

特集論文(社会基盤整備のためのリスク分析)

橋梁信頼性の経験的評価システムに基礎を置く
補修計画のリスク認識に関する研究

木俣 昇*・小間井孝吉**

本研究では、専門家による経験的評価システムに基礎をおく橋梁補修計画のプロセス・モデルを提案し、そこに内在しているリスク認識と、その対応策について議論している。まず、基礎である経験的評価システムの情報システムとしての信頼性を、間情理的適合性概念を導入し、評価している。次に、提案した論理一貫性を特徴とする補修計画プロセス・モデルの合理性を主張するとともに、その評価に基づいて、そこには、計画案拒否ともなうリスクと、供用期のある時点まで潜在化している運働性リスクの存在を指摘し、その対応策と、それに伴うリスクの連鎖構造を明らかにしている。

Key Words : credibility of information, planning risk, intuitive evaluation

1. まえがき

リスク・信頼性に関する研究は、古くからなされてきている。経済学における投資リスク、システム工学における信頼性設計、土木施設の信頼性評価、防災や環境リスクの研究などがそれである。これらでは、“対象”の側に問題の原因があり、その原因を追求し、どう評価し、いかに対処するかというパラダイムがとられてきたといえよう。しかし、現代社会にあっては、それでは十分に捉えきれない問題が出てきている。例えば、JR新幹線工事での道路陥没事故、村おこし事業に対する融資リスク負担念書報道、矢道湖の淡水化計画や長良川河口堰計画などの長期計画のつまずきなどや、さらにウォータフロント/ジオフロントなど未経験領域での計画などがそうである。

もちろん、これらでも、“対象”の側に起因するリスク問題も大きいが、“計画”の側に起因するリスクを問題にしなければ把握しきれないだろう。これらを総合的に捉えるには、一度、リスクの概念を、“われわれにとって不都合なこと”と緩めて定義し、より幅広い視点よりアプローチする新しいパラダイムが必要となる。

そのようなパラダイムとして、著者らは、社会・公共システムにおけるリスクという考え方を採用し、

i) まず、古典社会学的方法とのアナロジーで、上部構造(計画側)と下部構造(対象側)に分け、

ii) さらに、ライフサイクル軸を想定し、その上でリスク認識とその対応策を展開する

というアプローチ法を提案する^{1),2)}。

従来の研究は、これとの関連でいえば、工学関連での研究の多くは、概ね下部構造のリスク・信頼性問題を扱

い、既知リスクに対する対応策に大きな関心が向けられている。近年、ライフサイクル軸上での展開の必要性が指摘されるようになってきているが、ここでも対象側に起因する問題に関心があり、計画側の問題は取り扱われていない。経済学での研究では、リスク下での意思決定という上部構造での問題を取り扱っているが、やはり対象側に起因する経済的リスクに大きな関心が払われている。カントリー・リスクの研究では、より広く政治的リスクも考慮されるが、これも対象側の問題である。防災や環境に関する研究領域では、問題の性質上、上部構造にも下部構造にも目を向けられているが、概して、記述的なレベルの研究に留まっており、種々のリスク下での意思決定をどうすべきかという規範的な計画側の問題は取り扱われていない。

ii) の視点でリスク認知を行えば、まず、計画期から供用期までの時間差に起因するリスクの存在が、誰にでも指摘できるだろう。社会・公共システムを考えると、計画期が10年、20年というものも少なくない。その結果、計画期に想定されていた条件と、供用時での条件とでは大幅な差が出てくる。これに伴う不都合の発生事例には事欠かない。大規模プロジェクトには、この種のリスクが不可避免的に随伴することは明らかである。そして、この問題は、対象側に原因を求めても解決には結びつかず、計画行為そのものに内在するリスクとして考えていく必要があるのも明らかだろう。その第一段階として、過去の計画の事後研究をリスク研究の視点から批判的に行う必要があるが、奥山³⁾も指摘しているように、わが国では、これはいかに簡単なことではない。

いま一つ指摘できることは、関与主体の変更ともなうリスクの存在である。即ち、ライフサイクル軸には、少なくとも、計画期、決定期、施工期、供用期、および解体期を想定することができる。これらの時点における関与主体ないしは責任主体を考察すれば、それらが全て

* 正会員 工博 金沢大学教授 工学部基礎工学教室
(〒920 金沢市小立野2-40-20)

** 正会員 博士(工学) 石川県土木部道路建設課課長補佐

同一であることは皆無といえよう。逆に、同一でないことが、ここで使用している“社会・公共システム”という概念の本質的定義かも知れない。そして、この主体の非連続性が、社会・公共システムの計画に特徴的なリスクの源泉の一つと考えられる。上述の道路陥没事故の問題は、この型のリスクとして認識し、考察すれば、十分に予知されたもので、真に有効な対策も、このような認識によって始めて到達できるのではないだろうか。

主体に関していえば、著者は、人間の情報処理を基礎とする計画には、その特性に起因するリスクが本質的に内在していると考えている。そして、長期計画の問題も、計画の合理性の論理も、さらに、計画の制度化も、“計画”の側に起因するこの本質的リスクとの関連で再検討される必要があると考えている。

本研究の目的は、著者らによる橋梁の補修計画システムの研究を事例とし、その批判的検討を通して、上述のパラダイムによるリスク研究のより具体的なイメージの提示を試み、諸兄からの御批判を頂くことにある。そのために、まずもって、この事例の採用理由と、論文の構成について、著者らの考えを述べておくことにする。

まず、この事例で取り扱っている橋梁は、社会・公共システムの下部構造の一つである道路網の構成要素の一つであり、補修計画システムは、ライフサイクル軸上では、直接的には、その供用時のリスク・信頼性に対処する上部構造の一つである。その意味で、上述の i), ii) の視点での展開に適している。次に、この事例では、少なくとも三種類のリスク・信頼性問題が議論できる。一つには、供用期の橋梁の信頼性をいかに評価するかという従来型の問題が含まれている。第二は、その評価システムの信頼性をいかに評価するかという情報の質の問題である。そして、第三に、それを基礎に構成された計画システムが内包するリスクの問題が議論できる。もちろん、自前の事例であり、批判も容易であるということも理由の一つである。

