

事例ベース推論を用いた橋梁形式選定システム

EXPERT SYSTEM FOR SELECTING TYPES OF BRIDGES USING CASE-BASED REASONING

三上市蔵* 田中成典** 米田慎二***

By Ichizou MIKAMI, Shigenori TANAKA, and Shinji YONEDA

An expert system for selecting types of bridges is constructed using a technique of the case-based reasoning. By using this technique, it is easy to acquire domain knowledge. The knowledge of the case database is acquired from the past 144 cases. The case database is represented with 33 kinds of attributes, and their attributes have some types of values.

This system consists of next 4 kinds of processes. In the retrieval process, similar cases are retrieved using the techniques of abstraction matching and part matching. The retrieved result is adapted to the current problem, in the adaptation process. If the adapted result is not satisfied, it is stored as the failure case, in the repair process. If the adapted result is satisfied and it is a unique case, it is stored as the successful case, in the store process.

By these processes, this system can lead the effective results.

1. まえがき

橋梁の設計業務において、詳細設計段階の構造設計計算には、コンピュータを利用した省力化が積極的になされている。しかし、橋梁形式の選定などの計画・予備設計段階では、コンピュータの活用はまだまだ少ない。なぜなら、橋梁形式の選定などは、経済性、施工性、走行性、景観等の多くの要因を考慮する必要があり、汎用性を持たせて手順化することは、従来のプログラミング手法では困難である。これらの計画業務では、経験を積んだ専門家の能力に未だ大きく依存している。そこで、本研究では、橋梁形式の選定を支援するためのエキスパートシステムの構築を目指す。

橋梁に関する形式選定システムとしては、エキスパートシステムが注目されつつある頃に、基礎形式選定支援システム¹⁾、橋梁形式選定システム²⁾が報告されている。これらは共に、基礎形式の選定を対象とし、プロダクションルールを用いて構築されている。また、基礎形式、上部工形式と、架設工法の選定システム³⁾や、上部工形式の選定を対象としたシステム⁴⁾も報告されている。最近では、河川橋梁に限定した上下部工形式選定のためのシステムが構築されている。^{5) 6)} このシステムは、河川構造令を基に支間割りを行った後、プロダクションルールによって上部工の形式選定と、ファジィ理論を適用して下部工の形式選定を行うもので、実用化に到っている。これらのシステム^{1) - 6)} で用いられた知識ベースは、道路橋示方書等のマニ

* 工博 関西大学教授 工学部土木工学科 (〒564 吹田市山手町3丁目3番35号)

** 工修 関西大学専任講師 総合情報学部 (〒569 高槻市霊仙寺町2丁目) ; 研究当時 ㈱東洋情報システム

*** 工修 ㈱東洋情報システム (〒564 吹田市江坂町1丁目13番33号) ; 研究当時 関西大学大学院

ュアル化された知識や、専門家にインタビューして獲得された知識をルール化したものである。

一般に、計画・設計等の解が複数あるような問題に対して、専門家から経験知識を獲得するのは、容易なことではない。専門家の思考を説明する汎化なルールを得ることは難しく、無理に得ようとするれば、専門家は適当なルールを作り出してしまふ恐れもある。また、少数の専門家から知識を得ようとするれば、片寄った知識になりやすく、逆に、複数の専門家から知識を得ようとするれば、整合性の取れた知識を獲得することが困難になる。そのため、実用システムを目指すのであれば、トライ・アンド・エラーによるデバッグのサイクルを何度も繰り返すこととなる。さらに、プロダクションルールで構築されたシステムには、ルールに記述されていない知識を必要とするような問題には対応できない、という欠点もある。

本研究では、過去の設計事例を収集・整理することで知識獲得が容易に行え、類似事例を基に幅のある推論が可能な事例ベース推論(CBR:Case-Based Reasoning)^{7) 8)}の手法を用いて、橋梁形式選定のためのエキスパートシステムの構築を行う。事例ベース推論とは、新たに与えられた課題に対して、事例データベースから過去の類似事例を検索し、修正・修復の過程を経て問題解決を行う手法である。

橋梁は、オーダーメイドであり、一つとして同じ橋はないと言われているが、新規な設計に当たっては、専門家であれ、過去の類似設計事例を参考にしていると考えられる。しかし、過去の類似事例を探し出すのは、専門家にとって過大な負担となる。このような場合に役立つものとして、従来のデータベースシステムがあるが、これは原則として、検索条件と完全に一致しなければ、検索結果を得ることはできない。これに対して、事例ベース推論は、複数の属性を同時に扱うことで、部分的に一致した類似事例を検索できる利点を持つ。さらに、得られた類似事例を基に、修正・修復を行うことで、現在の課題に対する解決が容易にできる。本研究では、事例ベース推論を用い、効率的な類似設計事例を検索し、それを基にした橋梁形式の選定を支援するためのシステムを構築することを目指す。

2. 橋梁形式の選定

橋梁の計画・予備設計段階における上部工の橋梁形式と支間割りの一次選定を対象とするエキスパートシステムの構築を行った。計画・予備設計業務の選定システムでは、プロダクションルールの推論手法を採用するには、問題領域の大きさから知識獲得が難しい。なぜなら、専門家からの知識獲得は、対象領域が大きくなればなるほど、知識の整合性を保ったルールの記述は難しくなるからである。また、たとえ完全に獲得

できたとしても、システムの維持管理は、ほとんど不可能である。そこで、本研究では、過去の事例を収集・整理することで知識の獲得が行え、それを基に推論を行う事例ベース推論の手法を採用することにした。

対象とした橋梁は、河川に架設された鋼、PCまたはRCの道路橋である。対象とする橋梁形式は、特に限定していないため、あらゆる形式が解として得られる可能性を持ち、複数の橋梁形式の組み合わせにも対応できる。橋梁形式

