

I-39 論理型言語PROLOGの RC橋設計への応用

室蘭工業大学 正員 菅田 紀之
室蘭工業大学 正員 尾崎 詔

1. まえがき

現在、土木工学の分野へのコンピュータの利用が広く浸透し、構造物のFEM解析、統計計算などの各種の数値計算が行われている。また数年前からは新しいコンピュータの利用法として、知識工学の手法が土木工学にも応用されるようになってきている。知識工学の手法が有効なものとして考えられる対象は、構造物の寿命予測¹⁾²⁾、健全度の診断³⁾、形式選定⁴⁾⁵⁾などの多くの知識と経験を必要とする問題、あるいは構造物の設計⁶⁾などのように多くの条件や基準により制約を受けているような問題で、専門家でなければ解けないような問題領域である。これらの問題は判断を行う専門家によって、結果が違ってくることが多い。一般に、このような専門家でなければ解けないような問題を、知識工学の手法により解くシステムのことを、エキスパート・システムと呼んでいる。

エキスパート・システムを作成するための方策には、プロダクション・システム、フレーム・システム、意味ネットワーク、黑板モデルなどいくつか考案されているが、よく利用されているものはプロダクション・システムとフレーム・システムであり、それらを実現するツールも数多く市販されている。

本研究では、パソコン上で実行可能なシステムとして、論理型言語PROLOG⁷⁾によりプロダクション・システムを作成し、形状、寸法、基準などの知識をルール化しルール・ベースとし、断面力、断面耐力、鉄筋量の計算などの数値計算のプログラムをBASICによってつくることにより、RC橋設計システムを開発した。なお、設計は道路橋示方書⁸⁾及びコンクリート標準示方書⁹⁾に従って行った。

2. プロダクション・システム

プロダクション・システムは図-1のように、「if～₁ then～₂」という知識をルール化した集合であるルール・ベース、推論の各時点により内容が変化していく事柄、状態の集合であるワーキング・メモリー、およびルールの～₁（条件部）とワーキング・メモリーを比較し、実行可能なルールの～₂（動作部）を実行する推論部から構成されている。動作部を実行することによりワーキング・メモリーの内容が変化し、次のルールが実行される。このようにして、次々にワーキング・メモリーの内容を変化させることにより、問題が解決されるのである。このようなプロダクション・システムでは複数のルールが実行可能となったときに、どのルールを選択するかという問題が生じてくるが、これはプロダクション・システムの製作者によって決めることができる。

本研究におけるプロダクション・システムでは、ワーキング・メモリーの要素に、タイム・タグという、つくられた順番あるいは変更された順番をつけ、ルールに適合しているワーキング・メモリーの要素のタイム・タグを比較することにより、実行するルールを決定している。動作部では、ワーキング・メモリーを操作する命令のほかに、入出力の命令をもち、さらにPROLOGの述語を実行したり、数値計算するためにBASICのプログラムを実行できるようになっている。次にルールの形式を示す。

if (ルール名, 条件部,
then, 動作部) .

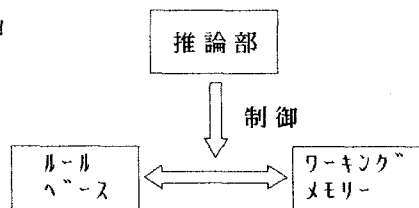


図-1 プロダクション・システム

3. システムの概要

システムの概要は図-2に示すように、大きく分けて5つの部分から構成されている。各部分について以下に説明する。

I 条件入力：幅員、橋長、使用材料、荷重などの基本的な条件を入力する部分。

II 床版の設計：床版について終局限界状態および使用限界状態での検討を行う部分。

a) 床版について必要な断面寸法をコンピュータが仮定を行い、ユーザーがそれに対して必要ならば変更を行う。

b) 仮定された断面により必要な鉄筋量を求める。

c) 使用する鉄筋量を決める。

d) 仮定された断面および鉄筋量より破壊に対する検討とひびわれに対する検討を行う。

III 主桁の主鉄筋の設計：主桁の曲げについて終局限界状態および使用限界状態での検討を行う部分。

a) 主桁について必要な断面寸法をコンピュータが仮定を行い、ユーザーがそれに対して必要ならば変更を行う。

b) 仮定された断面により必要な主鉄筋量を求める。

c) 使用する主鉄筋量および折曲げ位置、折曲げ鉄筋量を求める。

d) 仮定された断面および鉄筋量から、曲げモーメントによる破壊に対する検討とひびわれに対する検討を行う。

IV 主桁のスターラップの設計：主桁のせん断について終局限界状態および使用限界状態での検討を行う部分。

a) 仮定された断面により必要なスターラップの量を求める。

b) 使用するスターラップの量を求める。

c) 仮定された断面および鉄筋量から、せん断による破壊に対する検討とスターラップと折曲げ鉄筋の応力の検討を行う。

V 出力：設計の結果を出力する部分。

条件、寸法の入力および数値計算部分はBASICによってプログラムされ、断面寸法の仮定、使用する鉄筋の仮定および検討が、PROLOGとルール・ベースになっている。現段階でのルール数は約60個である。

