であることが望ましく、小さい値となるほど危険となる。

③河積阻害率

橋脚の存在が洪水時の流水にどの程度の支障を及ぼすかを知らるための目安として用いられるもので、

$$\text{河積阻害率} = (\text{橋脚の流水直角方向の幅の総和}) / (\text{全河幅}) \times 100 \quad [\%]$$

で与えられる。河積阻害率が大きいほど橋脚に作用する流体力の総和は大きくなり、倒壊・流出の危険性が高くなるといえる。ただし、河積阻害率が相当大きくなって橋脚相互の作用が生じる場合を除いて、橋脚1本当りに作用する流体力そのものは河積阻害率と無関係である。河積阻害率の一般的な目安として、道路橋に関しては「努力目標3%以内、上限値として5%以内」と言われている。

④根入れ減少率

「河道部に設ける橋脚の基礎部は河床の表面から深さ2m以上の部分に設けること」という構造令第62条第2項の規定を考慮して

$$\text{根入れ減少率} = \Delta L / L \times 100 \quad [\%]$$

と定義している（図1参照）。根入れ減少率が大きいほど橋脚の流水方向への転倒・滑動に関する安全度が低下することになる。

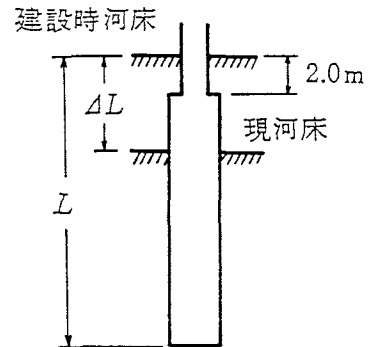
⑤河床状況

一般的には「砂州発達」、「自然河床」、「整正安定河床」

の3つのカテゴリーに分類するのが妥当であるが、本研究の対象とする富士川水系においてはほとんど砂州発達しているため、ここでは砂州発達状況により「単列河道」、

「複列河道」、「その他」に分類している。単列河道の方

が複列河道に比べて河道水深が大きく危険な状態であると考えられる。「その他」のカテゴリーには、河床が岩盤である橋を分類したが、これは単列・複列河道よりも流速が大きくなるため、より危険な状態であると考えられる。



$$v = \frac{\Delta L}{L} \times 100$$

図1 根入れ減少率vの定義

目的変数としては「推定危険度」を用いることにする。この「推定危険度」とは、解析に用いる橋梁がどの程度洪水時に危険かを表わす値で、過去に落橋したことがあるか否かに重点を置き、実際に落橋したことがある橋は推定危険度の値を大きくし、落橋等被災度の軽微なものほど小さい値とすることとした。実際には、完全に落橋したものの推定危険度を5.0とし、ほぼ安全である橋梁の推定危険度を1.0とすることにし、0.5刻みで、文献1）、4）等を参照して主観的に決定した。

数量化分析Ⅰ類では、サンプル数はダミー変数の最低2倍は必要となる。そのため本研究では、富士川水系に架かる44橋梁に、静岡県安倍川および大井川水系に架かる25橋梁を加えた計69橋梁をデータとして使用することとした。本解析に使用した各橋梁の評価結果を付表に示す。

2.2 解析結果および考察

表1に示した各要因が橋梁の洪水時安全度（ここでは推定危険度）に及ぼす影響の度合を表わす偏相関係数の値を、要因別に示したのが図2である。偏相関係数の大きい要因ほど影響の度合が大きいのであるが、図2より、架設年次・上部工形式・堤防法線平面形状・根入れ減少率・基準径間長比の順に洪水時の安全性に影響を及ぼすことがわかる。予想通り、架設年次の古い橋梁ほど危険であるという結果が得られている。