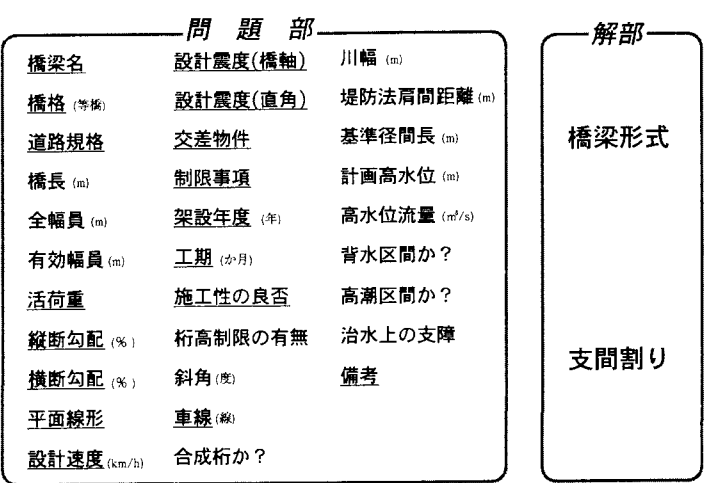


図-1 事例で考慮する属性

3.2 利点

事例ベース推論には、プロダクションルール・システムやデータベース・システムと比べて、次のような利点がある。

(1) 知識獲得の簡易性

プロダクションルール・システムでは、知識獲得が難しいが、事例ベース推論では過去の事例そのものを知識として扱うので、事例データをそのまま組織化して記述するだけで良く、知識獲得が容易である。

(2) 類似事例の有効性

プロダクションルール・システムでは、ルールに記述されていない知識を必要とするような課題への対応はできないが、事例ベース推論では、部分的に一致する属性を持った類似事例を検索することで対処できる。

(3) 問題解決の高速性

計画・設計問題では、問題領域の大きさから探索空間が大きい。そのためプロダクションルール・システムでは、解を得るための推論に多大な時間が必要になる。データベース・システムでは、利用者が課題の検索キーを決定し、それを用いて検索結果を得ることができるが、課題の属性が多ければ、トライ・アンド・エラーで検索手順を反復しなければならず、問題解決に時間と手間がかかる。事例ベース推論では、類似事例を検索し、それを修正することで解を得ることができるため、問題解決に有する時間の短縮が期待できる。

(4) 事例追加の簡易性

プロダクションルール・システムでは、ルールを追加しようとするれば、技術者が他のルールとの整合性を考慮しながら手作業でルールを追加するか、もしくは、自動的にルールを追加できる学習機能の実装が必要となる。同様にデータベース・システムも、データの追加は、スーパーユーザしかできず、データが充実するまでかなりの時間が必要となる。事例ベース推論では、システム自身が得た解を、新しい事例とみなして事例データベースに格納することができるため、システムの運用ベースで事例の追加が自動的になされ、事例データベースの内容が豊富になる。

(5) 失敗事例の有効性

失敗事例も事例データベースに格納できるので、失敗の予測を行うことができ、同じような失敗の繰り返しを回避できる。プロダクションルール・システムの知識となるルールや、データベース・システムのデータは、ネガティブな情報を取り扱うのが得意でない。

4. システムの構築

本研究では、過去の事例を、図-3のように事例の問題部と事例の解部とに分けて考える。課題の問題部から検索して得られる結果は、過去の事例の問題部と解部の組であり、その解部が課題の問題部に対する解となる。橋梁形式選定システムは、事例検索の手法に重点を置いて開発する。事例ベース推論では、課題の問題部を入力すると、類似事例を検索し、修正・修復へと単調に処理が進むのが普通であるが、本システムでは、その処理の他に検索によって得られた結果を参考にしながら、課題の問題部の修正を行い、再度事例を検索して、幅の広い解を得るようにする。つまり、検索条件となる課題の問題部を修正しながら検索と修正のプロセスを繰り返すことで、最適解に近い解が得られるような問題解決の手法を採用する。

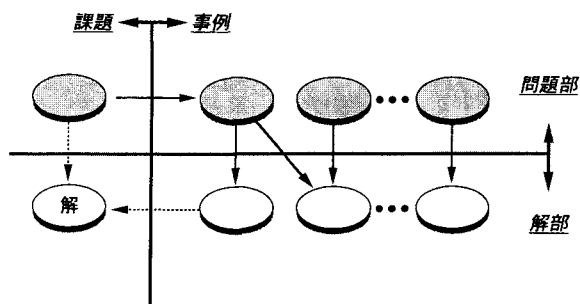


図-3 課題と事例

の事例データは、文献9)~11)から合計144件収集し、一つ一つの事例を図-1に示す属性から構成されたフレーム形式で表現した。これらの属性は、西土らのシステム^{5) 6)}において用いられた属性のうち、上部工の形式選定に関するものと、そのシステム^{5) 6)}で属性として明示されていないが、ルール中に含まれる間接的なものと、本研究で新規に考慮したものから構成される。本システムで新規に考慮した属性は、図-1で下線を付けて区別した。