具体的には、2. で、まず、著者らが開発した専門家による橋梁の供用期信頼性の経験的評価システムの概説と、それに基礎を置く合理的な補修計画のシステム・モデルの提案を行う。この計画システム論では、“専門家”という主体の情報処理が重要な役割を担っており、従って、その質をどう評価するかという第二のリスク・信頼性問題が問われることになる。3. では、間情報的適合性による情報の評価という概念枠組みを提案し、この問題を考察する。そして、4. では、3. での批判的議論と、ライフサイクル軸上でのリスク認識という視点を基に、本計画に内在する諸リスクの認識とその対応策について考察する。

2. 橋梁補修計画のシステム・モデルの構成

(1) 橋梁の供用期信頼性評価システムの概要

橋梁の補修計画は、基本的には、橋梁の信頼性の評価と関連している。橋梁の信頼性研究は、ライフサイクル軸との関連で分類すれば、計画期の信頼性設計研究と、供用期の信頼性評価研究に大別できる。補修計画では、この後者の研究が関係してくる。これにも二つのタイプの研究がある。一つは、許容耐力と実荷重の推定に基礎を置く力学的診断法^{4),5)}で、もう一つは、専門家の直観力に基礎を置く経験的評価法^{4),6),7)}である。

さて、橋梁の補修計画においては、社会的公平性の観点より、まず、地域全体の橋梁を全て対象とした評価に基づく計画であることが要求される。また、橋梁は、道路網の構成要素であり、その評価は、道路網との関連を考慮した総合的なもので、かつ、誰もが納得できる客観性があることが望まれる。さらにいえば、補修順位の想定と補修工事代替案の提案に、合理的な論理の一貫性があることが求められる。具体的には、補修工事の実施により、当該橋梁の補修順位が、補修順位想定システムの評価と整合性をもつ形で改変されている必要がある。

換言すれば、かなりの数の橋梁を、ある客観性のレベルを保持して、その補修順位を迅速に評価でき、さらに、補修工事代替案の想定とも連動する橋梁の供用期信頼性評価システムが望ましい。一般的には、力学的診断法は、客観性の根拠として力学的解釈性をもつが、評価項目は比較的少なく、また、厳密な適用には時間がかかる。一方、経験的評価法は、専門家の評価とはいえ主観性があり、客観性に問題を残すが、比較的迅速で、また、多くの評価項目が考慮できる。

著者らは、社会的公平性と論理的一貫性の確保の観点より、後者の特性を評価し、その問題点である評価の客観性を向上させるための支援システムの開発を試みてきた。本項では、文献4), 7)を要約する形で、著者らの支援システムと、それに基礎をおく経験的評価システムについて概説する。

本システムでは、図—1に示すように、

- i) 橋梁の供用期信頼性評価の規定要因とその個別評価の想定
- ii) 規定要因の個別評価値に基づく橋梁の一对比較と信頼性順位図作成
- iii) 三群判別関数による順位図の客観性評価と規定要因の重み係数決定

の三つのサブ・プロセスを想定し、専門家が、この各々のプロセスで、十分に自己の経験を活用して作業できるように、ユーザーフレンドリーなマルチウインドウ型の支援システムを開発し、支援している。特に、フィードバック性に優れたシステム構成となっており、専門家は

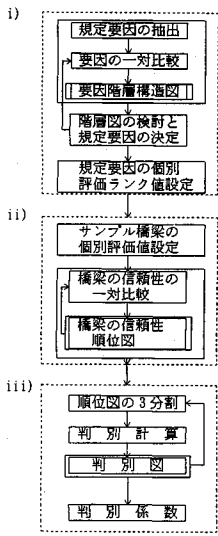


図-1 橋梁信頼性の経験的評価システムのプロセス図

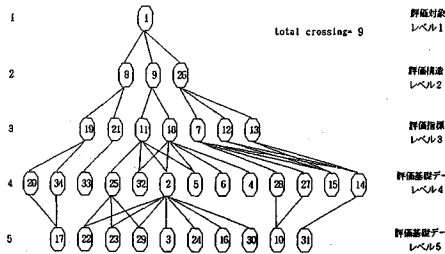


図-2 橋梁診断の規定要因の構造図

この特性を活用し、橋梁の供用期の信頼性評価を繰り返し実行することにより、比較的容易に自己の認識を客観視した、よりよい結果を追求することができる。もう一つの特徴は、その評価結果の客観性の水準をフィードバックする機構を備えている点にある。即ち、iii)のプロセスでは、ii)における専門家による経験的評価結果である順位図に対して、三群判別関数分析を実施し、判別図を作成し、誤判別の有無を客観性の判断情報の一つとしてフィードバックする。専門家は、このフィードバックを得て、ii)のプロセスを再実行し、より客観性のある評価を目指すことになる。詳細は上述の文献に委ねて以下、このシステムを適用した評価結果と、以後の議論に必要な点のみについて述べる。

まず、図-2は、プロセス i) によって作成された規定要因決定のための認識図である。表-1は、その要素リストである。そして、表-2が、この認識図を基に作成された規定要因とその個別評価ランク値表である。ここでは、図-2の第三レベルの7つの要素を規定要因として想定し、その個別評価は、レベル4, 5の要素の評価をもとに数値化している。

表-1 橋梁診断の安全性規定要因のリスト

要素番号	要素名	要素番号	要素名
1	橋梁の安全性	18	設計荷重
2	施設年度	19	大型車載荷状況
3	橋種	20	橋大車重
4	橋幅	21	交通荷重分布状況
5	支脚	22	総軸距離
6	鋼材	23	パイロット
7	下部工の状況	24	地盤の軟化状況
8	荷重状況	25	落橋防止構造
9	設計耐力	26	鋼橋(架状)状況
10	地盤の良否	27	河床沈降
11	耐震設計	28	岩盤風化
12	床版の損傷	29	軟弱地盤
13	主桁・主脚の損傷	30	高層工形式
14	材料劣化	31	気象条件
15	施工不良	32	橋脚力
16	床版厚	33	洪水位状況
17	車輪軌跡	34	大型車交通量