また、河積阻害率や計画河床勾配の影響はさほどないことも結果として得られている。

「上部工形式」の偏相関係数が大きな値を示しているが、洪水時の橋梁事故の多くは橋脚の倒壊・流出に起因して上部工の破壊・流出が生じるというパターンで発生しており、上部工形式が洪水時安全度に大きく影響するとは直観的には考え難い。そこでこのような結果が得られた理由を考えてみると以下になる。本研究で使用した69橋梁のうちの約1/4に相当する17橋は上部工がPC桁であり、そのほとんどが低い推定危険度を示している。すなわちPC桁の場合には、上部工の重量が大きくなるため、それに伴って橋脚寸法・重量も大きくなり、流体力に対する橋脚の安定性が増加すると考えられる。従って、「上部工形式がPC桁ならば安全である（推定危険度が低い）」という'強い'関係を生じ、橋梁の洪水時の安全度に及ぼす上部工形式の影響が大きくなったといえる。

「根入れ減少率」に関しては、昭和57年に山梨県を襲った台風10号および18号による富士川水系の橋梁災害は、「河床低下が急速に進行していたところへ洪水による局所洗掘が重なりケーソン基礎の根入れが大幅に減少したことが直接の原因となっている¹⁾」ことを考慮すると、偏相関係数が大きくなるのは予想通りの結果といえよう。

「堤防法線平面形状」の偏相関係数が大きくなっている理由として次のことが考えられる。すなわち、河道が蛇行あるいは屈曲している地点では、洪水時の河川断面内での橋軸方向の流速変化が著しく、直線状河道の場合よりも局所洗掘が生じ易くなるためと考えられる。

「基準径間長比」の影響が相対的に大きく、「河積阻害率」の影響が極めて小さいという結果から、両者とも高水時の流水作用に関連しているものの、洪水時の橋梁構造物の倒壊・流出には、橋脚に作用する流体力の総和よりも橋脚間における流木等の漂積の方が悪影響を及ぼすと結論できよう。すなわち、橋梁は洪水時に橋脚に作用する流体力のみに対しては十分に抵抗し得るが、これに流木等の漂積に起因する外力が加わると倒壊・流出に至ると考えられる。

「下部工形式」および「橋脚形式」は、架設地点での地盤条件ならびに施工条件を考慮してその地点に最も適した形式が選定されているのが普通である。また、形式そのものよりは根入れ減少率や河道平面形状といった下部工や橋脚を取り巻く条件の良否により安全度が決定されるため、これらの偏相関係数の値が共に小さくなっていると考えられる。

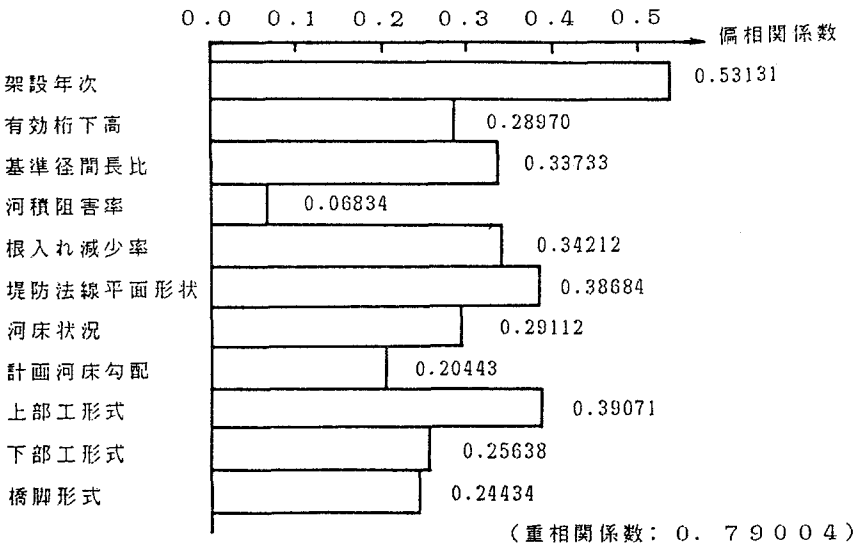


図2 各要因の偏相関係数

3. ファジイ理論を用いた評価方法⁶⁾

橋梁の洪水時安全度に影響を及ぼすと考えられる幾つかの要因をある程度曖昧な形で評価しさえすれば、その橋梁が洪水時に安全であるかどうかを判定できる方法を、ファジイ理論を導入して構築することを試みる。本研究では、Blockleyが既設構造物の破壊確率の推定に用いている手法⁷⁾を応用することにする。

