

## (140) パソコンを用いた道路交通施設の震後復旧支援エキスパートシステムの開発

京都大学大学院 学生員 東川直正 京都大学工学部 正員 山田 善一

京都大学工学部 正員 野田 茂 京都大学大学院 学生員 五十嵐 晃

1. まえがき 地震により、土木構造物が破損したとき、どのように復旧すべきかを短時間に決定しなければ、復旧が遅れたり、あるいは大きな2次災害にかかわることが考えられる。しかし、こういった問題に対する意志決定は専門家の経験によるところが大きい。そこで、本研究では、復旧を指示する末端の管理担当者を対象として、震後の復旧対策を検討する際に意志決定を支援するシステムとして、パソコン(PC-9801 VM4 を使用した)上で使えるエキスパートシステムを開発するものである。このシステムでは、専門家の知識をコンピュータにルールという形で蓄えておいて、末端の管理担当者が CRT画面から表示される質問に答えていけば、コンピュータがルールを組み合わせ推論を行い、復旧の方針と工法を表示できる。なお、プログラムの作成にはLISP言語(GCLISP)を用いている。また、システムの開発に当たっては、最近、建設省で作成された『土木構造物の震災復旧技術マニュアル(案)』<sup>1)</sup>を利用した。

2. 開発したシステムの構造(盛土被害の場合) 本研究で開発したシステムの構造は図1のようになる。このシステムは、地震後に収集された被害の情報に基づき、入力された事実を入れるデータベースと、図2に示すような専門家の知識をルールという形で書いたルールベース、復旧の方針や工法などを蓄えてある答えベースを含んでいる。

今、データベースに、「平地盛土が地震によって被害を受け、被害は目視で確認でき、それほど大きな被害レベルではないが、今後2次災害の危険性がありそうだ」、ということが事実としてあったとする。この事実を、データベースに、(盛土被害)(平地盛土)(小さい)(有りそう)という形で、わかりやすく日本語で表示されている。

また、ルールベースは、図2のようなルールの集合からなる。このとき、インタープリター<sup>2)</sup>は、データベースの事実とルールベースにあるルールのif以下とを、1つずつ比べ、同じものを探し出す。これによって、データベースの事実に基づいたルールをルールベースの中から1つ選び出せる。この例では、図2よりわかるように、ルール2のif以下に適合するので、ルール2が選び出される。ルールが選び出されると、そのルールのthen以下が作動する。ルール2の場合では、(\*del '(小さい))、(\*del '(有りそう))、(\*deposit '(2段階))という3つがある。ここで、(\*del....)は....の部分データベースから削除せよということ、(deposit....)はデータベースに....を加えよということを意味する。従って、(小さい)と(有りそう)がデータベースから削除され、(2段階)が加わって、データベースは(盛土被害)(平地盛土)(2段階)に変更される。ルール2は、初めのデータベースの情報から、2次災害の危険性を考え、応急的な復旧を行ってから、

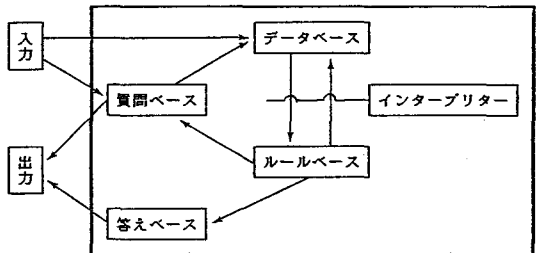


図1 本研究でのシステムの構造

```
:ルール1: (if (盛土被害) (平地盛土) (大きい)
              then (*del '(大きい))
                  (*deposit '(2段階)))
:ルール2: (if (盛土被害) (平地盛土) (小さい) (有りそう)
              then (*del '(小さい))
                  (*del '(有りそう))
                  (*deposit '(2段階)))
:
:ルール9: (if (盛土被害) (平地盛土) (1段階)
              then (*load "c:\\Xtoga\\X\\ans15.lsp")
                  (*which-pattern))
:ルール10: (if (盛土被害) (平地盛土) (2段階)
              then (*load "c:\\Xtoga\\X\\ans12.lsp")
                  (*which-pattern))
:ルール11: (if (盛土被害) (傾斜盛土) (1段階)
              then (*load "c:\\Xtoga\\X\\ans12.lsp")
                  (*which-pattern))
:
:ルール19: (if (パターン-1)
              then (*houkai-kiretu)
                  (*higai-rank-1))
:ルール20: (if (パターン-2) (崩壊) (ランクa)
              then (*答え-5) (*stop))
:
```