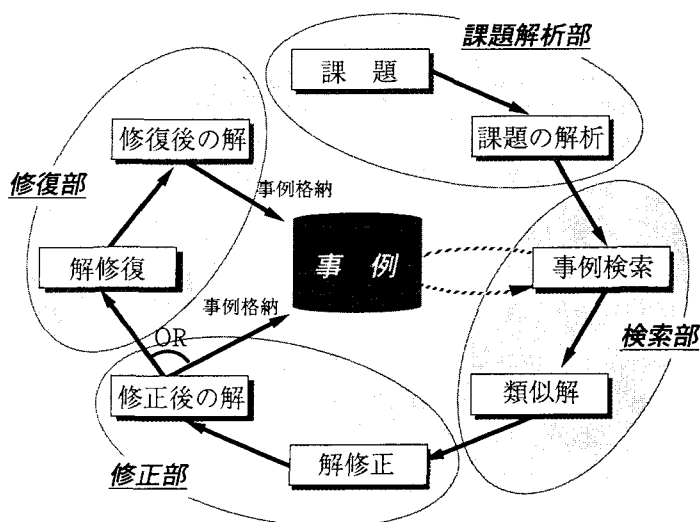


図-2 CBRの一般的な枠組み

3. 事例ベース推論

3.1 概念

事例ベース推論では、まず、収集した事例をその特徴に基づいて組織的に蓄積して、事例データベース化する。次に、この事例データベースを使って、課題に対して類似した過去の事例（失敗事例も含む）を検索し、その解を修正することで、問題解決を行う。事例ベース推論は、ルールのみで推論を行うルールベース推論(RBR:Rule-Based Reasoning)と、巨大な事例データベースを用いてマッチングのみで推論を行うモデルベース推論(MBR:Model-Based Reasoning)との中間的な位置付けであると言われている。^{7) 8)} 事例ベース推論は、図-2に示すように構成され、その構成要素の働きは次のようである。

(1) 課題解析部

課題から、過去の事例を検索するためのインデックス情報を抽出する。

(2) 検索部

課題解析部で得られたインデックス情報を用いて、事例データベースから類似している過去の事例を検索する。検索された事例が、課題のそれと完全に一致しているのであれば、その検索結果がそのまま課題の解として用いることができる。検索手法としては、抽象化照合、部分照合、因果的照合などがある。

(3) 修正部

検索部において検索された事例が、課題に対する類似な事例の場合、修正部において、課題と類似事例との差違を考慮しながら解の修正を行う。修正の方法には、類似事例の解を直接修正する方法と、類似事例の解が導き出されてきた過程を修正する手法とがある。

(4) 修復部

修正部で解の修正を行った場合には、その修正案が矛盾していたり、間違っている恐れがあるため、修復部において矛盾や間違いを検証し、その原因を取り除く。

(5) 事例格納部

修正部や修復部で得られた解は、新たな事例とみなすことができるので、事例データベースに格納する。得られた解が失敗であっても、失敗事例として役立つので格納する。

4.1 システムの構成

システムの構成を図-4に示す。本システムの核となる事例ベース推論部分は、推論エンジンと事例データベースとからなる。マンマシン・インターフェースは、GUI (Graphical User Interface)を用いたユーザフレンドリーなものを實現した。推論エンジンは、事例検索機能と格納機能を有している。事例データベースは、オブジェクト指向型データベースの機能を部分的に實現している。

4.2 処理手順

システムの処理手順を図-5に示す。まず、システムを起動すると、事例データが読み込まれ、システムの内部データ構造へ格納される。次に、課題の問題部を入力すると、事例データベースに対して抽象化照合と部分照合の手法を用いて検索が行われ、検索結果が得られる。この際、全ての属性を対象とした場合の結果と、ユーザが対話形式で入力した重要な属性のみを対象とした場合の結果との2種類の結果が得られるようにする。それぞれの結果は複数存在し、得られた結果を参考にして、ユーザが課題の問題部の修正を行えば、それに対する検索を再度実行する。これを繰り返すことで、解をより最適なものに近付ける。

最後に、課題の問題部の修正を行う必要がなくなった時点で、表示されている複数の結果の中から最適な解を選択した後、修復として、解の妥当性の評価をユーザによって行う。解が妥当なものであると判断された場合は、成功事例として事例データベースに格納する。解が妥当なものでなければ、失敗事例として格納する。

4.3 事例データベース

事例データを、図-1の属性から構成し、整理した形でファイルに格納した。事例データの一例を図-6に示す。事例データは、データファイルの先頭部分に記述された宣言文と複数の事例オブジェクトからなり、メタ知識として扱われている。メタ知識とは、ある知識の記述形式を決め、その記述形式で表現された知識(宣言文)と、規則体系(事例オブジェクト)を持った知識情報のことである。