3. 1 評価のパラメータの設定

評価のパラメータとは、評価ルール（後述）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良否、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。既設橋梁の洪水時安全度評価を行う場合、これらのパラメータは、①「橋梁の架設年次」や「堤防法線平面形状」など橋梁の洪水時安全度に影響を与える要因の良否、②各要因が橋梁の洪水時安全度に及ぼす影響の大きさ、③橋梁の洪水時安全度の程度と表現できる。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と呼ぶことにする。

3. 2 評価ルールの策定

ファジイ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、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とである¹⁾。このことを前述した3個のパラメータで記述すると次のようになる。

ある要因Aに関して「要因Aが良く（g）、要因Aが安全度に及ぼす影響の度合いが大きければ（e）、その橋は安全であるだろう（n）」

一般的に推論の形で表現すると、

「if G=g and E=e 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（程度）を表わすとなる。すなわち、橋梁の安全度の総合評価は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「良い」、「標準的」、「悪い」の3段階、Eを「大きい」、「中くらい」、「小さい」の3段階に分けると、表2に示すような7種類の推論が可能となる。そこで本研究では、この7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。

表2 評価の基本的ルール

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	良い 標準的 悪い	安全であるだろう まあまあ安全か 安全でないか のどちらかだろう 安全でない（危険である）だろう
中くらい	良い 標準的 悪い	安全であるが、特に安全であるわけでもない まあまあ安全か 安全でないか のどちらかだろう 安全でない（危険である）が、特に危険というわけでもない
小さい	評価パラメータGが、良くても 標準的でも 悪くても、安全度にはあまり関係ない	

脚注*)数量化分析Ⅰ類では、総合評価が各要因の重み付き線形和となっている、すなわち各要因が独立にその重要度で評価に関わっていることを前提としている。

3.3 評価ルールのファジイ的表現

ファジイ集合の考え方を応用して、前節で策定した7種類の評価ルールをファジイ集合によって表現することを考える。すなわち、「大きい」「良い」といった曖昧な表現をファジイ集合で表現することにより、人間のことば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をそれぞれファジイ集合と考える。すなわち、パラメータGは「要因（評価項目）の良し悪し」を表わす集合とし、「非常に良い」から「非常に悪い」の間を、例えば11段階に分けた g_0 、 g_1 、 $\dots$ 、 g_{10} の11個の要素から成るものとする。同様に、ファジイ集合E、Nも各々「大きい・小さい」、「安全・危険」の程度を示す11個の要素で構成されているものとする。

次に、ファジイ集合G上で「良い」、「標準的」、「悪い」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図3のようになる。同様に「大きい」、「中くらい」、「小さい」、および「安全」、「安全とも危険ともいえない」、「危険」などをファジイ集合E、N上で各々メンバーシップ関数を与えて表現すると図4のようになる。なお図3、図4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わってしまうことはなく、不合理ではないといえよう。

