

(165) エキスパートシステムによる地震時 被害橋梁の被災度判定と復旧法の選択

建設省 沓掛敏夫 京都大学工学部 家村浩和
京都大学工学部 山田善一 京都大学工学部 伊津野和行

1. はじめに

地震により部分的破壊、耐力低下を生じた土木構造物の被災度判定や最適な復旧法の選択を速やかに行うことは、震後対策上非常に重要である。しかし応急復旧の場合においては時間的制約のため大ざっぱな判断で工法選択が決められる傾向にあり、さらに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ので、短時間に適切な決定を下すのは想像以上に困難なことだと思われる。

こうしたことから本研究では、現場技術者が行う震後対策の意志決定支援を目的として専門家の知識をコンピュータに蓄積し、地震により被害を受けた土木構造物の被災度判定及び復旧工法選定を指示するエキスパートシステムの開発を試みた。さらにプログラムの改良が容易というエキスパートシステムの特徴に着目して、本システムを実地震により被災した土木構造物に適用し、実際の復旧作業と比較検討をすることでより実用性のあるシステムへと改良を試みた。

2. エキスパートシステムの構造（橋梁の場合）

本研究で開発したエキスパートシステムの構造を図1に示す。システムの構造は事実集合を蓄えるデータベース、知識集合を蓄えるルールベース、さらに質問と答えが書かれたベースとにわかれている。

質問ベースは耐荷力、走行性、機能面に関する質問にわかれており、その要素を表1に示す。使用者は図2に示すように、画面上に現れる質問の中から被害に相当する選択枝を入力すればよい。このように質問の

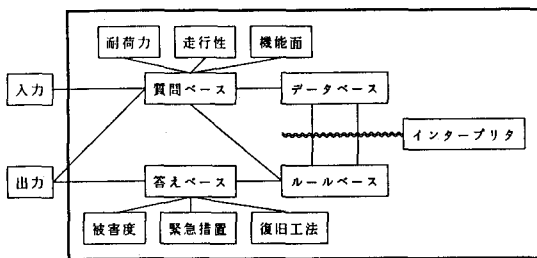


図1 本研究で開発したエキスパートシステムの構造

上部構造の材料は次のどちらですか
a : コンクリート
b : 鋼構造

a (を選択する。)

コンクリート上部工の被害状況

- a : 殆ど被害なし
- b : 支点上主桁のひび割れ。
- c : 支点上主桁の大きなひび割れ（1cm程度）及び剝離。
- d : 支点上主桁の大きなひび割れ（1cm程度）及び脱落。

c (を選択する。)

図2 質問ベースの一部

表1 質問要素の一覧

質問項目	
基礎	支承部
橋脚	機能性
橋台	復旧可能性
上部構造	歩行性
沓座	取付盛り土

```

ルール 7 : if (C).(b) then (*out b)
                      (*in 通行規制)
ルール 8 : if (C).(c) then (*out c)
                      (*in 全面通行止)
ルール 9 : if (D) then (*out c)
                      (*in 全面通行止)
ルール29 : if (C).(全面通行止).(可能)
            then (*out C).(答え-14)
ルール37 : if (全面通行止).(可能)
            then ($応急復旧)
            ($本復旧).(END)
    
```

図3 ルールベースの一部

表現は①外観から判断して答えられる。②「大きなひび割れ」と言った曖昧な表現には目安となる具体的な値をいれる。といった点を考慮に入れ、専門の知識がない人でも簡単に答えられかつその答から被害の状況、規模を把握できるように配慮した。答えベースは被害度、緊急措置、復旧工法の集合からなっている。

ルールベースは図3に示すようにif...then...形式で書かれた知識の集合体であり、このルールベースとデータベースとの間でマッチングが行われ、結論が得られる。図4には具体例としてPrincipe Bridgeの被害状況を得る過程でマッチしたルールとデータベース内の変化の一部を示した。図5はこの出力結果である。

3. システムの検討

上記のエキスパートシステムのフローチャートを図6に示す。これを1990年のフィリピン地震で被害を受けた橋梁を中心に10橋梁に適用し、現場で取られた復旧と比較、検討した。その結果の1部を表2に示す。これを見ると緊急措置の面で両者の間に違いがみられが、これは本システムの緊急措置の種類が少なく、柔軟性に欠けるためと考えられる。これより改良方針として

