

神戸大学 学員 O 大久保高志
神戸大学 正員 高田 至郎
神戸大学 学員 孫 建生
大阪府 正員 難波 孝行

1. はじめに

今日の都市生活では、ライフライン系の施設に依存するところが多くなっている。しかし、地震の襲来によって、これらのシステムに同時に且つ多数の被害が発生すれば、都市機能の全面的なマヒは免れないところであろう。本報では、地震による被害の防止のための事前対策の観点から、2次元的な広がりを持つガス管路システムの耐震性を評価する目的で、構築ツール OPS 83¹⁾を用いてエキスパートシステムを構築した。それらの構想と現状について報告する。

2. OPS83によるエキスパートシステムの構築

(1) OPS83について

OPS 83は、ルール型のエキスパートシステム構築ツールであり、一般にプロダクションシステムと呼ばれている。プロダクションシステムの基本構造は図-1に示されており、いわゆるワーキングメモリと呼ばれる推論規則の集合と推論の各時点で作まっている事柄の集合と、それらを用いた新たな推論エンジンで構成される。ルールの集合はルールベースと呼ばれ、本システムの場合データベース及び診断対象別の計算もこのルールベースに含まれている。

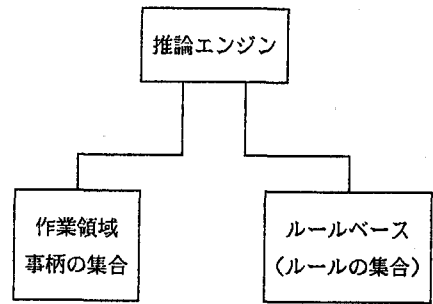


図-1 プロダクションシステムの基本構造

レコード構造からなるワーキングメモリエレメント

がワーキングメモリに生成されると推論エンジンによってルールベースに格納されているルールとのマッチングを行う。すなわち、ルールとそのLHS部(条件部)を満足するワーキングメモリエレメントのリストの順序づけされた対(インスタンスエイション)で推論エンジンの競合解消戦略により1つのインスタンスエイションを選択し、ルールのRHS部(実行部)を実行する。

本システムにおける推論エンジンは以下の3項に留意して構成されている。

- ① 同じインスタンスエイションを二度と実行しないこと。
- ② 二つのルールを比較するとき、LHSの最初のパターンが最も新しく加えられたワーキングメモリエレメントと照合したルールを常に選ぶこと。
- ③ 同一のワーキングメモリエレメントで最初のパターンで照合するルールが二つあった場合、競合解消はLHSに最も多くのパターンを持つものを選ぶこと。

OPS 83の特徴は、主に次のような利点が挙げられる。一つには、ルールはコンパイル時に機械語にコンパイルされパターンマッチアルゴリズムを用いて実行されるので、実行速度が速い。またルールを用いることによってIF-THEN型で問題になるプログラムの複雑さが解消される。他には、他言語とのリンクが可能であり、既存のプログラムを利用したシステムを構築することも可能となる。

(2) 本システムについて

本システムではUNIX上でOPS83を稼働させて、計算部分をFORTRAN言語で記述し、OPS83とのリンクを実現している。図-2はリンク部分の位置関係を示すと共にシステムの概略フローを示した。診断方法としてガス導管耐震設計指針（以下、ガス指針）²⁾あるいは2次元非線形地震応答解析プログラムを用いたシステムのフローであり、埋設地盤に関する情報量によってこれらの診断方法を選択もしくは設定する。本文以下では、図-2に示すフローの内、ガス指針を診断基準とした場合のみについて報告する。

ガス指針は大別して、高压ガス指針と一般（中・低压）ガス指針とからなり、前者において耐震性の評価に際して、ひずみを基礎とした考え方に立っている。すなわち、設計地震動により、地盤に生じるひずみを求め、その地盤のひずみにより導管に発生するひずみを算出し、この値と許容ひずみを比較することを行う。後者においては理想化された特定の形状の地盤変位入力に対して、配管系の地盤変位吸収能力を求め、この値と埋設条件によって定められた地盤変位の基準値（設計地盤変位）とを比較するたわみ性評価の体系をとっている。なお、システムで対象としている配管系は、溶接鋼管及びメカニカル接合鑄鉄管である。

本文で開発したエキスパートシステムでは、まず主管の始点・終点座標、異形部の座標を入力することによってシステムは自動的に直管を50-100m、異形管を60mの診断単位に分割し、この診断単位毎に管路とその埋設地盤条件を入力する方法を採用した。埋設地盤条件の入力には3段階に分けられている情報量レベル毎に入力方法が設定され、情報が明瞭（レベル1）であるならばN値に基づく入力、やや明瞭（レベル2）である