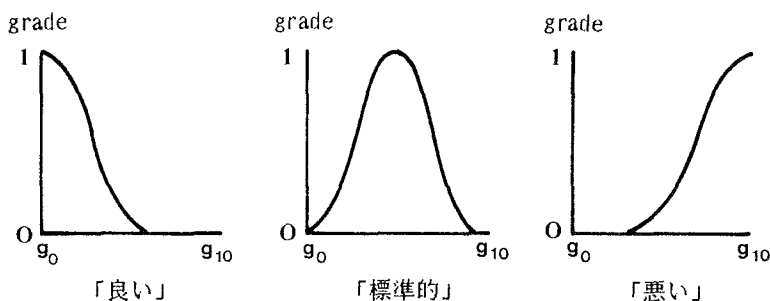


図3 パラメータGのファジイ的表現

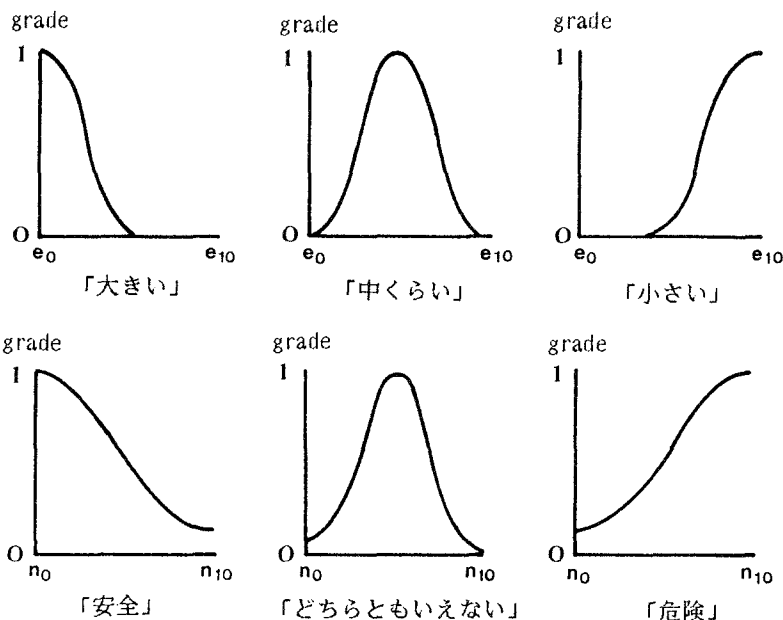


図4 パラメータE、Nのファジイ的表現

3. 4 演算方法の構築

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、ファジイ集合の積集合・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。

〔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「良い」、「大きい」と推定されたとき、表2に示した評価ルールによれば、パラメータNは

「安全であるだろう」となる。このときのGとEの関係は「Gは良くて、かつEが大きい」という積集合の関係になっている。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 ($i=0 \sim k-1$, k は要素数) の 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 ($j=0 \sim m-1$, m は要素数) の gradeを示す値を'列'成分としてファジイ演算を行って得られる行列を表わしている。

〔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

各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、ファジイ演算では、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