4.3.1 宣言文

事例データの宣言文(図-6)では、Attribute&Argumentの部分で、事例中で取り扱う属性と、その属性

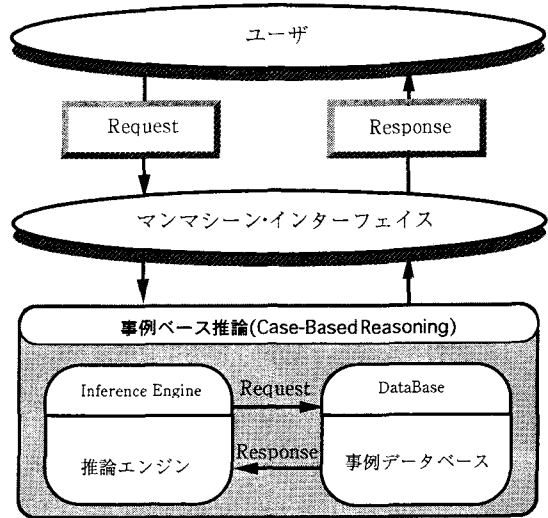


図-4 システムの構成

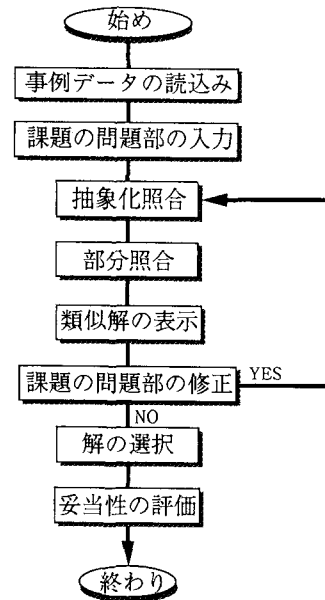


図-5 システムの流れ

の型(文字型, 整数型, 実数型)と, その単位を宣言する. 次に, ArgumentTypeの部分では, 本システムで利用可能な型を宣言する. Attribute&Rangeの部分では抽象化照合を行うために, 数値型の属性に対して, 検索時に一致とみなして良い範囲の指定を行う. また, UnimportantAttributeの部分では, 橋梁名など検索対象として意味を持たないものを検索対象から外すための属性の宣言を行う. Methodの部分では, 利用可能なメソッドと, その利用方法の宣言を行っている. 本システムでは, 図-3に示すように, 過去の事例を事例の問題部と事例の解部とに分けて考えているため, 事例の問題部を起点として, 事例の解部, 課題の問題部, 別事例の問題部に対して, それぞれ次のようなメソッドが利用できる.

・事例の問題部から, 事例の解部または課題の問題部に対して, 次のメソッドが利用できる.

add(属性, 属性値): 指定した属性に, 属性値を加える.

modify(属性, 属性値): 指定した属性の属性値を修正する.

delete(属性, 属性値): 指定した属性の属性値を削除する.

・事例の問題部から, 事例の解部または別事例の問題部に対して, 次のメソッドが利用できる.

mutual(数値): 相互的な関係にあることを示し, 数値で確信度を表す.

relation(数値): 一方向の関係にあることを示し, 数値で確信度を表す.

4.3.2 事例オブジェクト

事例オブジェクトは, 属性と属性値の組を用いて表現し, フレーム形式で記述される. 図-6に示すように, 事例オブジェクトは, 事例の問題部(Case)と解部(AnsCase)に分けて記述する. 事例の問題部には, オブジェクトの固有なID, メソッド(@Method), 属性と属性値の組(@Attribute&Value)を記述する. 属性に対する属性値は, 複数の記述を許す. 図-6の例では, 事例の問題部(Case0001)が解部(AnsCase0001)に対して relation(1.0) というメソッドを保持しているため, 事例の問題部(Case0001)から事例の解部(AnsCase0001)に対して, 確信度が1の一方向の関係を表している. 同様に事例の解部には, オブジェクトの固有なIDと, 属性と属性値の組を記述する.

4.3.3 データベース

事例データが格納されたファイルを読込んだ後, システムの内部データ構造に格納し, 事例データ

```
/*宣言文*/
Attribute&Argument:                                /*属性とその属性値の型の宣言*/
  橋梁名(char),橋格(int),...
ArgumentType:                                       /*利用可能な型の宣言*/
  int,float,char.
Attribute&Range:                                    /*属性値の単位と範囲指定の宣言*/
  橋長((unit%))(10,-10),...
UnimportantAttribute:                               /*重要でない属性の宣言*/
  橋梁名,備考.
Method:                                              /*メソッドを利用できるオブジェクト間の宣言*/
Case->Problem::                                     /*問題部から課題への利用可能なメソッドの宣言*/
  add(Attribute,Value*),...
Case->AnsCase::                                     /*問題部から解部への利用可能なメソッドの宣言*/
  add(Attribute,Value*),...
Case->Case::                                         /*過去事例の問題部間で利用可能なメソッドの宣言*/
  mutual(cf),...

-----
/*事例オブジェクト定義*/
Case:                                                /*事例の問題部の記述の開始*/
  >0001                                              /*ID番号*/
  @Method                                           /*メソッドの記述の開始*/
    AnsCase0001:                                    /*解部のID番号(0001)へのメソッド記述*/
      relation(1.0)
  @Attribute&Value                                  /*属性と属性値の記述の開始*/
    橋梁名      柏陵橋
    橋長        156
    全幅員      13.5
    縦断勾配    2.3
    横断勾配    2.0
    橋格        1
    道路規格    第3種第2級
    活荷重      TL-20
    :
  AnsCase:                                           /*事例の解部の記述の開始*/
    >0001
    @Attribute&Value
      橋梁形式    3径間連続PCラーメン橋
      支間割り    47+60.8+47
```