表-2 橋梁診断の安全性規定要因の個別評価基準値

要因	基準	単	百分
1 設計再重	昭和15年以前表示・建造による1等橋	1	1
	昭和11年・昭和14年以降の表示・建造による1等橋	2	2
	昭和11年・昭和14年以降の表示・建造による2等橋及び大正15年道組の1等橋	3	3
	大正15年道組による2等橋、3等橋	4	4
2 耐震設計	昭和15年道組IVVにより設計又は耐震総論機による上・下脚全て耐震構造評定	1	1
	昭和17年道組耐震設計指針による設計、又は耐震総論機により橋脚防止構造評定	2	2
	昭和11年道組による設計	3	3
	大正15年道組及び昭和14年道組による設計	4	4
3 交通荷重分布状況	通常走行状態(交通渋滞の起こる可能性が極めて低い場合)	1	1
	通常渋滞状況(片側車線のみ渋滞する可能性のある場合)	2	2
	完全渋滞状況(全車線にわたって完全に渋滞する可能性のある場合)	3	3
	常時完全渋滞状況(頻りに完全渋滞する可能性のある場合)	4	4
4 大型車載荷状況	500台/日以上~1000台/日未満	1	2
	1000台/日以上~2000台/日未満	2	3
	2000台/日以上	3	4
		4	4
5 主桁・主脚の損傷	劣化、損傷が見られない	1	1
	隙間、コンクリート橋の表面劣化が見られる	2	2
	欠損、さび付、母材・筋鉄等のクラック及び変状、モーメントクラックが局所的に見られる	3	3
	欠損、さび付、母材・筋鉄等のクラック及び変状、せん断クラック・横軸方向クラックが多く見られる	4	4
6 床版の損傷	損傷なし	1	1
	橋脚方向ひび割れ発生	2	2
	2方向ひび割れ発生・局所的なさび付発生	3	3
	コンクリートの角落ち、剥離、抜け落ち、さび付等多数発生	4	4
7 下部工の状況及び損傷	損傷・変状なし	1	1
	かぶりコンクリートのひび割れ、剥離及び片発生	2	2
	沈没・風化による7割以上露出・軟弱のはらみ出し	3	3
	体の傾斜・沈下・移動	4	4

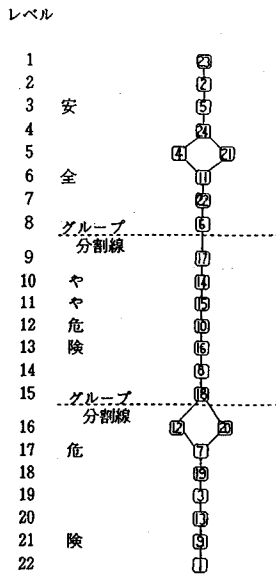
次に、図-3の(1)と(2)は、プロセス ii), iii)の結果として得られた順位図とその判別図である。そして、表-3は、そのときの各規定要因の重み係数表である。これらは、24本の種々のタイプのサンプル橋梁を対象に、表-2のランク値表を用いて個別評価を行い、その結果を専門家が一对比較して求められた結果である。図-3の(1)の橋梁の信頼性順位図では、上に行くほど信頼性が高く、下に行くほど低くなるように表示されている。また、三群判別関数分析では、高信頼性グループ、中信頼性グループ、および低信頼性グループを想定し、誤判別が最小となるケースを求め、表示している。図-3の(2)の判別図は、従って、第一象限には高信頼性グループ、第二象限には中信頼性グループ、第三象限には低信頼性グループに判定された橋梁が表示されることになる。図中の記号、*、#, +は、それぞれ順位図での分割グループが高、中、低信頼性であったことを、数値はサンプル橋梁番号を示している。従って、これら記号が混在している象限があれば、誤判別が有るということになる。ちなみに、この判別図にはそのような象限はなく、一応の客観性の水準にある評価結果と考えられる。

最後に、表-3の重み係数について簡単に触れておく。図-3の(2)の判別図の横軸、縦軸の値は、

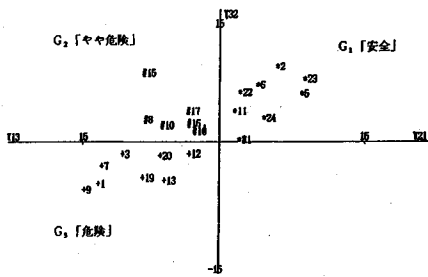
$$y_{21} = \sum (a_j^2 - a_j^1) x_{ij} + c^1 \dots \dots \dots (1)$$

$$y_{32} = \sum (a_j^3 - a_j^2) x_{ij} + c^2 \dots \dots \dots (2)$$

で与えられる。ここで、 x_{ij} は、橋梁番号*i*の*j*番目の規定要因のランク値である。このランク値は、表-2にあ



図—3 (1) 橋梁の信頼性順位図



図—3 (2) 橋梁の三群判別図

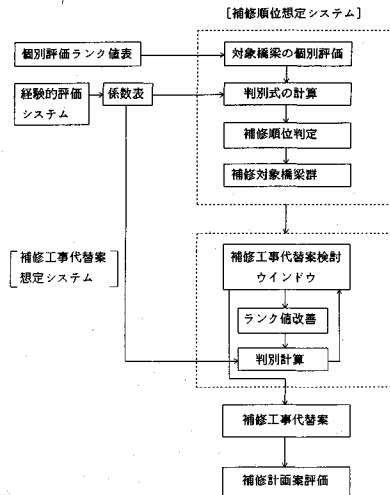
るように、信頼性が高いときに1に、低くなると数字が大きくなるように設定されている。判別図では、上述したように、第一象限 ($y_{21} \geq 0, y_{32} \geq 0$) に高信頼性グループがくる。従って、負で絶対値が大きい係数を持つ要因ほど、高信頼か中信頼 (第一象限か第二象限) かの判定力を持つことになる。同様に、式 (2) の係数についても、 $(a_j^2 - a_j^3)$ の負で絶対値が大きいものほど、中信頼か低信頼かの規定力を有する要因となる。即ち、これらの数値は、結果的に、専門家が高信頼橋梁か中信頼橋梁か、あるいは中信頼橋梁か低信頼橋梁かを判断するに際して使用した各要因の重み付け、即ち、専門家の評価構造を示唆するものとなる。