- ①緊急措置の区分け見直し
- ②落橋の可能性が小さい場合の緊急措置の拡張

の2点を考える。まず①については、先のシステムでは緊急措置の区分けが3種類しかなく、特に通行規制の種類の提示がなかったので、ここでは図7のように緊急措置の区分けを増やした。

次に②であるが、これに対してはD（大被害）と判断された橋梁のうちで落橋の可能性が小さいものに関しては図8に示すように走行性に関する被災度判定も行うようにした。

このように図6のフローチャートの一部を改良するためルールベース、および答えベースを若干修正した。この結果、改良後の震後対策は表3のようになり実際に行われた復旧とほぼ同じとなる。

このように本システムはメインプログラムを変えることなく容易にフローを変更できるため柔軟かつ迅速

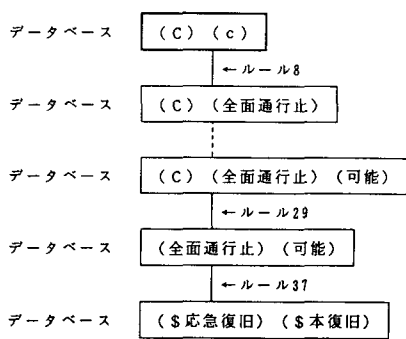


図4 データベース内の変化

Principe Bridge
被害状況

- ・ バイルベントの鉄筋露出
- ・ アプローチ部沈下
- ・ 桁端にせん断クラック発生

この橋梁の被害度は、C-中被害です。走行面での安全性も確保できないため、緊急措置として全面通行止めになさい。復旧は直接本復旧を行い、工法は以下に示すものから適当なものを選定しなさい。

**** 応急復旧工法 ****

橋脚構造：橋脚ひび割れ部に樹脂注入、パテ補修を行ないなさい。

上部構造：主桁部分をジャッキ、支保工等により仮受けをし、ひび割れ部に樹脂注入、パテ補修を行ないなさい。必要に応じて落橋防止対策もしなさい。

取付盛土：土砂充填等により、段差を修正しなさい。

***** 本復旧工法 *****

橋脚の耐荷力増強を目的として復旧しなさい。工法としては以下の中から適切なものを選択しなさい。

- ・ R C 巻立て
- ・ 鋼板巻立て
- ・ ストレス導入
- ・ 取り替え

上部構造の被害箇所に応じて、以下の工法から適切なものを選択しなさい。

- ・ R C 巻立て
- ・ 鋼板接着
- ・ 架け替え

図5 システムの実行結果の例

に震後処理が決定できる。したがって、本システムは現場技術者が行う意志決定の重要なアシスタントとして機能することが十分期待できる。

4. まとめ

1) 本研究の本質は、システムの適用対象を単なる架空のモデルではなく、実際の被災橋梁を使用してその妥当性を吟味したところにある。これによりエキスパートシステムの有効性、内容変更の柔軟性が示され、実際の使用に耐え得ることが証明されたことは意義深い。

2) 地震後の道路網の機能回復という広い視野から橋梁の復旧を考える場合は、OD交通量、復旧作業の難易度の定量化等さらに多くの専門的知識が必要となってくる。今後これらの知識を加味することで、さらに実用的なシステムの構築が可能であり将来性、発展性のあるものである。