図-6 事例データの一例

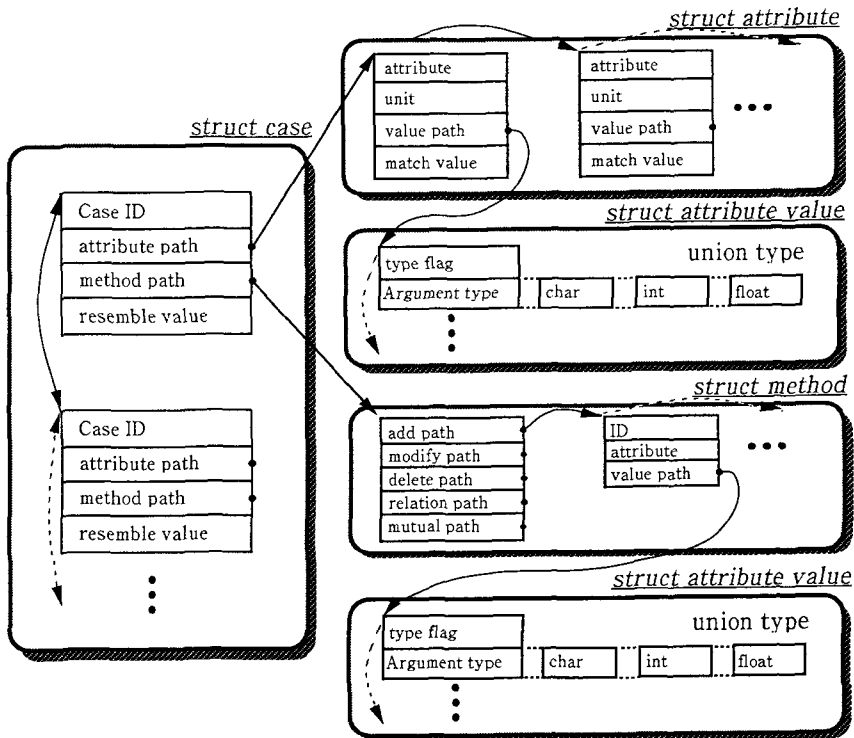


図-7 内部データ構造

ベースを構築する。内部データ構造は、事例の問題部を格納するデータ構造と、事例の解部を格納するデータ構造の2つに大別される。事例の問題部を格納する構造体(struct case)は、図-7に示すID情報と検索プロセスで算出された類似度を管理すると共に、属性の情報を管理する構造体(struct attribute)、属性値の情報を管理する構造体(struct attribute value)、メソッドを管理する構造体(struct method)からなる。それぞれの構造体はリスト構造を形なしており、case構造体はattribute構造体とmethod構造体へのアドレスを、attribute構造体とmethod構造体はattribute value構造体へのアドレスを保持している。

このようなデータ構造を用いることによって、事例の数、事例に含まれる属性の数、属性に対する属性値の数を固定する必要がなくなるので、本システムは、橋梁形式選定という当面の問題のみならず、他の問題にも事例データを変えるだけで容易に適用することができる。

4.4 検索処理

検索処理の部分は、2種類の検索結果が得られるようにシステム化を図った。一つは全ての属性を対象とした検索であり、もう一つはユーザが重要と判断し、対話形式でシステムに入力した属性のみを対象とした検索である。2種類の検索結果には、それぞれ複数の解が含まれる。検索は次の手順で行われる。

4.4.1 属性値の抽象化照合

まず、抽象化照合を行う。抽象化照合とは、課題の問題部と事例の問題部のある属性において、その属性値が違っていても、その違いがある範囲に入っていれば、一致しているとみなす照合である。

本研究では、数値型属性(整数型、実数型)の場合に抽象化照合を行うことにし、あらかじめ事例データ中に一致とみなして良い範囲を宣言文(Attribute&Range)で定義し、事例の問題部の属性値が課題の問題部のそれと比べて範囲内に入っておれば完全一致として扱う。つまり、図-8の(1)のように課題の問題部の属

性値に範囲を持たせることになる。ただし、数値型属性でも、完全一致でないと意味をもたない属性の場合は、この範囲指定は行わない。

文字型属性の場合は、領域知識を扱わないので、文字列が完全一致したもののみを一致とみなすが、事例データの入力の際に、用語を統一したので問題は生じない。

4.4.2 属性の一致度

属性値は、一つの属性に対して複数の記述を許すので、ある属性に対して、課題の問題部の属性値と、事例の問題部の属性値とが、全て一致するとは限らない。このような場合、本研究では、課題の問題部と事例の問題部の双方に属性値が1つでも存在すれば、一致した属性値の数を、課題の問題部の属性値の数と、事例の問題部の属性値の数のうち、多いほうで割ったものをその属性値の一致度として算出する。例えば、図－8の(2)のように、ある属性に対する、課題の問題部の属性値がa, b, cの3つで、事例の問題部の属性値がa, b, d, eの4つの場合、一致している属性値はa, bの2つであるため完全一致とはいえない。こ

の場合、一致している属性値の数2を事例の問題部の属性値の数4で割って、一致度は0.5となる。ただし、課題の問題部に属性値が無い場合や、事例の問題部に属性値が無い場合は、一致度の計算から除くことにする。

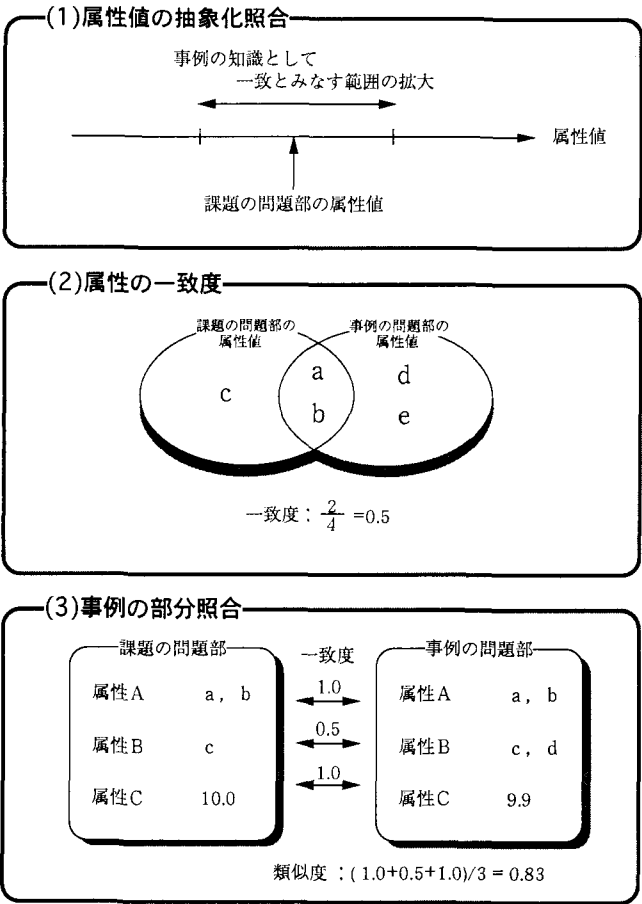
4.4.3 事例の部分照合

部分照合とは、より多くの属性が一致していれば類似度が高いとみなしたり、重要な属性が多く一致していれば類似度が高いとみなす手法である。

本研究では、全ての属性を用いた検索に対しては、全ての属性の一致度の平均を算出することで、類似度を算出する。例えば、図－8の(3)のように属性A, B, Cの一致度がそれぞれ1.0, 0.5, 1.0の場合、その平均をとって類似度は0.83となる。