(2) 橋梁補修計画の一貫プロセス・モデル

上述の評価システムを基礎に、次に、図—4 に示すような橋梁の補修計画のシステム・モデルを提案する。まず、上で述べた専門家による橋梁の信頼性評価のプロセスが十分に尽くされ、表—3 の重み係数を一般化し、一般の橋梁の評価にも適用可能な状態にあると考えよう。即ち、表—2 に従って、評価対象橋梁の7つの規定要因

表—3 判別関数の係数表

係数へ対応する 安全性規定要因	$a_j^2 - a_j^3$	$a_j^1 - a_j^2$
1 設計荷重	-2.724	-0.630
2 耐震設計	0.373	-1.085
3 交通荷重分布	0.264	-0.271
4 大型車交通量	-2.879	-2.563
5 主桁・主橋の損傷	-2.408	-4.721
6 床版の損傷	-2.618	-0.588
7 下部工の現状及び損傷	-2.041	-5.942
定数	30.647	31.429



図—4 橋梁補修計画のプロセス・モデル

のランク値を調査・個別評価し、それらの値を式 (1)、(2) に代入して、 y_{21} 、 y_{32} を求め、図—3 の (2) の判別図にプロットし、その落ちた象限によって、高信頼橋、中信頼橋、あるいは低信頼橋と評価できるとする。図—4 の前半の補修順位想定システムのプロセス・モデルは、このような考え方の下で作成されたものである。

補修順位想定システムで、予算制約や地域的偏りなどを考慮することも考えられるが、ここでは補修計画で対象とすべき橋梁群の想定のみを分担させている。そして、それらの橋梁群に対して、次に効果的な補修工事の代替案を検討する。これが、図—4 の中間部の工事代替案想定システムである。

このシステムは、順位想定システムと連動したものとして、次のような論理で構成されている。いま、補修の対象とすべき橋梁群は、信頼性評価によって、低信頼橋と判定された全ての橋梁とする。低信頼に分類された橋梁は、上述のように、図—3 の (2) の判別図でいえば、第三象限にプロットされる。即ち、 $y_{21} \leq 0, y_{32} \leq 0$ 、となっている。補修計画とは、この橋梁に何らかの補修工事を実施し、高信頼橋に改善することである。このことは、判別図との関連でいえば、その橋梁のプロット位置を第三象限から第一象限に改変することに当たる。

安全性規定要因	係数ベクトル値	現状特性	代替案(1)	代替案(2)
設計荷重	$a_{jj}^2 - a_{ji}^1$	-0.630	4	4
	$a_{jj}^2 - a_{jj}^2$	-2.724		
耐震設計	$a_{jj}^2 - a_{ji}^1$	-1.085	4	4
	$a_{jj}^2 - a_{jj}^2$	0.373		
交通荷重分布	$a_{jj}^2 - a_{ji}^1$	-0.271	2	2
	$a_{jj}^2 - a_{jj}^2$	0.264		
大型車載荷状況	$a_{jj}^2 - a_{ji}^1$	-2.563	2	2
	$a_{jj}^2 - a_{jj}^2$	-2.879		
主桁主構の損傷	$a_{jj}^2 - a_{ji}^1$	-4.721	4	(1) — (2)
	$a_{jj}^2 - a_{jj}^2$	-2.408		
床版の損傷	$a_{jj}^2 - a_{ji}^1$	-0.588	3	3
	$a_{jj}^2 - a_{jj}^2$	-2.618		
下部工の変状	$a_{jj}^2 - a_{ji}^1$	-5.942	2	2 — (1)
	$a_{jj}^2 - a_{jj}^2$	-2.041		
判別値	Y_{21}	-13.631	0.532	1.753
	Y_{32}	-5.555	1.669	1.302

図-5 代替案検討用ウィンドウ

表-4 基本工事代替案

要因	工事代替案	要因	工事代替案
設計荷重	上部工(主桁)の補強	床版の損傷	床版の補修・補強
耐震設計	補強(震災対策)	主桁主構の損傷	主桁主構の補修・補強
交通荷重分布	交通流量の規制	下部工の変状	下部工の補修・補強
大型車載荷状況	大型車規制	合計(工事代替案)	10通り

具体的には、 $y_{21} \geq 0$ 、 $y_{32} \geq 0$ となるように改変することを考えればよい。それには、(2)の項で述べたように、式(1)、(2)の係数、 $(a_j^2 - a_j^1)$ 、 $(a_j^2 - a_j^2)$ の負で絶対値が大きいものに着目し、それらのランク値を、 $y_{21} \geq 0$ 、 $y_{32} \geq 0$ に達するように改変し、それらの改変に見合う補修工事を考えることになる。著者らは、低信頼に分類された橋梁について、図-5に示したようなウィンドウを用意し、どの規定要因のランク値をどのように変更すれば、その橋梁の評価値が第一象限にくるかが検討できるシステムを開発している¹³⁾。この事例では、代替案(I)では、主桁主構の損傷のランク値を4から1に改変すれば、 $y_{21} = 0.532 \geq 0$ 、 $y_{32} = 1.669 \geq 0$ になり、高信頼性橋になることが示されている。また、代替案(II)では、主桁主構の損傷のランク値を4から2に、かつ下部工の変状のランク値を2から1に改変すれば、 $y_{21} = 1.753 \geq 0$ 、 $y_{32} = 1.302 \geq 0$ になり、やはり高信頼性橋に改善されることが示されている。

表-4は、規定要因に対応する基本工事代替案の考え方である⁹⁾。大きくは、補強、補修、規制に分類できる。一般には、図-5の例からも分かるように、いくつかの可能代替案が存在する。それらには、基本工事のみからなる単独工事案と、複数の基本工事からなる複合工事案がある。その中から計画案を選定するには、所要費用や所要時間などを考慮する必要があるが、それには、さらに改変ランク値別に対応工事をより具体的に想定する必要がある。図-4のプロセスの最後の補修計画案評価がこの仕事を分担することになるが、ここでは、これ以上は触れない。