図-3は最小鉄筋量に関するルールの例である。このルールが実行されると、終局限界状態で計算された必要鉄筋量が有効断面積の0.2%以下のとき、必要鉄筋量が有効断面積の0.2%になる。ここでルール名は「床版の最小鉄筋量」で、条件部の「処理」、「床版寸法」、「床版必要鉄筋量」がワーキング・メモリーの要

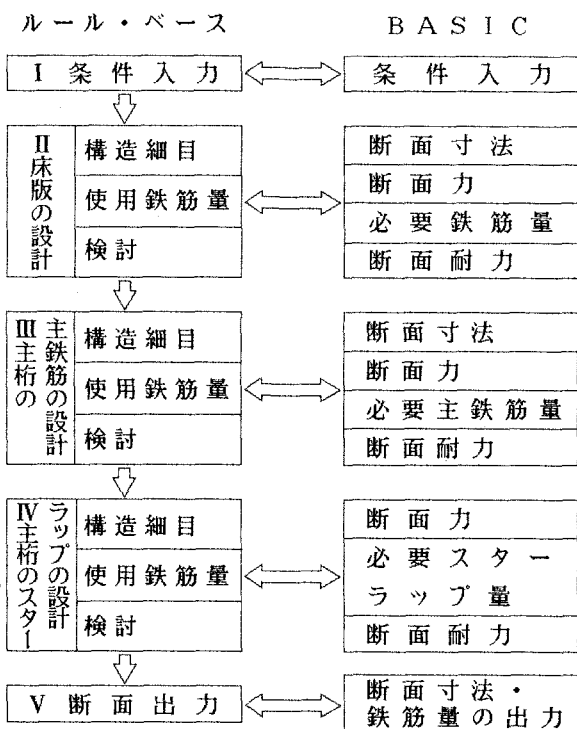


図-2 RC橋設計システム

```

if(床版の最小鉄筋量,
   処理(@は,床版),
   床版寸法(@hs2,_hs2),
   床版必要鉄筋量(@as2,<_hs2*0.2-4.0*0.2),
then,
   _as21 is _hs2*0.2-4.0*0.2,
   modify(3,@as2,_as21)).
  
```

図-3 最初鉄筋量に関するルール

素名、@の付いているものが事柄、_の付いているものが変数、漢字およびアルファベットの小文字が定数である。また動作部でのisは=に相当し、modifyはワーキング・メモリーの要素を更新する命令である。かつこの数字の3は、条件部の3番目の要素を意味している。

※※ RC単純T桁橋（道路橋、一等橋）の設計 ※※

一般条件
桁長 (m) : 18
車道幅員 : 8
歩道幅員 : 2
計画大型車交通量
(1日1方向
1000台以上:1、
1000台以下:2) : 1

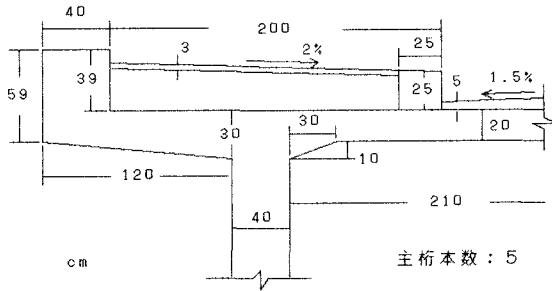
これよろしいですか ? (Y/N)

荷重条件
永久荷重
床版自重、主桁自重、横桁自重、地覆自重、
歩道自重、舗装自重
高欄自重 (kgf/m) : 60
変動荷重
床 版 : T-20、 500kgf/m² (歩道)
主 桁 : L-20、 350kgf/m² (歩道)
高欄推力 (kgf/m) : 250