ユーザにとって重要な属性を用いた検索に対しては、指定された重要な属性のみを対象として類似度を算出する。例えば、図－8の(3)の場合に、属性Aと属性Bを重要な属性と指定した場合、類似度は2つの一致度の平均をとって0.75となる。

どちらの場合においても、事例データのUnimportantAttribute部において、重要でないと記述されている属性は、類似度の計算に含めない。



図－8 検索手法

4.4.4 解の確信度

本研究では、検索された事例の問題部にメソッド記述された事例の解部をそのまま写像し、課題の解として用いる。このとき、課題の問題部と事例の問題部との間の類似度と、事例の問題部にメソッド記述された事例の解部への確信度とを、ファジィ理論でよく利用されるminimum合成したものを、解の確信度と定義する。このとき、解の確信度がしきい値を満たさなければ解とは扱わない。ここで、しきい値は、システム内部で解の分布状況に応じて自動的に決定される。事例の問題部と解部との確信度の初期値は1であるが、ユーザが、システムを使いながら修正することも可能である。

4.5 修正

本システムでは、検索によって得られた結果（類似事例）を自動的に修正することは考慮していないが、課題の問題部と検索結果とを参考にしながら、ユーザが課題の問題部を修正し、検索を繰り返すことで、より最適解を導き出せるように考慮した。その際、ユーザが、課題の問題部の修正を効率良く行えるように、GUIを用いてユーザに必要な情報を表示できるようにシステムを構築した。

4.5.1 課題の問題部の修正

全ての属性を用いて得られた結果と、重要な属性のみを用いて得られた結果が、それぞれ複数表示される。課題の問題部と一致した事例の問題部の属性値は赤い文字で表示され、課題の問題部と事例の問題部との差違を認識し易くした。これらの情報を使って、課題の問題部の属性値の変更を行えば、再検索が行われ、新たな検索結果が表示される。

課題の問題部の属性値の変更を行う必要がなければ、得られた複数の検索結果の中からユーザが最適な解を選択する。

4.5.2 事例の問題部と解部との関係

システムの初期状態では、事例の問題部と解部との関係は、一対一で対応付けられるため、確信度は1と定義しているが、その対応関係をユーザが再定義できる。なぜなら、ある課題の問題部に対する検索結果が複数類似していることも考えられる。そのため、ある事例の問題部を別の事例の解部と結び付けても不自然でないと考えられる。このような場合、ユーザの判断によって、フレンドリーなマンマシン・インタフェースを通じて、事例の問題部と解部との関係を修正・追加することができる。修正された関係は、事例データベースに格納され、次の検索からは新たな関係が生成され、より幅のある検索が可能となる。

4.6 修復

得られた解が、妥当なものであるか、そうでないかの正当性の評価を、ユーザの判断によって行う。この評価によって失敗であることが判明した場合は、ユーザが直接、解を修復するか、もしくは失敗事例として事例データベースに格納する。失敗事例として格納する場合は、課題の問題部とユーザが最終的に選択した解とをrelationのメソッドで結び、その確信度を-1とする。これによって、次の検索からは、同じ失敗を回避しながら推論を行うことができる。

5. 実行例

5.1 実行例1

西土らのシステム^{5) 6)}において、実行例で採用している設計条件と同様な条件を用いて、本システムの評価を行ってみる。設計条件は、表-1の課題欄のようである。図-1に示す属性のうち下線で示された属性は、本システムで新しく採用したものであるが、課題の問題部の属性値が分かるものについては検索条件に