3. 橋梁の経験的評価システムの信頼性評価法

(1) 間情動的適合性増大化仮説

2.の(2)で提案した補修計画システムは、2.の(1)で概説した橋梁の供用期信頼性評価システムの信頼性ないしは信憑性に、大きく依拠している。しかし、この評価システムについて、疑問点や不完全点が幾つか指摘できる。このことは、このシステムに限ったことではなく、計画システムの基礎を成す情報システムについて常にいえることである。本節では、この第二の型のリスク・信頼性問題についての考え方と、本システムの信頼性評価について議論する。

一般に、情報システムの検証は、“真値”に対する適合性で判断される。いま、橋梁の信頼性の“真値”が例えば破壊試験などで求まるとしても、それらは橋数的にも、橋種的にも大きく限定されており、それらとの適合性の優劣は、計画情報システムとしての信頼性評価にとっては、必要条件であっても十分条件とはなりえない。まして、未来にかかわる事象、主体の働き掛けがある事象を取り扱う計画情報システム一般の検証では、そもそも“真値”という概念そのものが定義困難である。そこで、著者は、この検証論を一般化したものとして、“間情動的適合性”の概念⁹⁾と、それによる評価の枠組みの適用を、まず、提案する。

この概念は、情報の信頼性は、“基準情報”との適合性として評価されるというものである。そして、“基準情報”とは、“個人的ないしは社会的に承認されさえすればよい”とするところに大きな特徴がある。間情動的適合性増大化仮説とは、情報の信頼性ないしは信憑性は、このような基準情報との適合性を増すことによって確保されるというものである。

上で述べた“真値”も基準情報の一つと考えることができる。また、G.A.アリソン¹⁰⁾は、“専門家は(一般人と同様に)自らの思考の内容に大きな影響を与える、概して暗黙の概念モデルに拠って対外・軍事問題を考える”として、このモデルを知りたいとしているが、この“暗黙の概念モデル”もまた基準情報といえる。

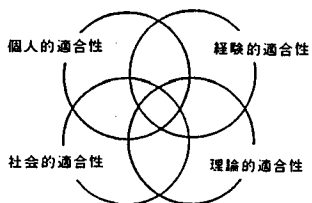
基準情報としては、基本的には、表-5に示すように、承認している主体側の軸と、情報のタイプの軸による4種類のものがあるとされる。経験的基準情報は、突き詰めていけば感覚や知覚に行き当たるものである。また、理論的基準情報は、情報公理に行き当たるものである。現実の場面では、このカテゴリー区別はそれほど明確ではない。また、基準情報も必ずしも明示的とはいえない。情報システムの信頼性ないしは信憑性を増大させるためには、まず、現実に機能している基準情報の存在とその種類をを明らかにし、かつ他の基準情報の存在を指摘し、できるだけ多くの基準情報について、間情動的適合性の

表一五 基準情報のカテゴリー

	I	II	
	経験的	理論的	
個人的			主観的
社会的			間主観的
	感覚, 知覚	情報公理	

表一六 意思決定期の検討項目と評価

検討項目	評価欄
補修順位評価の公平性	○
道路網との関連性の考慮	×
予算制約から見た合理性	×
計画論理の合理性	○
評価の客観性, 信憑性	△



図一六 部分的適合性領域

評価作業を進めることが肝要となる。表一五の基準情報のカテゴリー表と、表一六の部分的適合性領域図は、この作業のための枠組みといえよう。以下、この枠組みに従って、2.(1)で提案した経験的評価システムについて、この間情報的適合性評価を試みしてみる。

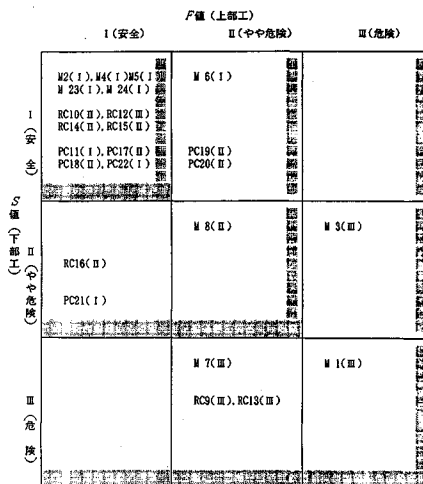
(2) 経験的評価システムの間情報的適合性分析

2.(1)で述べた経験的評価システムは、“専門家”が自己の経験に基づいて橋梁の信頼性を評価する過程を、規定要因の想定から始まり、規定要因の個別評価によって表現された橋梁間の信頼性の対比較を経て、安全性順位図を作成し、その判別分析による客観性評価のフィードバックを受けて再検討するに至るまで、マルチウインドウ型コンピュータ・システムを活用して支援するものであった。そして、ある専門家の実行結果として、7規定要因の選定と、それらの総合による高, 中, 低信頼性橋梁グループへの識別に関する評価指標係数を提示し、

- i) 専門家の判断である。
- ii) 支援システムの下での十分な検討結果である。
- iii) 数値的にも説明可能である。

ことなどを根拠に、2.(2)ではこの結果を一般化できるとし、それを基に橋梁補修計画のプロセス・モデルを構成した。まず、この判断を間情報的適合性の枠組みとの関連で検討してみる。

この経験的評価システムでは、その各々のサブ・プロセスで専門家による判断がなされるが、それは、その専門家の種々の個人的経験的基準情報による間情報的適合



図一七 力学的診断システムとの適合性

性評価であると考えられる。この基準情報は、規定要因の個別評価ではランク値表として明示されているが、他では明示的ではなく、暗黙裏に機能している。このシステムでは、マルチウインドウ型のコンピュータ・システムを活用し、暗黙裏の基準情報を徐々に自覚させていき、その専門家にとって最大の個人的適合性を持つ評価結果を引き出すことを意図しているといえよう。また、判別分析による誤判別の有無のフィードバックは、一種の理論的基準情報との適合性評価であると解釈することができる。そして、判別係数は、その専門家の基準情報を示唆するもので、それを検討することによって暗黙裏に機能していた基準情報が明らかにされ、その面からの適合性評価も可能にしているといえよう。2.(1)で提示された諸結果は、結局、その専門家にとって、その時点で最大の個人的適合性を持つものとして位置付けすることができるだろう。