図2 ルールベースの一部

本格的な復旧を行う2段階の復旧をすべきだということを意味しており、この場合にはこのような専門家の判断を適用したことになる。

さて、上記のように、データベースが変化すると、インタープリターは、再び、データベースの事実と、ルールのif以下とを比べ、同じものを探し出し、適合するルールを見つける。そこで、図2に示すルール10が選出され、then以下が作動する。図中、(\*load...)は、図1に示すような答えの集合である答えベースから、2段階復旧に関する答えの集合だけを呼び出し、答えを絞り込むことを示している。ここで、(\*which-pattern ...)は、CRT画面を通し、利用者に質問を行うことを意味する。この場合の質問は図1の質問ベースに入っている。

質問ベースは図3のような質問の集合よりなる。(\*which-pattern...)の例で示すと、どのパターンの壊れ方を画面を通して質問してくるので、利用者は図3中のa～eのパターン1～5の中から、どの壊れ方を指示する。例えば、パターン-1を選んで、aを入力すると、その入力事実がデータベースに入り、データベースは(パターン-1)に変わる。そして、インタープリターにより、再び、図2のルール19が選出され、then以下の(\*houkai-kiretu)や(\*higai-rank-1)という質問が質問ベースから出され、入力を待つことになる。入力を行うと、データベースの情報が変わり、前と同じことが繰り返され、ルールが次々に適用される。最終的には、答えベースから呼び出された答えの集合の中から、最も適するものを選びだし、答えがCRT画面上に出力される。

**3. 本研究で開発したシステムの作動法** 本研究の震後復旧支援システムは、末端の管理担当者を対象としている。そのため、プログラムの開発に当たっては、全国でかなり普及しているパソコンのPC-9801 VM4を使用した。ここでは、特に、プログラム中で日本語が使えたり、知識を表現するのに優れた利点を有していることから、エキスパートシステムの開発によく使われる計算機言語のLISPを採用した。

開発したシステムを作動させるには、PC-9801 (512KB)、MS-DOS のシステムディスク1枚、開発したシステムディスク1枚、LISP言語を使用するためのGCLISPのディスク1枚が必要である。プログラムの作動に当たっては、AドライブにMS-DOSのシステムディスクを入れ、MS-DOSを立ち上げ、その領域のもとで、GCLISPのディスクと入れかえ、GCLISP IIと入力するとLISP領域に入る(GCLISPは、かなりのメモリを使うため、最低512KBのパソコンが必要である)。そこで、開発したディスクからプログラムを呼び出すことにより、エキスパートシステムの実行が可能となる。なお、本研究では、PC-9801 VM4を使用しているため、全てのプログラムをハードディスク(20MB)に拡

納した。

**4. 本システムの適用例** 平地盛土の被害を想定し、実際に本システムを適用した例を示す。例として、図4のように、車が通れないほどひどい亀裂が入っている場合を想定する。

まず、本システムを立ち上げると、写真1のように、被害を受けた道路施設が、a. 道路橋 b. 道路盛土 c. 斜面、切土のり面 d. トンネルのどれかを質問してくる。このように

CRT画面を通して出されるそれぞれの質問には、a～dのような選択枝が同時に示される。それに対して、a, b, c, dのどれかをパソコンのキーボードを通して選ぶ。ここでは、盛土の被害を対象としているので、bを選ぶで入力する。すると、写真2のように、その被害が平地盛土の被害が傾斜盛

```
(defun which-pattern ()
  (home)
  (princ "どのパターンの壊れ方ですか
  次のうちaからeで選びなさい
  a. パターン-1 法面の流出、崩壊又は亀裂段差の発生が道路車線まで
  及び、法面に及ぼされるもの。
  盛土のすべり崩壊又は亀裂、段差の発生が道路車線ま
  で及ぼすもの。
  b. パターン-2 破壊が基礎地盤にまで及び盛土形状が原形をとどめな
  いのもの。
  c. パターン-3 盛土の様な沈下に伴って、盛土形状をある程度保ち
  つつ変形したもの。
  d. パターン-4 構造物背面の盛土が沈下及び亀裂を起こしたもの。")
  (setq a 'パターン-1)
  (setq b 'パターン-2)
  (setq c 'パターン-3)
  (setq d 'パターン-4)
  (setq e 'パターン-5)
  (text-color *answer-color*)
  (tprpri) (princ " ")
  (setq atai (eval (read)))
  (setq $database (cons (cons atai ()) ()))
  (text-color *question-color*))
```