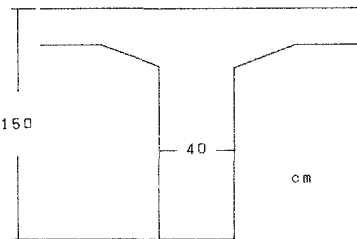
これよろしいですか ? (Y/N)

使用材料
コンクリート
設計基準強度
(240kgf/cm²:1、300kgf/cm²:2) : 2
鉄筋
規格 (SD30:1、SD35:2) : 2

これよろしいですか ? (Y/N)



これよろしいですか ? (Y/N)



これよろしいですか ? (Y/N)

4. 実行例

図-4は本システムの実行例である。桁長が18m、車道の幅員が8m、歩道の幅員が2m、計画大型車交通量が1日1方向で1000台以上という条件と、使用材料としてコンクリートの設計基準強度を300kgf/cm²、鉄筋をSD35を用いるという条件で設計している。ユーザーが条件を入力すると、床版に関する寸法と主桁に関する寸法がコンピュータによって仮定され画面上に表示され、ユーザーの入力待ち状態になり変更が行える。次に、コンピュータによって選ば

床版の鉄筋量と検討 (r_i)

片持部床版 橋軸直角方向	中間部床版		
	橋軸直角方向	支点部	支間部
鉄筋量	D13@20.0	D13@10.0	D13@10.0
使用限界状態	1.2466	1.6072	1.5348
終局限界状態	2.6873	1.4853	1.4572

主桁の主鉄筋と検討 曲げ (r_i)

折曲げ位置(m)	1.50	3.00	4.50	6.00	桁中央
鉄筋量	D32-2	D32-3	D32-4	D32-4	D32-4
使用限界状態	2.2122	1.5387	1.3092	1.2197	1.1741
終局限界状態	2.8615	1.7617	1.4427	1.3248	1.2676

主桁のスターラップ量と検討 せん断 (r_i)

X(m)	0.75	6.335	6.20	折曲げ鉄筋	斜め圧縮破壊
鉄筋量	2-D13@30.0	-----	-----	14.796	-----
使用限界状態	29.592	-----	-----	-----	4.1928
終局限界状態	5.7611	13.038	12.390	-----	-----

図-4 システムの実行例

れた鉄筋量と、断面耐力と断面力の比または許容ひびわれ幅とひびわれの比が表示され、設計が終了する。

5. あとがき

本研究では、プロダクション・システムの手法を用いて、パソコン上で実行可能なRC橋の設計システムの開発を、断面力、必要鉄筋量の計算など数値計算部分はBASICによってプログラムし、このシステムのメインとなる基準、断面の選択、鉄筋の選択などの知識はルール化することによって試みた。なお、このシステムでのルールの数は約60個になっている。このプロダクション・システムではプログラムの流れ、アルゴリズムはあまり考える必要はなく知識のルール化が大きな鍵となる。

実際に設計に使用してみた結果として、応答時間がいくぶん遅いこと、また現段階では、条件によってルールが足りないため正常に設計が終わらないことがあり、まだ完全なシステムとは言えないが、ルールの修正、追加を行うことにより応答時間の問題をのぞいて、解決されるものと思われる。

なお、本システムに使用したパソコンは、NEC PC-98XLである。

参 考 文 献

- 1) 中村秀治・松浦真一・松井正一・寺野隆雄：知識工学的手法に基づく水力鋼構造物の寿命予測、土木学会論文集、N0.368/I-5、pp.301-310、1986.4
- 2) 中村秀治・松浦真一・寺野隆雄・篠原靖志：水力鋼構造物の寿命予測エキスパート・システムとそ応用、土木学会論文集、N0.368/I-5、pp.301-310、1986.
- 3) 八賀明・長田弘康・松岡彰彦・河田博之・鳥取誠一：鉄道土木構造物診断システム（その1）、情報処理学会第31回全国大会、1L-5、1986.
- 4) 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、pp.2-10、1985.5.
- 5) 菅田紀之・尾崎詔：エキスパートシステムの土木工学への応用、室蘭工業大学研究報告（理工編）、No.37、pp.199-209、1987.
- 6) 丹羽宣之・矢川元基：知識工学的手法とコンピュータグラフィックスを用いた構造設計支援システムの開発、構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、Vol.10、pp.112-115、1986.
- 7) Advanced RUN/PROLOG USER'S MANUAL, LIFEBOAT, 1987.
- 8) 道路橋示方書・同解説 I 共通編 IIIコンクリート編、日本道路協会、1978.
- 9) コンクリート標準示方書【昭和61年制定】設計編、土木学会、1986.