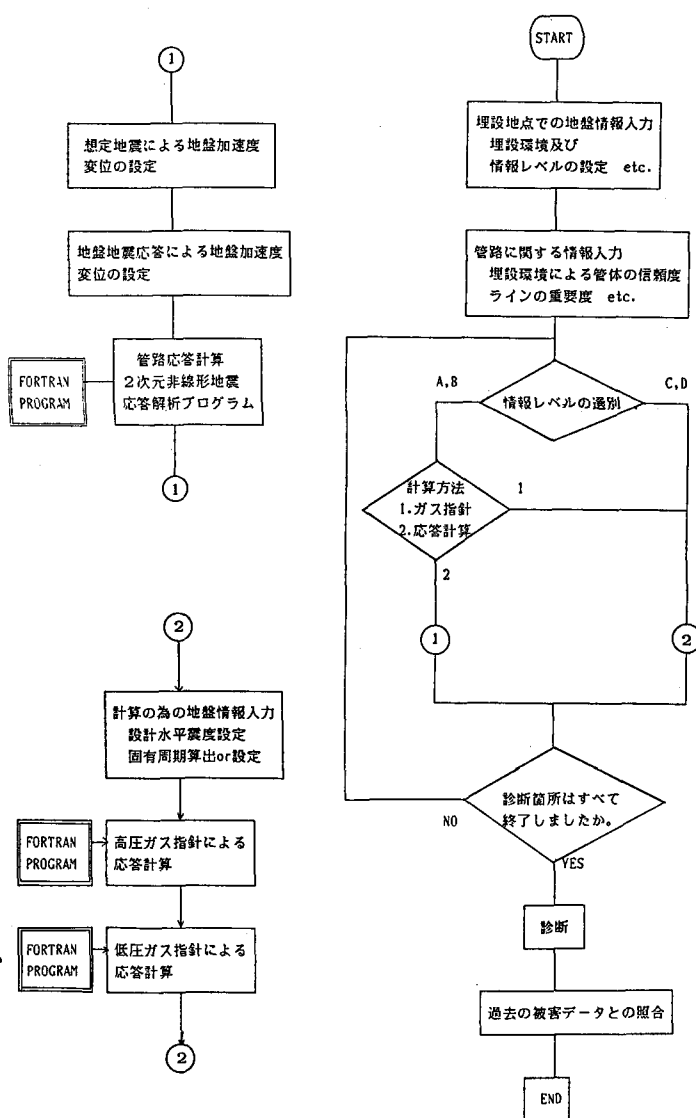


図-2 システムのフロー

表-1 ガス指針に基づく最悪条件値

導管の埋設深さ	0m
表層地盤の固有周期	1.5s
基盤傾斜角	30°
表層地盤厚さ	10m
せん断弾性波速度	1000m/s

ならば弾性波速度に基づく入力、特に情報が無い場合（レベル3）には表-1に示されているようなガス指針に基づく最悪地盤条件値を設定した。システムはルール型もしくは手続き型で記述されたデータベースを利用することによってユーザー側の入力の負担を軽減し、さらに実行部の修正を容易にしている。データベースの内容には、管の寸法、継手特性、管の材料的性質を表す数値やFORTRAN言語で記述されたプログラムなどが格納されている。図-3~5にはこのデータベースの一部を記載しておく。本文でのシステムは診断値、許容値共にガス指針に基づいており、診断結果としては各診断単位毎に安全であるか否かの2通りで診断を行う。

```

procedure data_b(&NUM:integer)
{
  -- 曲管に関するデータ
  -- 外径 mm      管厚 mm      曲率半径 cm
  if(&BEND_SORT[&NUM]=1)
  {&B_DC[&NUM]=114.3;&B_T[&NUM]=4.5;&B_R[&NUM]=15.24}
  else if(&BEND_SORT[&NUM]=2)
  {&B_DC[&NUM]=165.2;&B_T[&NUM]=5.0;&B_R[&NUM]=22.86}
  .
  .
  .
};

procedure bendchar(&NUM:integer,&F1:real,&DELTA1:out real)
{
  if(&BEND_SORT[&NUM]=6)
  {
    if(&F1 >= 0.0 /&F1 <= 1700.0)
    {&DELTA1=&F1/2428.57}
    else if(&F1 > 1700.0 /&F1 <= 10000.0)
    {&DELTA1=(&F1+17666.67)/27066.67}
    else if(&F1 > 10000.0 /&F1 <= 15500.0)
    {&DELTA1=(&F1+8333.33)/18333.3}
    else if(&F1 > 15500.0 /&F1 <= 18000.0)
    {&DELTA1=(&F1+9590.91)/4545.45}
    else if(&F1 > 18000.0 /&F1 <= 18100.0)
    {&DELTA1=(&F1-17782.345)/117.65;
    .
    .
    .
  }
};