上述の i), ii), iii) は、この専門家の個人的適合性をもって社会的適合性とする根拠の素朴な表明といえる。しかし、この枠組みでは、他の専門家は当然別の個人的基準情報をもつだろうし、他にも理論的基準情報が考えられ、それらとの適合性評価が要求される。以下では、そのような検討を試みる。

供用期の橋梁信頼性評価法として、もう一つ力学的耐力診断システムが研究されている。そこで、このシステムを(社会的理論的)基準情報と考え、これとの間情報的適合性について検討する。詳細は文献4)を参照してもらおうとして、図一七に結果のみを示す。この図は、2.(1)で評価した24橋に対して、力学的耐力診断システムを適用して、上部工, 下部工の信頼性評価(F値, S値)を求め、経験的評価システムによる結果とともにプロットしたものである。図中の記号は、最初の英文字が橋種を、次の数字がサンプル橋梁番号を、そして括弧

内のローマ数字が経験的評価値を示している。

補修計画では、経験的評価値が(Ⅲ)となる低信頼性橋が、“補修の必要な橋梁”とされるが、力学的診断システムで危険とされた橋も、やはり“補修の必要な橋梁”と考えられる。図一七には、力学的診断システムで危険と判断された橋梁が5橋あるが、それらは経験的評価システムによる評価でも(Ⅲ)となっている。しかし、経験的評価値は(Ⅲ)となるが力学的診断システムでは安全とされる橋梁が一つ、逆に、力学的診断システムではやや危険とされるが経験的評価値では(I)とされる橋梁が二つある。従って、補修の必要な危険な橋梁の評価に限定すれば、経験的評価システムはこの基準情報と間情動的適合性を有しているといえるが、完全に適合しているとはいえない。

この力学的診断法も推定値を与えるもので、しかも研究途上のものである。従って、その“基準情報”としての資格が問題となる。この枠組みでは、個人的ないしは社会的に承認されていけばよいとされるが、現実には、この場合のように“基準情報”の“基準情報”という形の問題が、この枠組みには存在することも指摘しておく必要がある。

もう一つの問題は、上の経験的評価システムで別の専門家が評価を実施すれば、別の個人的基準情報による、やはり個人的適合性を持つ別の評価指標係数表が得られる可能性があることである。実際に、B氏(橋梁コンサルタント)、C氏(橋梁管理者)による評価結果⁴⁾は、規定要因の認識図は一致したが、重み係数では、2.(1)で提示したA氏(橋梁研究者)のそれとは異なったものとなった。

専門家による評価の違いは、経験的にも良く知られていることである⁵⁾。本システムでは、その違いを数値的に示唆することができるように、支援システムとしての価値がある。この枠組みでは、異なる結果の存在を否定しないが、それが最大の個人的適合性を持つ最終的結果なのか、あるいは調整可能な中間段階のものなのかは、さらに詰める必要のある問題である。もし調整可能ならば、その結果は、より大きな社会的適合性を持つに至り、本計画の基盤としてより強固なものとなる。個人的基準情報の違いが具体的な数値として示されることは、この調整・検討の重要な手掛かりとなる。ただし、専門家の判断にもバイアスがあることが、特に、リスク評価研究において報告されていることも、ここで付記しておく¹¹⁾。

4. ライフサイクル軸による計画リスク認識の展開

著者らは、2.で、橋梁の補修計画案の作成の一つのプロセスを提案してきた。そのセールスポイントは、地

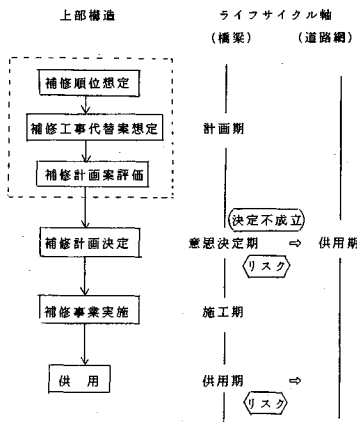
域全体の橋梁を全て評価対象にして補修順位の想定ができること、その評価に際して多くの要因を考慮できること、補修順位想定と補修工事代替案との間に論理的合理性があることなどにある。それは、図一四に明示されているように、橋梁信頼性の経験的評価システムに基礎を置くものである。3.では、この基礎システムの信頼性ないしは信憑性の検討には、間情動的適合性評価という枠組みが必要であること、そして、使用したマルチウインドウ型の支援システムは、評価の規定要因の選定から、橋梁信頼性の一対比較に至る全プロセスにおいて、「専門家」にとっての最大の個人的経験的適合性を持つ結果を引き出すものであること、また、補修の必要な低信頼性橋に限定すれば、力学的な評価システムとも適合性をもつ結果が得られていることを明らかにした。その一方で、別の専門家が評価すれば別の結果が得られる可能性もあること、経験的評価では低信頼性橋とされるが、力学的評価では安全とされたものもあること、逆に、後者ではやや危険とされるが、前者では高信頼性とされるものもあることなど、問題点も明らかにした。

従来の研究では、それら問題点は、あとがきで“今後の課題である”として触れられるのが通例である。そして、その解明が試みられることになる。それは、科学的研究態度として当然とされるが、1.で提案したパラダイムのii)の視点との関連で見ると、別の見方になる。本研究では、3.での結果を踏まえて、第三のリスク・信頼性問題として、この点についてさらに議論を進める。即ち、ライフサイクルの視点を導入することによって、この問題をリスク認識と関連させて考察する。

さて、橋梁は道路網の構成要素の一つであり、道路網の維持・管理計画^{12),15)}の一貫として考えるべきものである。図一八は、この関係を2本のライフサイクル軸を用いて概念的に示したものである。即ち、橋梁の補修計画を、2.(1)のプロセス・モデルを中核にして、計画期、意思決定期、施工期、供用期に分節化すれば、このプロセス全体が、道路網の供用期の中に埋め込められていると見ることができる。