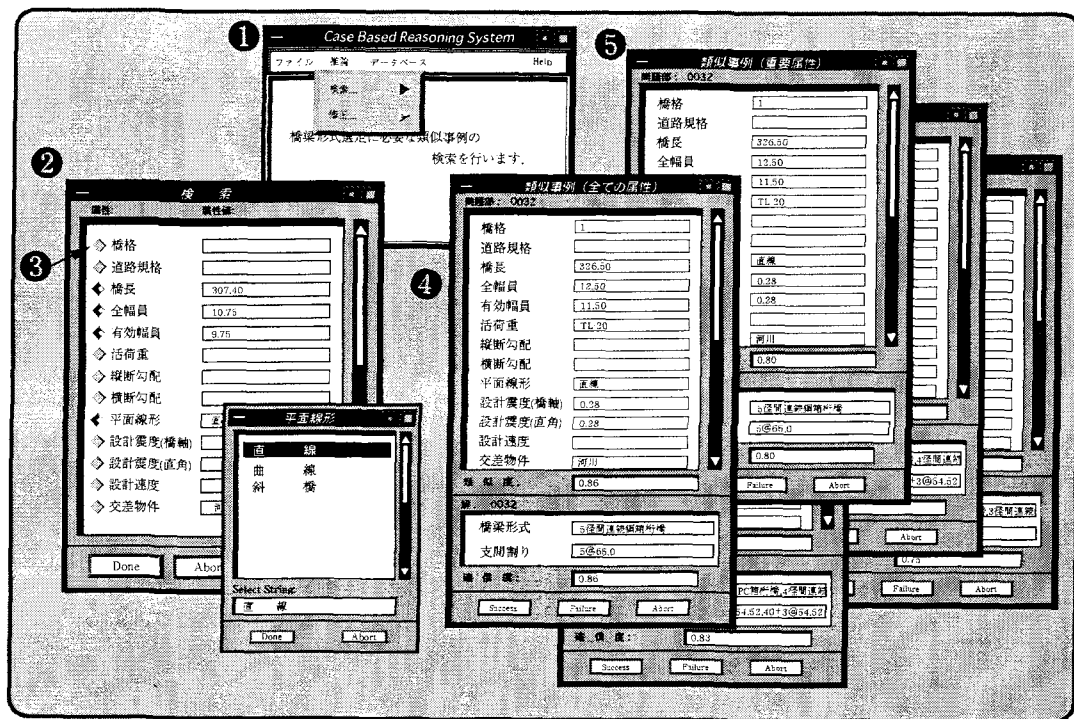


図-9 実行例

表-1 実行例 1

事例	橋格	道路規格	橋長	全幅員	有効幅員	活荷重	縦断勾配	横断勾配	平面線形	設計震度(橋軸)	設計震度(直角)	設計速度	交通物件	制限事項
1	1	不明	326.50	12.50	11.50	TL-20	不明	不明	直線	0.28	0.28	不明	河川	不明
2	1	不明	355.00	10.75	9.73	TL-20	不明	1.5	直線	0.15	0.19	不明	河川	不明
3	不明	1種3級	295.00	10.40	9.00	不明	不明	2.5	直線	不明	不明	不明	河川	不明
4	1	4種2級	399.20	11.00	10.00	TL-20	0.5	2.0	直線	不明	不明	40	河川	不明
5	1	4種1級	342.00	24.50	23.50	TL-20	2.5	2.0	直線	不明	不明	60	河川	不明
6	不明	不明	276.80	不明	18.00	不明	不明	不明	直線	不明	不明	不明	河川	不明
7	1	2種1級	279.45	21.90	17.00	TL-20, TT-43	0.3	2.0	曲線	不明	不明	60	河川	不明
課題			307.40	10.75	9.75				直線				河川	

架設年度	工期	施工性	桁高制限	斜角	車線	合成桁の使用	川幅	堤防法肩間距離	基準径間長	計画高水位	高水位流量	背水区間か	高潮区間か	治水上の支障
不明	不明	不明	なし	80.0	2	しない	326.5	346.00	不明	不明	不明	いいえ	いいえ	なし
1988	不明	良い	あり	90.0	2	しない	不明	不明	不明	不明	不明	いいえ	いいえ	なし
不明	不明	良い	あり	90.0	2	しない	230.9	不明	不明	不明	不明	いいえ	いいえ	なし
不明	不明	不明	なし	90.0	2	しない	不明	不明	不明	不明	不明	いいえ	いいえ	なし
1990	60	不明	なし	78.0	4	しない	不明	不明	不明	不明	不明	いいえ	いいえ	なし
不明	不明	不明	なし	90.0	4	しない	不明	不明	不明	不明	不明	いいえ	いいえ	なし
不明	不明	不明	なし	72.3.90	4	しない	不明	不明	不明	不明	不明	いいえ	いいえ	なし
			なし	80.0	2	しない	300.0	315.00	42.394	2	4350	いいえ	いいえ	なし

橋梁形式	支間割り	全ての属性④	重要な属性⑤
5径間連続鋼桁橋	5065.0	0.86	0.80
3径間連続PC箱桁橋, 4径間連続PC箱桁橋	40.0+2054.52, 40+3054.52	0.83	0.75
3径間連続鋼桁橋, 3径間連続鋼桁橋	3066.1, 3066.1	0.83	0.75
4径間連続PC箱桁橋, PC単純T桁	47.8+2080.0+47.8+37.0	0.77	0.67
3径間連続PC等断面箱桁橋, 3径間連続PC変断面箱桁橋, 単純PC箱桁橋	3042.0, 44.0+84.0+44.0, 0.40.0	0.75	0.63
単純非合成鋼桁橋	2020.625+0025.35	0.73	0.57
3径間連続鋼桁橋	74.05+130.0+74.05	0.59	
2径間連続非合成I桁, 3径間連続非合成箱桁, 2径間連続非合成I桁	2030.6, 3060.0, 2032.9		

含めた。

本システムを実行すると、図－9の①から検索ウィンドウ②が表示される。ここで、ウィンドウ②に対して表－1の課題欄の属性値を入力し、表－1の下線で示した事例の属性に対してはボタン③をクリックして重要な属性として指定した。検索が終了すると、④に示す全ての属性を用いた検索結果と、⑤に示す重要な属性を用いた検索結果が表示される。

実行結果を表－1に示す。表中の網かけ部は、完全一致した属性値を示し、下線部は抽象的に一致した属性値を示す。この結果、橋梁形式が5径間連続鋼箱桁橋で、支間割りが5@65.0の事例1が、全ての属性を用いた検索では最も確信度が高い解として得られた。また、重要な属性を用いた検索でも、事例1が最も確信度が高い解として得られた。

実橋で採用された橋梁形式は2径間連続非合成桁＋3径間連続非合成箱桁＋2径間連続非合成桁であり、支間割りは、2@30.6＋3@60.0＋2@32.9である。西土らのシステムで推論された30案の中に、ほぼ同様な結果が含まれている。本システムにおいても、このように複数の橋梁形式が組み合わせられた事例に対しても対応することができるが、得られた解には、実橋に相当する形式は含まれていない。実橋と同じ結果が含まれない理由として、支間割りを行う際に最も重要な地形条件が十分に表現されていないこと、事例のインデックスとして扱った属性値を有効利用しきれていないこと、事例の数が十分でないことなどが考えられる。