```

図-3 手続き型のデータベースの一部

```

rule b_data1
{
  &l(goal2 sort=6;object=BEND;number=0);
  -->
  local &NUM:integer;
  &NUM=&l.number
  &SETA0[1][&NUM]=0.2 ; &F1_0[1][&NUM]=39000.0 ;
  &DEL_0[1][&NUM]=2.7 ; &F2_0[1][&NUM]=18100.0 ;
  call del_b_cal(&NUM);
};

```

図-4 ルール型のデータベースの一部

3. 想定ガス管路システムへの適用

想定ガス管路システムとして図-6を想定した。この管路を診断する際の画面での入力状況を図-7に示した。この診断では、地盤情報量レベルを3とし、最悪条件を設定した。これらの入力が終了した時点で、システムは波動に対する計算（高圧ガス指針）、地盤変状に対する計算（低圧ガス指針）を行い、許容値と比較することによって画面に計算値、許容値と共に安全であるか否かを出力する。主管についてこれら一連の入力を行い出

```

rule bend1
{
  &l(goal1 operation=ベンド;object=BEND;ground=C_3b);
  &2(object name=&l.object;sort=3;object=number=0);
  -->
  -- 局所変数の設定
  local &NUM:integer,&E_B,&EPSO,&D,&T,&BETA,&L1:real;
  remove &2;
  &NUM=&2.number;
  &E_B=30000.0;&EPSO=0.03;&D=&B_DC[&NUM];&R=&B_R[&NUM];&T=&B_T[&NUM];
  -- BETAの計算
  &BETA=fbetacal_(&E_B,&D,&T); -- FORTRAN PROG.
  -- 曲管の水平変位吸収能力
  &BDEL_L[&MAIN][&NUM]=fbdellu_(&E_B,&EPSO,&D,&R,&T,&BETA); -- FORTRAN PROG.
};

DOUBLE PRECISION FUNCTION FBDEL_L(U,E,EPSO,D,R,T,BETA)
IMPLICIT REAL*(a-h,o-z)

PAI=3.141592

R2=(D*(D-2.0*T))/4.090.1
VN=1.65*RM**2/(T*0.1)/R

ALF1=PAI*VN*RBETA**2+2.0*BETA
ALF2=1.0-2.0*VN*RBETA**2
ALF=ALF1/ALF2

VLM=ATAN(ALF/(ALF-2.0*BETA))/BETA

GAM1=EXP(-BETA*VLM)
GAM2=ALF*SIN(BETA*VLM)/BETA
GAM3=COS(BETA*VLM)+SIN(BETA*VLM)
GAMMA=GAM1*(GAM2-GAM3)

GAMAB=ABS(GAMMA)
.
.
.

```

図-5 ルール型のデータベースに格納されているFORTRAN PROG.の一部

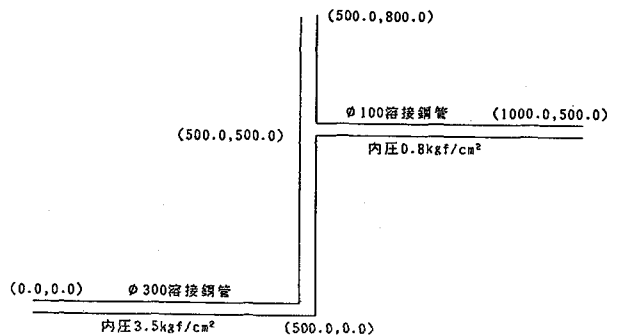


図-6 想定ガス管路モデル

力が終了した後、本想定ガス管路では主管にT字管が存在するので枝管についても同様の入力を行ない診断を実行した。

1. パイラインの終点座標を入力して下さい。
X = 0.0 Y = 0.0
2. パイラインの終点座標を入力して下さい。
X = 500.0 Y = 800.0
3. このライン上の曲げ部の数を入力して下さい。
1
4. 第1番目の曲げ部の座標を入力して下さい。
X = 500.0 Y = 0.0
5. 始点→→第1番目の曲げ部の区間に異形部はいくつありますか。
0
6. 第1番目の曲げ部→→終点の区間に異形部はいくつありますか。
1
7. このライン上の異形部の種類と座標を順に入力して下さい。
1. T 2. 構造物 3. バルブ
1
8. 座標は
X = 500.0 Y = 500.0