まず、図一八は、補修計画には、この二重性よりくる時間制約があり、その期間内で意思決定をしなければならないことを示している。そのために、基礎となる研究が不十分な状態にあることは避けられない。ここでは、2本のライフサイクル軸で表現されているが、社会・公共システムという概念を導入すれば、どの計画に関しても複数のライフサイクル軸が描ける。その意味では、より複雑な制約下であり、計画システムは、常に不完全な状態での意思決定という困難に直面しているといえる。

前述したように、意思決定期と計画期では、一般には関与主体は異なっている。ここでいう計画期では、専門家が中心になって計画案の作成がなされる。そして、意



図一八 ライフサイクル軸による計画リスク認識

思決定期では、事業主体や住民など権利主体が、提案された計画案に対して、その要件の充足性や合理性を検討し、採用、修正、不採用といった意思決定を行うとしている。計画期の主体には、従って、計画案を提示するだけでなく、意思決定に必要な情報をも提供することが求められる。

上で述べたように、計画期の時間制約性に伴い、多くの計画では、その基礎となる研究は不完全な状態にある。それが理由で、計画案が意思決定期で不採用になることは十分に予想される事態である。図一八の最初の頃は、このことが供用中の道路網にリスクとして跳ね返ることを、十分認識しておく必要があることを示している。

逆に、期限制約を理由に、あるいはこのようなリスクを理由に、決定の強要という事態も多々ある。特に、計画期の主体がいわゆる専門家であるのに対して、決定期の主体が非専門家であることも、このような傾向を強める。また、制度的な問題とも関連し、意思決定に必要な情報が十分には提供されていない場合も考えられる。

これらの不都合は、計画における主体の非連続性によるリスクの一つである。しかし、これらのことは、結果的には、上述の不採用に伴うリスクを回避させる働きをするのは確かである。図一八の下方の頃は、しかし、そのことが別の形のリスクとなって作用してくることを認識する必要があることを示している。即ち、このようにして採択された計画案の実効性の問題である。この問題は、橋梁の補修工事が完了し、供用された後のあるとき、例えば災害時に始めて顕在化するもので、遅効性リスクとして認識しておく必要がある。

2.(2)は、この図一八との関連でいえば、橋梁の補修計画の計画期に対する著者らの提案である。そして、3.(2)は、計画期での評価作業であるとともに、意思決定期に提供される情報でもある。そこで、次に、この提案による計画案と、提供情報を基に、上述の議論を具体的に進めてみることにする。

表一六は、意思決定期に考慮される要件の幾つかについて、予想される意思決定期の主体による評価を示したものである。ここでも、評価は、3.で提案した間情報的適合性評価とならざるを得ない。“予想される”としたのは、その“基準情報”の定義から来ている。

さて、セールスポイントとして述べたように、評価対象橋梁と、計画の合理性の欄については○がつくが、△や×の欄もあるだろう。それらの中で、道路網との関連性の考慮や、予算制約の考慮については、本論文では取り扱わなかつただけで、基本的には対応可能なものである。問題は、この計画の基礎となっている経験的評価システムの信頼性、即ち橋梁評価の客観性の△である。

特に、3.(2)で指摘した専門家によって異なる結果が得られるという情報は、本提案がそれに大きく依拠しているゆえに、重大である。この問題は、しかし、複数の専門家によるグループ評価によって解決することができる。2.で提示した支援システムは、本来このような形での運用を目的に開発されたもので、3.(2)でも述べたように、各自の基準情報を求められた係数によって相互に明確に認識し合うことによって、より深い専門的な議論が可能となり、複数の専門家間で合意された結果が求まると期待できるからである。

計画期でこのような工夫を行い、その問題点、弱点を解消することによって、意思決定期における計画案不採用というリスクは、回避可能かも知れない。そこで、それが回避されたとして、次に、図一八の第二のリスクの問題について検討する。

本提案では、補修工事代替案の実施により、当該橋梁の信頼性は、補修順位想定システムによる評価と整合性のある形で改善されるという論理的合理性をセールスポイントとしている。そして、このことを一つの根拠とし、表一六では、計画の合理性の欄を○にしている。

この合理性は、補修工事代替案想定システムが、やはり専門家による経験的評価システムを基礎に構成されていることからきている。上述のリスク回避策では、専門家間での合意形成に注意が向けられている。橋梁の補修順位想定に関しては、専門家間で合意された結果に基づくという情報は、意思決定期の主体に対して強い説得力をもつ。しかし、専門家間での合意は、直ちには補修工事代替案の実効性を保証する根拠とはならない。

補修工事代替案想定システムでは、当該橋梁の評価値が高信頼性に改良されるのに必要となる、規定要因の個別評価のランク値改善度を求め、それらに対応する補修工事をもつて代替案としている。それには、最小限の補修代替案から余裕のある代替案まで、複数のものが想定可能である。専門家間での合意が、補修工事代替案の実効性を直ちに保証するものでないとするれば、さらに、それが遅効性のリスクであることを認識すれば、その回避

策として、余裕のある代替案を計画案として提案することが考えられる。また、その施工が、道路網の供用期間中になされることから、さらに、道路網への影響が小さい代替案という考え方も成立する。しかし、それらの場合には、過剰投資というリスクを負う可能性が出てくることになり、予算制約を考えると、再度、計画案不採用に伴うリスクという問題に戻ることになる。

これらの議論は、計画期で可能なことであり、当然、この対策を折り込んだ計画案が、意思決定に掛けられることになる。そして、このような認識作業が、時間制約の中で、どの程度なされたかが、その計画の質を規定するといえよう。しかし、われわれの有限な認識力と時間制約を考えるならば、それには限界があるのも明らかである。著者らの提案は、ライフライン軸上での問題認識の展開と、その各期での間情動的適合性の増大化努力によって、この限界を補い、トータルとして計画の質の向上を図るという方法であるといえよう。