図3 質問ベースの一部

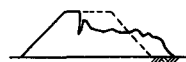


図4 盛土の被害例

土の被害かという次の質問が示されるので、aの平地盛土を選ぶ。その後、写真3～写真8に示すように、次々に質問が出される。ここでは、以下に、その質問と想定した被害に応じて選んだ選択枝を示す。

写真3：『目視で通行できそうな被災の規模であるかどうか』という質問に対して、想定した被害の条件から判断してできそうにないので、a. 大きい を選択。

写真4：『2次災害の危険性がありそうかなさそうか』という質問に対して、今後、何も復旧をしないと、亀裂がさらに大きくなりそうなので、a. 有りそうを選択。

写真5：『本復旧にどれくらいの期間がかかるか』という質問である。ここで、本復旧とは元の状態に戻すまでの復旧を言う。選択枝としては、a. 1月未満とb. 1月以上の2つが用意されている。そこで、1月もかからないだろうと判断してaを選択。

写真6：写真には、盛土被害を被害モードに応じてパターン化し、どのパターンの被害かを選択枝として示している。この例では、崩壊・亀裂などが道路車線まで及んでいるパターンbが該当するとしてbを選択。

写真7：『道路が崩壊しているか、亀裂が入っているか』という質問に対し、大きな亀裂が入っていると考えて、bを選択。

写真8：被害ランクを問う質問である。亀裂の幅と段差の大きさに対し、a. ランクa 亀裂幅30cmを越え、かつ段差量50cmを越えたもの、b. ランクb 亀裂幅30cm以下、又は段差量50cm以下の時、という2つの具体的な数値を含んだ選択枝が示される。実際に被害を受けた事例に対しては、被害調査の報告に基づいて入力すればよい。ここではbを選択。

以上のように、次々に質問に答えると、写真9～写真11のような解答が得られる。質問の中には、写真3や写真4のようにあいまいな質問があって、質問に答えにくい場合があるので、c. わからないという項目を入れておいた。

末端の管理担当者は、被害調査によって得られた情報に基づき、次々に出される質問に対して、選択枝の中から選んで答えるという簡単な操作により、写真9～11のような解答を得ることになる。これらの解答に