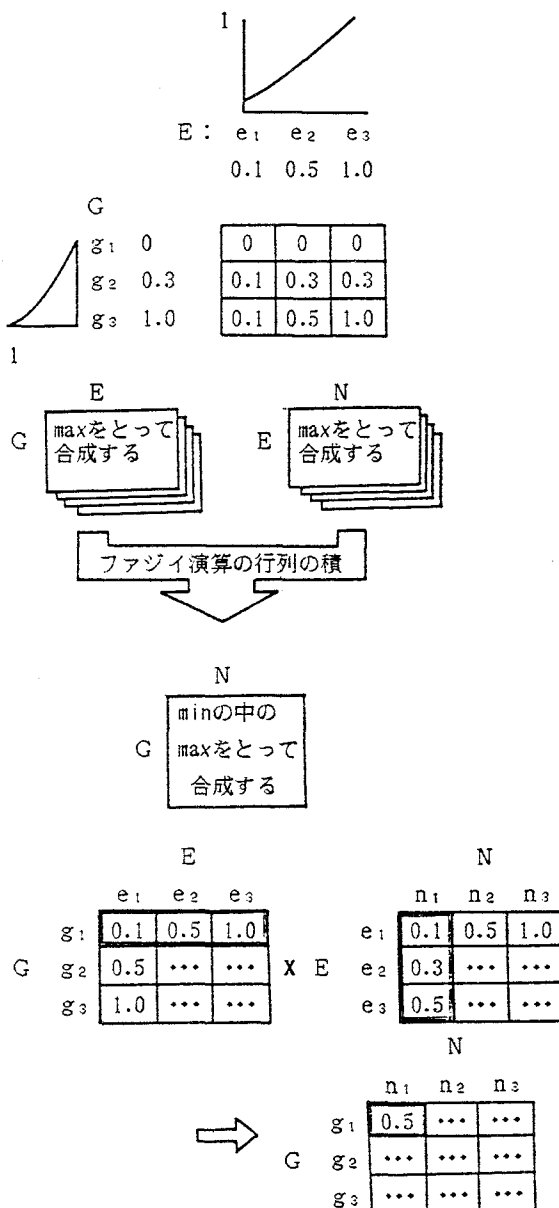


図5 ファジイ積分モデル

求めてその成分とする。たとえば求める行列の第(1, 1)成分 b_{11} は

$$b_{11} = \max \{ \min \{ c_{1i}, d_{i1} \} \text{ for all } i \}$$

となる。ただし c_{1i} , d_{i1} は各々 (G, E) 行列の第(1, i)成分, (E, N) 行列の第(i, 1)成分である。

【ステップ 4】(G, N) 行列のうち、各列の中での最大値をとる。

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。すなわち、パラメータ N の各要素、たとえば n_0 (「安全である」) の度合いがどの程度かを求める場合、 n_0 の列の最大値によって決まると考えるのである。このようにして $n_0 \sim n_{m-1}$ までの各列の最大値をとっていくことで、「安全である」～「安全でない」までの安全度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。

以上のステップを図示したのが図5である。なお同図では、理解を容易にするためにパラメータ G, E, N に属する要素の数を3個としてあるが、実際には要素の数を11として演算を実行している。

3. 5 演算結果および考察

ある橋梁の洪水時安全度をファジイ理論を導入して評価する場合、個々の要因が安全度に及ぼす影響の大きさを前もって求めておけば、対象とする橋について各々の要因の良否を推定しさえすれば結果を得ることができる。従って、各要因に関する評価のパラメータ E のメンバーシップ関数を求めることが必要かつ重要となってくる。そこで、富士川橋梁に架かる44橋梁の現況調査により得られているデータ(2章参照)からパラメータ G および N に関するメンバーシップ関数を決定し、これを用いて、パラメータ E のメンバーシップ関数を求めてみる。なお対象とした要因は、数量化分析 I 類を用いる場合に抽出した要因のうち、「良い・悪い」の判定が可能な架設年次・有効桁下高・基準径間長比・河積阻害率・根入れ減少率・堤防法線平面形状・河床状況・計画河床勾配の8個である。

要因の良否に関するパラメータ G に対しては、「かなり良い」、「良い」、「標準的」、「悪い」、「かなり悪い」の5水準に分け、図6に示すようなメンバーシップ関数を仮定した。橋梁の安全度の度合いに関するパラメータ N に対しては、N が G だけでなく E にも影響を受けることを考慮して、G と E の各々の組合せについて図7に示すようなメンバーシップ関数を仮定した。

本来ならば、データから得られる G, N からこれら2つのパラメータを関連付ける E のメンバーシップ関数を求めればよいのであるが、その計算はかなり煩雑となる。そこでここでは、パラメータ E に関しては、「かなり大きい」、「大きい」、「中くらい」、「小さい」、「かなり小さい」の5水準に分け、図8に示すようなメンバーシップ関数を仮定し、これらのうち最も適切に G と N を結び付ける E のメンバーシップ関数を選び出すという方法を採用している。

数値計算により得られた結果を示したのが図9である。これより、架設年次の影響度は相対的に大きく、有効桁下高や河積阻害率の影響は小さいことがわかる。この結果は、数量化分析 I 類を用いた場合とほぼ一致している。なお、こうした結果が得られた物理的考察(現象面からの考察)は2. 2で行っている。