BEND	NUMBER	TYPE	1
PIPE	NUMBER	TYPE	13
9. 種類を下記の中から選択して下さい。

```

*****
曲げ部 1.K100 2.K150 3.K200 4.K300
*****
ガス配管 5.G100 6.G150 7.G200 8.G300
*****
GM 9.GM100 10.GM150 11.GM200 12.GM250
*****
*****

```
10. 曲げ角度を選択して下さい。
1. 11°1/4 2. 22°1/2 3. 45° 4. 90°
4
11. 管の内圧を入力して下さい。
3.8
12. この埋設地点に関する情報量を選択して下さい。
1) 地盤調査資料がある。
2) 一般公表の土地条件図もしくは表層地質図はある。
3) 地盤に関する資料無し
3
13. 現在手元にガス指針がありますか。
1. はい 2. いいえ
2
14. 診断場所を下記から選択して下さい。
1. 大阪 2. 京都 3. 和歌山 4. 兵庫
5. 滋賀 6. 三重
1
15. 市街地において公道に埋設されていますか。
1. はい 2. いいえ
2
16. 第1番目のT字管の種類を下記の中から選択して下さい。

```

*****
曲げ部 1.K100*80 2.K100*100 3.K150*100
*****
7.K200*200 8.K300*100 9.K300*150
*****
10.K300*200 11.K400*200 15.K400*300
*****
GM 17.G100*100 18.G150*100 19.G150*150
*****
20.G200*150 21.G200*200 22.G300*150
*****
23.G300*200 24.G300*300 25.G400*100
*****
GM 26.GM100*100 27.C300*300 28.C100*100
*****
GM 29.GM150*100 30.GM2150*100
*****
31.GM2150*150 32.GM200*150
*****
33.GM2300*150 34.GM300*150
*****
*****

```
17. この管の内圧を入力して下さい。
3.8
18. この埋設地点に関する情報量を選択して下さい。
1) 地盤調査資料がある。
2) 一般公表の土地条件図もしくは表層地質図はある。
3) 地盤に関する資料無し
3
19. 市街地において公道に埋設されていますか。
1. はい 2. いいえ
2
20. 第1番目の直管の種類を下記の中から選択して下さい。

```

*****
曲げ部 1.K100 2.K150 3.K200
*****
ガス配管 4.G100 5.G150 6.G200
*****
GM 7.GM100 8.GM150 9.GM200
*****
10.GM2150 12.GM250 13.GM2200
*****
*****

```
21. 継手部に張り出しはありますか。
1. はい 2. いいえ
2
22. 継手部に分岐はありますか。
1. はい 2. いいえ
2
23. 管の内圧を入力して下さい。
3.8

****20-23を診断単位数(=13)繰り返す
24. この埋設地点に関する情報量を選択して下さい。
1) 地盤調査資料がある。
2) 一般公表の土地条件図もしくは表層地質図はある。
3) 地盤に関する資料無し
3
25. 市街地において公道に埋設されていますか。
1. はい 2. いいえ
2

****24-25を直管の診断単位数(=13)繰り返す
****返す。
****枝管についても同様の入力を行う。

図-7 画面上での質疑応答

4. 結果及び今後の構想

システムの診断結果表現方法は、現段階では、診断値、許容値の表示と共に、安全であるか否かの2通りの診断結果を表示する。図-8にはこの診断結果の出力の一部を記載する。この想定ガス管路に関しては高圧ガス指針及び低圧ガス指針による耐震性評価では、最悪条件ですべて安全であると診断され妥当な結果が得られた。現在開発されている診断システムはガス導管指針に基づくもののみであり、地中管路の総合的な耐震診断エキスパートシステム開発研究のいわばプロトタイプである。今後、評価の基準として限界状態設計法の概念や、2次元非線形地震応答解析プログラムの導入を行う予定であり、各種情報入力の簡易化をはかる必要があると思われる。

参考文献:

- 1) C.L.Forgy : 人工知能用言語OPS83, N-ソルマテック(株)
- 2) 日本ガス協会: ガス導管耐震設計指針, 1982,3

```

>>>>>> 1番目の曲管は高圧ガス指針より安全であると判断されました。
>>>>>> 曲管のひずみ=4.71888e-06
>>>>>> 許容ひずみ =0.01
>>>>>> 1番目の曲管接続部は高圧ガス指針より安全であると判断されました。
>>>>>> 曲管接続部の歪=5.55127e-05
>>>>>> 許容ひずみ =0.01
>>>>>> 1番目の曲管は設計地盤変位に耐えられます。
>>>>>> 地盤変位吸収能力=64.6212 cm
>>>>>> 設計地盤変位 = 0.56 cm

```

図-8 診断結果の出力の一部