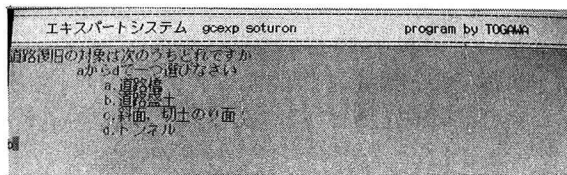


写真 1

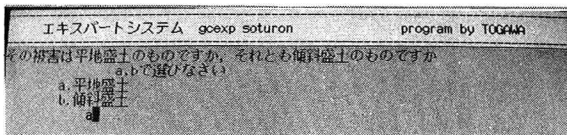


写真 2

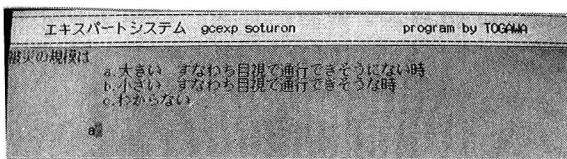


写真 3

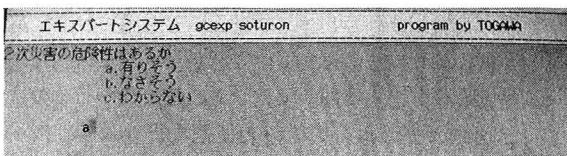


写真 4

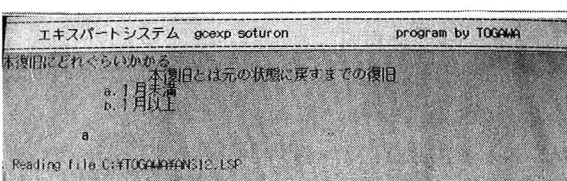


写真 5

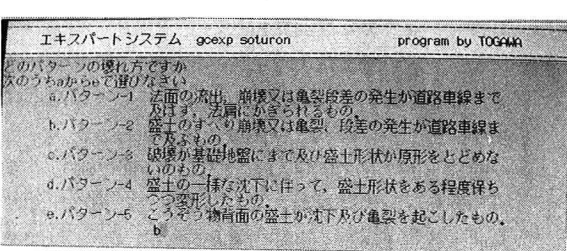


写真 6

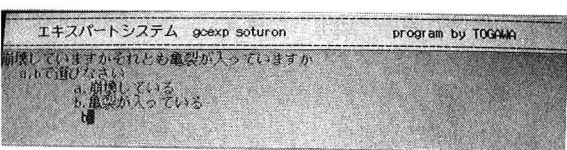


写真 7

よれば、道路に対する2次災害の危険性の解除や通行の確保のために応急的な復旧をまず行い、その後、本格的な復旧を行うという2段階の復旧をするように指示が与えられる。応急復旧には、写真9と10に示すように、(1) 雨水侵入による盛土崩壊防止対策、(2) 交通による盛土崩壊防止対策、(3) 通行の確保(幅員の確保や迂回路の設定など)、(4) 通行の安全確保(段差・陥没処理など)の4つの項目がある。各項目には、ビニールシートを張る工法や仮設排水路を設けるなどの細かい工法が示されている。また、本復旧に関しても、写真10と11に示すように、(1) 雨水処理、(2) 道路機能の確保、(3) 盛土が問題となる場合の盛土安定性確保、(4) 地盤が問題となる場合の盛土安定性確保について、各種の細かい工法が示されている。これらの結果に基づいて、末端の管理担当者は復旧を行うことになる。

ここでは、被害の一例を想定した結果を示した。盛土が被害を受けたときに本システムを用いれば、道路の機能的な面を考えた復旧方針が示される。例えば、被害を受けても機能が果たせるときには、もとの状態に戻すまでの本復旧のみの復旧を行うように指示がで、機能が果たせないときや2次災害の危険性があるときには、まず、道路機能の回復を考えた応急復旧をしてから、本復旧をするという2段階の復旧をするように指示がでる。また、それぞれの復旧に対しては各種の復旧工法が示される。

**5. あとがき** 震後の道路復旧の際には、専門家の経験によって行うことが多い。そこで、本研究では、道路復旧の意志決定を支援するシステムとしてのエキスパートシステムを開発した。

本例で示してきたように、あいまいな質問や判断がまだ残っており、本システムは必ずしも実務的とは言えない。また、パソコン領域の限界から、あまり大きな問題は扱えない。しかし、CRT 画面に美しく表示し、質問は選択枝から選ぶという簡単な操作にすることにより、本研究では使用性の高いシステムを開発することができた。本システムは、質問にさえ答えていけば、一応細かい復旧工法まで示してくれるという利点を有している。

今後、現場で使用者が適宜システムを修正したり、専門家の協力のもとで、復旧に関する深い知識を得て修正することにより、システム自体の能力が増し、実用性の高いものになると考えられる。

**参考文献** 1) 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト 震災構造物の復旧技術の開発報告書、第2巻土木構造物の震災復旧技術マニュアル(案)、昭和61年3月。2) 安西祐一郎・佐伯 胖・無藤 隆・難波和明；LISPで学ぶ認知心理学1. 学習と2. 問題解決、東京大学出版会、1981年9月と1982年2月。

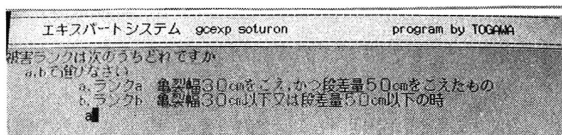


写真 8



写真 9

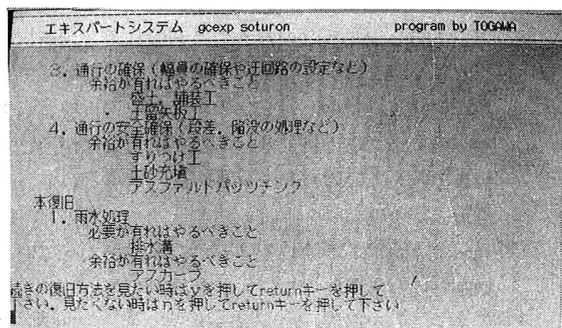


写真 10

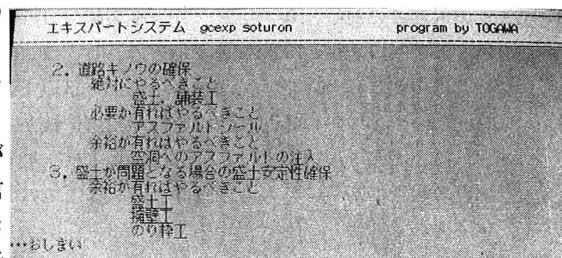


写真 11