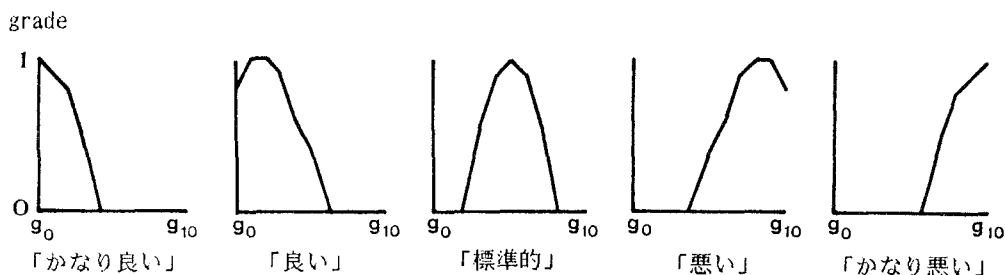
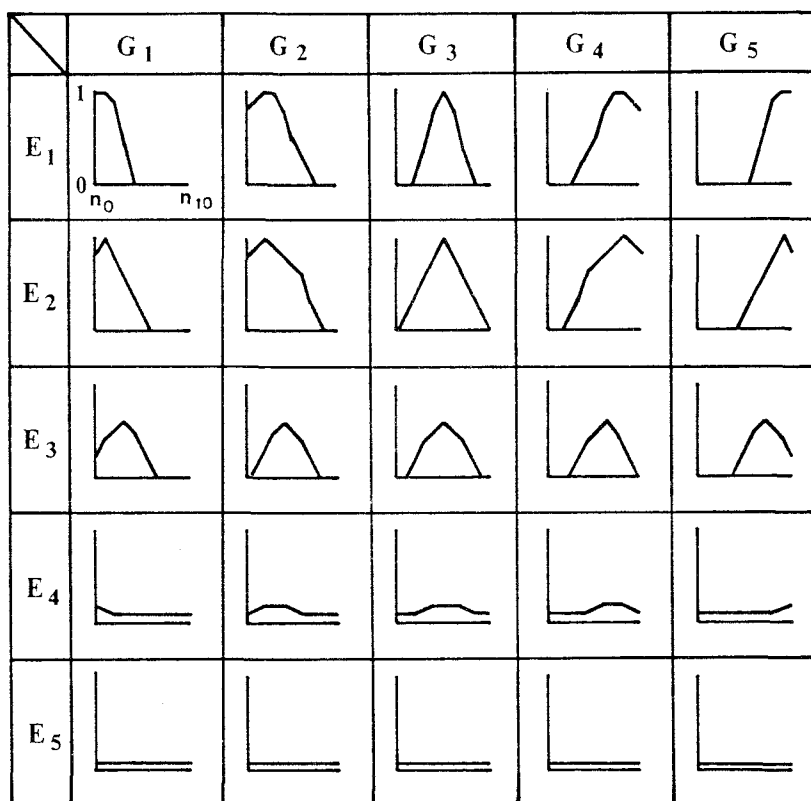


図6 パラメータ G のメンバーシップ関数

既設橋梁の洪水時安全度を評価する場合に、ここで得られた「橋梁の洪水時安全度に及ぼす影響の大きさ」に関するパラメータEのメンバーシップ関数をあらかじめ与えておけば、評価の対象となる橋梁の各要因の良否に関するパラメータGのメンバーシップ関数のみを主観的に与えることにより評価が可能となる。



〔縦軸はgrade、横軸は $n_0 \sim n_{10}$ の要素を表わす。目盛りは左最上段の図と同じ〕

G_1 ：かなり良い、 G_2 ：良い、 G_3 ：標準的、 G_4 ：悪い、 G_5 ：かなり悪い
 E_1 ：かなり大きい、 E_2 ：大きい、 E_3 ：中くらい、 E_4 ：小さい、 E_5 ：かなり小さい