5. あとがき

本研究では、橋梁の補修計画を事例に、三種類のリスク・信頼性問題について考察した。まず、2.(1)で、橋梁の供用期信頼性の評価の問題に対して、専門家による経験的評価システムによる方法を提示した。次に、3.(2)では、このシステムの信頼性ないしは信憑性の評価には、間情動的適合性概念の適用が必要であるとし、その枠組みによる検討を行った。そして、このシステムでは、専門家によるこの適合性評価過程が支援され、当該専門家にとって最大の個人的経験的適合性を持つ結果が求められていること、また、補修の対象となる低信頼性橋に限定すれば、力学的評価システムとも適合性をもつことを明らかにした。一方、この枠組みでは、基準情報は、個人的ないしは社会的承認でよく、他の専門家による別の評価結果も許容されること、実際そのような結果が得られていることや、力学的評価との適合性が成立しない橋梁もあるなどの問題点も指摘した。

4.では、このようなシステムを基礎に提案された橋梁の補修計画に対して、ライフサイクル軸上でのリスク認識の展開という視点を適用して、この計画プロセスが道路網の供用期に埋め込められていることを、2本のライフサイクル軸を用いて模式的に描き、その二重性よりくる時間制約性を論点に、まず、不十分な状況下での意思決定による計画案不採用に伴うリスクと、計画案の実効性に関連する遅効性リスクの内在性を指摘した。次に、これらリスクの回避策について議論し、それらが別の形のリスクを内在させているという計画におけるリスクの連鎖構造を指摘した。

ここで議論したような不十分な状態での意思決定という状況は、社会・公共システムに関する計画では、多か

れ少なかれ、常に存在する。それは、現実的には持時間制約よりくる不十分さであり、根本的には、検証の対象とすべき“真値”の非定義性からくる不十分さである。これにもう一つ、主体の非連続性からくる不十分さが加わる。われわれは、まず、この不十分さを十分認識し、計画とは、不完全な状況下での意思決定の連続であり、リスク連鎖の中での意思決定の結果であることを自覚する必要がある。本研究で使用した、複数のライフサイクル軸と、間情動的適合性概念は、このことの認識に役立つとともに、幾つかの行動指針を与えてくれる。

一つは、複数のライフサイクル軸を描くことで、唯我独尊的になることから免れるし、4.で指摘した各期での連携によるトータルとしてのリスク対処の重要性も確認できる。そして、主体の非連続性と、遅効性リスクの内在性より、完全な情報公開こそがこの対応には必要であり、結局はトータルとしてリスクを少なくし、計画の質的向上に寄与することが分かる。いま一つは、間情動的適合性の枠組みは、基準情報の規定の仕方からも分かるように、必然的に、計画の制度のあり方を、参加型志向から、参画型へと進めるということである。また、それは、計画の質は、結局は主体の質に規定され、主体の質の向上に寄与する研究が、この分野でも重要となることを示している。

本論文では、計画側に内在しているリスク認識の展開と、計画情報の評価の枠組みとしての間情動的適合性概念の適用を試みた。両者ともに、不十分な議論であり、検討を要する課題を多く抱えている。また、事例に限定されたパースペクティブしか提示できていない。しかし、計画の本質に係わる議論も含まれているのではと自負している。諸兄からの忌憚のない御批判を受け、さらに研究していきたいと思っている。

参考文献

- 1) 木俣 昇：計画システムにおけるリスク予見力のシステム化に関する研究，土木計画学研究講演集，13，903-906，1990。
- 2) 木俣 昇：社会・公共システムのリスク研究のCED変換モデルによる展開，土木計画学研究講演集，14（2），55-58，1991。
- 3) 奥山育英：社会・公共システム—計画のリスク，土木計画学研究講演集，14（2），63-64，1991。
- 4) 小間井孝吉・木俣昇・小堀為雄：維持・管理計画のための橋梁評価システムに関する基礎的研究，土木学会論文集，428/I-15，137-146，1991。
- 5) 西村昭・藤井学・宮本文穂・梶谷義昭・春名真義：既設橋梁の耐荷力評価とその検証に関する研究，上，下，橋梁と基礎，21，8-51，1987（2），34-39，1987（4）。
- 6) 西村昭・藤井学・宮本文穂・小笠 勝：構造物の健全度診断へのファジー集合論の適用に関する基礎的研究土木学会論文集，380/I-7，365-374，1987。
- 7) 小堀為雄・木俣 昇・小間井孝吉・竹村哲：専門家によ

- る橋梁診断の支援コンピュータ・システムに関する研究, 橋梁と基礎, 24, 45-50, 1990 (11).
- 8) 小間井孝吉: 橋梁の維持管理計画のための評価システムに関する研究, 金沢大学自然科学研究科博士論文, 1992. 3.
- 9) 吉田民人: 情報科学の構想, 「社会的コミュニケーション」, 培風館, 1967.
- 10) G. T. アリソン: 決定の本質, 中央公論社, 1977.
- 11) Sarah Lichtentstein, Paul Slovic, Baruch Fischhoff Mark Layman, Barbara Combs: Judged Frequency of Lethal Events, J. Experimental Psychology, 4-6, 551-578, 1978.
- 12) Fenves, S.j., K.H. Law: Expected Flow in a Transportation, Proc. 2nd U.S. Natl. Conf. Earthquake Eng. 673-682, 1979.
- 13) 川上英二: 道路交通システムの機能上の耐震性の一評価方法, 土木学会論文報告集, 327, 1-12, 1982.
- 14) 木俣 昇・石橋 聡: 地震時緊急路網のシステム信頼性評価に関する基礎的研究, 土木計画学研究論文集, 6, 145-152, 1988.
- 15) 木俣 昇: 地震時緊急路網の整備計画に関する基礎的研究—ソフト・システムズ・アプローチ—, 土木計画学研究論文集, 7, 75-82, 1989.
- (1992. 5. 15 受付)

STUDY ON THE BRIDGE MAINTENANCE PLANNING BASED ON INTUITIVE EVALUATION SYSTEM OF BRIDGE RELIABILITY AND ITS RISK STRUCTURE ANALYSIS

Noboru KIMATA and Kokichi KOMAI

We have developed the intuitive evaluation system for reliability of bridges. In this paper, based on this system we propose a bridge maintenance planning process model and discuss its risk structure. First of all, we assess the credibility of the basic system as planning information system. Secondly we point out two types of risk embedded in this planning process, i.e. risk of rejection of the proposed plan and risk of ineffectiveness of the plan. Finally we discuss several countermeasures and risk chain structure.