参考文献 (財)国土開発技術研究センター；土木構造物の震災復旧技術マニュアル(案)、昭和61年3月。

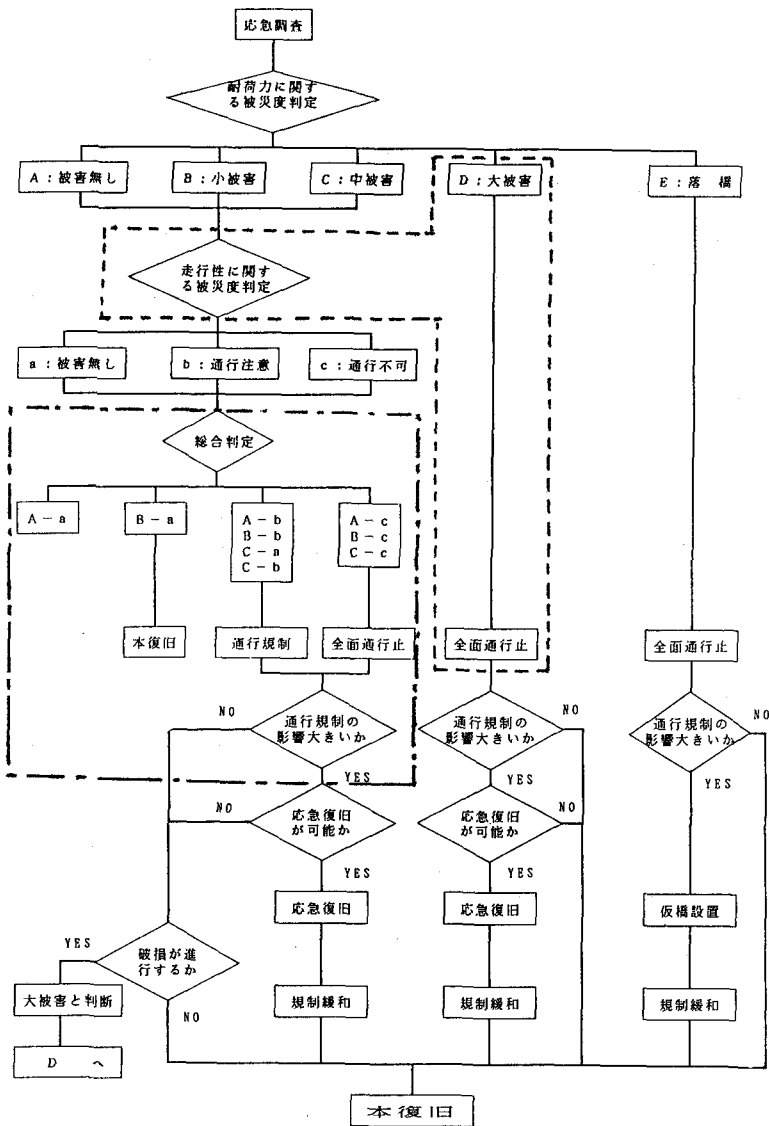


図6 本エキスパートシステムのフローチャート

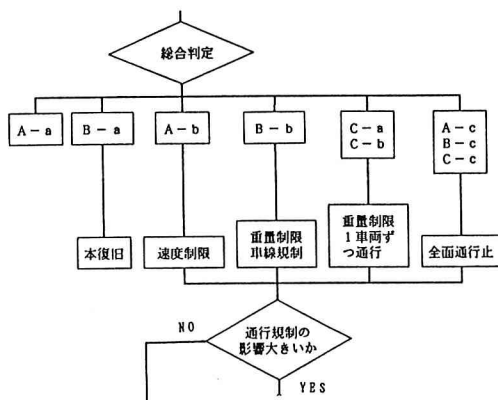


図7 改良フローチャートの
1部（方針①）

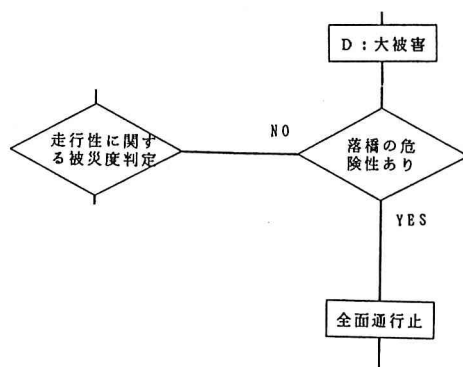


図8 改良フローチャートの
1部（方針②）

表3 改良後の緊急措置（本研究）

	Cayanga Bridge
改良前	全面通行止 ↓
改良後	重量制限 一車両ずつ通行
	Sicsican Bridge
改良前	全面通行止 ↓
改良後	通行規制

表2 現場震後対策と
本研究震後対策の比較

		被害度	緊急措置	復旧工法
Cayanga Bridge	現場	C	車両交通規制	橋脚補修
	本研究	C	全面通行止	橋脚補修
Calvo Bridge	現場	E	全面通行止	仮橋設置
	本研究	E	全面通行止	仮橋設置
Sicsican Bridge	現場	D	通行規制	落橋防止対策
	本研究	D	全面通行止	落橋防止対策
八千代橋	現場	D	全面通行止	迂回路建設
	本研究	D	全面通行止	落橋防止
Embarcadero Bridge	現場	D	全面通行止	落橋防止対策
	本研究	D	全面通行止	落橋防止対策
Gayaman Bridge	現場	A	必要無し	必要無し
	本研究	A	必要無し	必要無し



写真 Sicsican橋の交通規制