図7 パラメータNのメンバーシップ関数

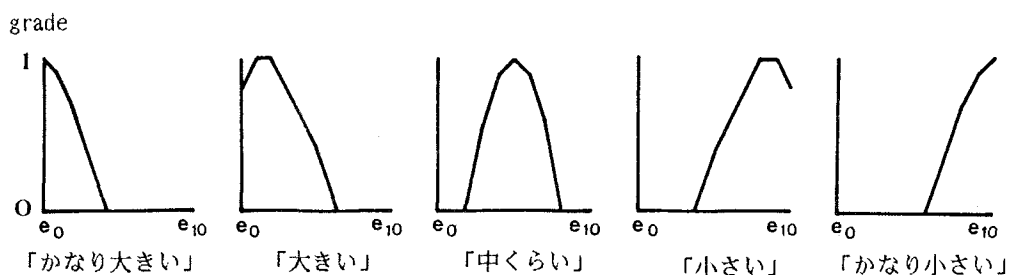


図8 パラメータEのメンバーシップ関数

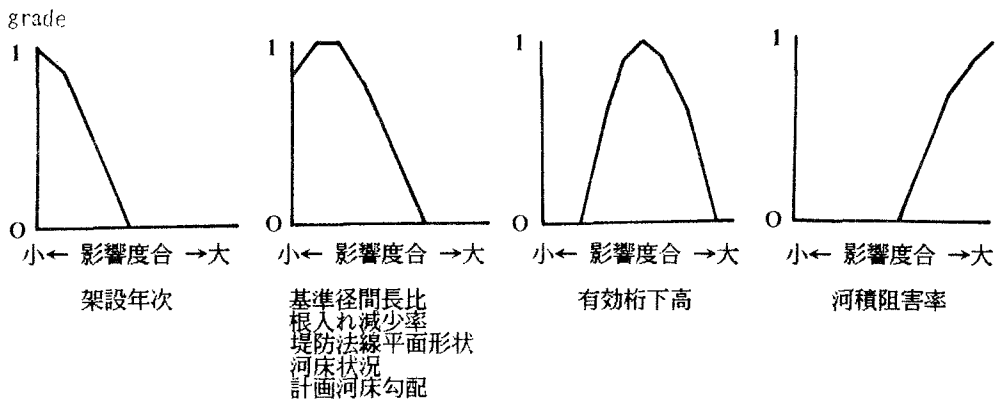


図9 橋梁の洪水時安全度に及ぼす影響度の大きさに関するパラメータEのメンバーシップ関数

4. まとめ

その良否が曖昧な形でしか推定できないようなものも含めた諸々の要因が橋梁構造物の洪水時の安全性にどの程度影響を及ぼすかを、数量化分析Ⅰ類およびファジイ理論を用いた方法によってある程度定量的に評価することを試みた。その結果、架設年次や堤防法線形状、根入れ減少率といった要因の影響度合が大きく、河積阻害率や計画河床勾配・有効桁下高の影響はさほどないことが明らかとなった。

ここで示した手法が実用に供するためには、より多くのデータを収集し、本解析に必要な要因の抽出やカテゴリーの分類方法、メンバーシップ関数の仮定のしかた等について、さらに詳細な検討を重ねて精度の向上を図らねばならない。また、本研究で用いたデータは富士川水系の橋梁・河川に関するものであり、他の水系に関するデータも含めて解析を行った場合にも同様の結果が得られるかどうかについても検討しておく必要があると考えている。しかしながらファジイ理論あるいは数量化分析Ⅰ類を用いた評価手法は、今後既設橋梁の洪水時の安全度を判定していく上での1つのアプローチの方法となり得るといえよう。