5.2 実行例2

実行例1と同様に、表－2の課題欄に示す条件でシステムの実行を行うと、表－2の事例1～事例5の5つの事例が、確信度の高い解として得られた。実橋で採用された橋梁形式は、3径間連続非合成桁であり、支間割りは、50.45＋60.0＋50.45である。ここでも、得られた解の中に、実橋と同じ橋梁形式は含まれていないが、支間割りに関しては、実橋と類似した左右対象の支間割りを持つ解が3つ得られている。

表－2 実行例2

事例	橋格	道路規格	橋長	全幅員	有効幅員	活荷重	縦断勾配	横断勾配	平面線形	設計震度橋軸	設計震度直角	設計速度	交差物件	制限事項
1	1	2種2級	166.00	18.00	17.00	TL-20	0.3	1.5	曲線	0.17	0.17	60	河川	不明
2	1	3種2級	158.00	13.50	12.70	TL-20	2.3	2.0	直線	不明	不明	不明	河川	不明
3	1	3種2級	170.00	15.40	12.50	TL-20	不明	不明	斜橋	不明	不明	80	河川	不明
4	1	3種3級	280.30	10.75	9.75	TL-20	不明	2.0	曲線	不明	不明	不明	河川	不明
5	1	4種2級	171.70	28.60	17.40	TL-20	0.4	2.0	直線	不明	不明	不明	河川	不明
課題	1	4種2級	162.00	16.80	16.00	TL-20			曲線			30	河川	

架設年度	工期	施工性	桁高制限	斜角	車線	合成桁の使用	川幅	堤防法肩間距離	基準径間長	計画高水位	高水位流量	背水区間か	高潮区間か	治水上の支障
不明	不明	良い	不明	90.0	4	しない	117.0	142.30	不明	不明	不明	不明	不明	不明
1989	24	不明	不明	75.3	2	しない	124.0	160.40	35.0	不明	3000	不明	不明	不明
1988	不明	不明	不明	80.0	2	しない	76.5	153.00	不明	不明	不明	不明	不明	不明
1993	36	不明	不明	90.0	2	しない	115.6	145.00	不明	不明	不明	不明	不明	不明
不明	不明	不明	不明	76.0	4	しない	77.4	185.2	不明	不明	不明	不明	不明	不明
1990	31			80.0		しない	113.6	150.00	38.0		3600			

橋梁形式	支間割り	全ての属性④	重要な属性⑤
3径間連続PC箱桁	53.0＋60.0＋53.0	0.77	0.75
ニールセンローゼ桁	39.0＋98.0＋30.0	0.69	0.59
2径間連続PC斜張橋	107.7＋64.0	0.67	0.64
3径間連続PC斜張橋	70.7＋145.0＋70.7	0.64	0.55
3径間連続PCラーメン橋	47.0＋60.8＋47.0	0.63	0.64
3径間連続鋼非合成桁	50.45＋60.0＋50.45		

6. あとがき

本研究では、橋梁形式の選定システムを、事例ベース推論の手法を用いて構築した。従来のルールベースのシステムでは、専門家の知識をルール化する必要があり、知識の獲得が困難であるが、本システムでは、事例を収集・整理するだけでよく、知識の獲得が容易に行える利点がある。また、本システムのような計画・設計問題においては、プロダクションルール・システムでは、推論時間が長くなりがちであるが、事例ベース推論を用いることで推論時間を短縮することができた。さらに、プロダクションルール・システムでは、ルールに無い知識が必要な課題に対しては対応できない。従来のデータベース・システムでは、検索条件と完全一致の場合でないと解が得られないのに対して、事例ベース推論では、類似事例を検索することが可能であるため、幅のある検索結果が得られる。今後、地形条件の表現方法や事例の属性を再考すると共に、事例の追加を行って、システムの向上を図りたい。

参考文献

- 1) 大北康治・小川均・田村進一：土木分野におけるエキスパートシステムの利用について，第9回電算機利用に関するシンポジウム講演集，土木学会，1984.10，pp.153-156.
- 2) 白石成人・松本勝・谷川浩司：新しいコンピュータ言語Prologの橋梁形式選定システムへの適用－基礎形式の場合－，橋梁，橋梁編集会，Vol.21，No.5，pp.2-10，1985.5.
- 3) 白石成人・古田均・中島裕之・山本信哉：橋梁計画設計のためのエキスパートシステム構築に関する基礎的研究，構造工学論文集，Vol.34A，pp.667-675，1988.3.
- 4) Leelawat, C., Niir, T. and Kuribayashi, E. : Application of Expert System in Bridge Superstructure Selections, Proc. of JSCE, No.416/I-13, pp.49-57, 1990.4.
- 5) 西土隆幸・前田研一・野村国勝：河川橋梁の上下部工形式選定のためのエキスパートシステム構築に関する一考察，構造工学論文集，Vol.35A，pp.489-502，1989.3.
- 6) 西土隆幸：橋梁の形式と架設のためのコンピュータ利用に関する研究，名古屋大学博士論文，pp.15-54，1992.5.
- 7) 佐藤健：事例ベース推論，土木学会関西支部共同研究グループ「土木構造物の知識情報処理に関する調査研究」講演会資料，1993.7.
- 8) 小林重信：事例ベース推論の現状と展望，人工知能学会誌，Vol.7，No.4，pp.559-566，1992.
- 9) 橋梁編集会：橋梁，Vol.24-Vol.28，1988.1-1992.4.
- 10) 松尾橋梁(株)：松尾技法，No.15-No.20，1988.4-1990.10.
- 11) (株)横河ブリッジ：横河技法，No.17-No.20，1988-1991.

(1993年9月16日受付)