参 考 文 献

- 1) 深沢泰晴、杉山俊幸、岡村美好：河床低下と橋脚・橋梁の安全性に関する考察、土木学会誌、Vol.73, pp.81-86, 1988年5月。
- 2) 久保慶三郎、片山恒雄：橋梁の耐震強度の判定、生産研究、29巻3号、pp.92-94, 1977年3月。
- 3) 河口至商：数学ライブラリー32 多変量解析入門Ⅰ、森北出版、昭和83年8月。
- 4) 建設省土木研究所河川研究室：橋脚による局所洗掘深の予測と対策に関する水理的検討、土研資料1797号、ISSN 0386-5878、昭和57年3月。
- 5) 日本河川協会：解説 河川管理施設等構造令、山海堂、昭和53年3月。
- 6) 水本雅晴：ファジイ理論とその応用、サイエンス社、昭和63年2月。
- 7) Blockley, D.I.: Predicting the Likelihood of Structural Accidents, Proceeding of Institution of Civil Engineers, Part 2, pp.659-668, Dec. 1975.

(1988年10月12日 受付)

推定危険度	架設年	昭和20年以前	昭和21～41年	有効高	基礎径	基礎比	護欄率	根少率	堤防形状		河況		計画	河床		上部式	下部式	橋形		型式		
									直線状	蛇行	屈曲	単列		複列	その他			1/500未満	1/500		1/100	1/100以上
3.5	1	武田橋	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
2.5	2	船山橋	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
3.0	3	双田橋	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
4.0	4	信玄橋	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
5.0	5	閑玄橋	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
4.0	6	浅原橋	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
3.5	7	三郡西橋	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
3.5	8	日川橋	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
2.5	9	岩手橋	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
4.0	10	八幡橋	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
4.5	11	萬甲橋	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2.5	12	万津大橋	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
4.0	13	根津橋	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
2.5	14	神徳橋	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
4.0	15	桑戸橋	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2.5	16	笛吹橋	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
3.0	17	鶴飼橋	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
2.5	18	石和橋	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
3.5	19	蛭見橋	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
2.5	20	白井河原橋	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
2.5	21	下曾根橋	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
3.5	22	豊根橋	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
4.5	23	三郡東橋	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2.5	24	富士橋	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
4.0	25	鹿島橋	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
5.0	26	月見橋	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
3.0	27	峡南橋	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
4.0	28	富士川橋	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
4.0	29	飯富橋	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
4.0	30	新早川橋	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
4.0	31	富山橋	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
4.5	32	富延橋	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
4.5	33	南橋	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0

34	富栄橋	4.0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
35	万栄橋	4.0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
36	新内房橋	4.0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
37	内房橋	4.0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
38	富原橋	4.0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	
39	蓬来橋	4.0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
40	東名 富士川橋	2.5	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
41	富士川鉄橋 上り	4.5	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
42	富士川鉄橋 下り	4.5	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	
43	新富士川鉄橋	4.5	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
44	新富士川橋	3.0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	
45	南安倍川橋	2.5	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
46	東名 安倍川橋	2.5	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
47	新幹線 安倍川橋	3.0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
48	JR 安倍川橋	3.0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
49	駿河 大 橋	2.5	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	
50	県道 安倍川橋	5.0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	
51	安倍川大橋	2.5	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
52	狩野 橋	3.5	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
53	鷹 橋	3.0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	
54	竜西 橋	5.0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	
55	玉機橋	3.0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	
56	粟科川 橋	2.5	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	
57	牧ヶ谷 橋	2.5	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
58	富厚里 橋	2.5	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
59	太平 橋	5.0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	
60	富士見 橋	3.0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	
61	東名 大井川橋	2.5	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	
62	新幹線 大井川橋	3.0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	
63	谷口 橋	3.0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	
64	蓬来 橋	5.0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	
65	JR 大井川橋 上り	3.0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
66	JR 大井川橋 下り	3.5	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	
67	国道 大井川橋	3.0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
68	新大井川橋	2.5	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
69	大井川水鏡橋	2.5	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	