

(60) PC橋の架設における安全管理システムの開発

山口大学工学部 正会員 宮本 文徳
 関西大学総合情報学部 広兼 道幸
 住友建設(株)大阪支店 正会員 植田 卓文
 (株)ピー・エス大阪支店 正会員 ○藤岡 靖

1. はじめに

近年、わが国において橋梁は年々長大化し、その架設は高精度化とともに複雑なプロセスを経るようになり、安全管理は架設における深刻な問題となってきている。また、橋梁架設の現場では、安全管理に関わる様々な対策が実施されているにも関わらず、ここ数年の事故の発生件数はほぼ横這い状態¹⁾で、減っているとは言えず、同じ事故が繰り返し起きていることが指摘されている。この理由としては、建設現場における経験豊富な技術者の不足、専門技術の高度化とブラックボックス化、技術継承の不備、および安全意識の低下などが挙げられる。また、橋梁架設時の重大事故は、一つの要因で事故が発生するものではなく、複数の要因が複雑に絡み合うことによって発生するものと考えられる。すなわち、現場における安全管理者は、重大事故の元となる要因を見つけ出し、その要因から次にどのような現象が発生する可能性が高いかを予測し、これを繰り返すことによって最終的に重大事故が発生するか否かの迅速かつ正確な判断が要求される²⁾。

本研究では、PC橋の架設時に対する安全管理を系統的に行うためのエキスパートシステムを構築した。

システム構築の対象とした工法は、PC桁架設工法の中でも施工例の多いエレクションガーダー架設工法である。対象としたエレクションガーダー架設工法について、架設工程や架設時に必要となる設備などをまとめ、工法の特徴を十分に理解した上で、専門家の経験にもとづく知識をインタビューで獲得することによって、重大事故が発生すると考えられる要因を抽出した。抽出した要因に対するチェック内容や各要因間の関係を階層構造にまとめ、「Visual Basic Ver.5.0」を使って安全管理システムの構築を行った。

2. 事故発生要因と階層化

システムを構築するために、エレクションガーダー架設工法における事故例について詳細に調査し、重大事故を誘発すると考えられる現象(事故発生要因)をまとめた。まず、図-1のような架設フローを作成し、

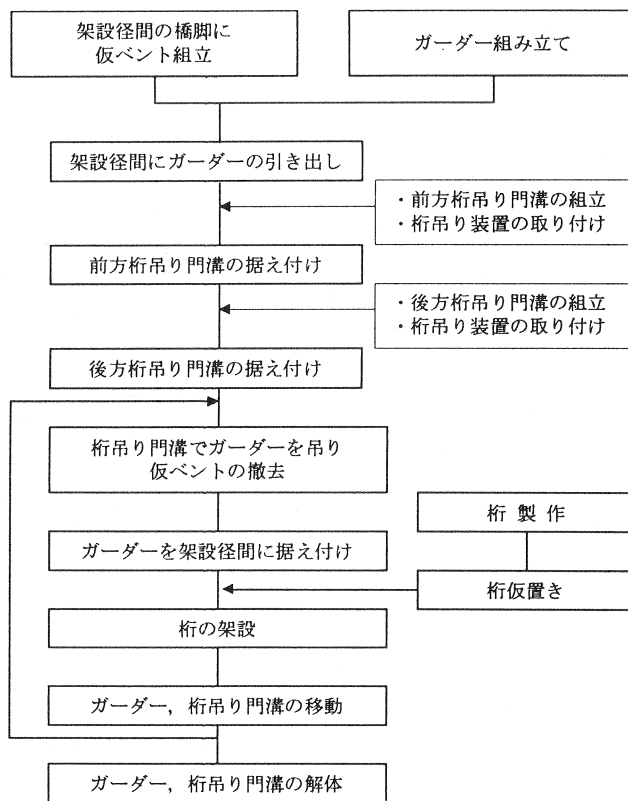


図-1 エレクションガーダー工法の架設フロー

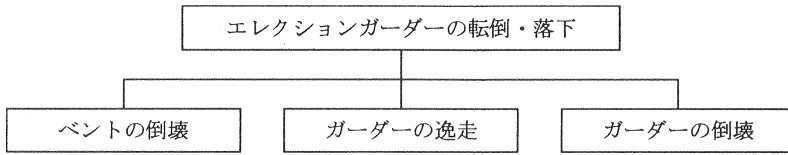


図-2 エレクションガーダーの転倒・落下についての階層構造

どの架設段階で事故が発生する可能性があるかを把握することにした。次に、事故の発生形態に着目した事故発生要因の整理を行い、その要因を発生形態ごとに階層構造で表現する方法をとった。そこで、まず事故の発生形態にどのようなものがあるかを把握するために、エレクションガーダー工法の過去の事故例を整理した。事故例の調査結果より、エレクションガーダーの転倒・落下が最終的な重大事故の発生形態の1つであることが分かった。そこで、エレクションガーダーの転倒・落下に至るまでの過程を整理したところ、図-2に示すように「ベントの倒壊」、「ガーダーの逸走」、および「ガーダーの倒壊」が主な誘因であると考えられる。以下では、これらの中で「ベントの倒壊」という現象の発生を予測するためのシステムの構築について述べる。

まず、専門家へのインタビュー、過去の事故例、および架設設備の特徴などから「ベントの倒壊」という現象の発生に関連すると考えられる架設設備を抽出し、それぞれの架設設備に対して事故発生要因をまとめた。これらの事故発生要因を事前にチェックして事故の発生を予測することができれば、重大事故を事前に防ぐことができるものと考え、全ての事故発生要因について、表-1に一部を示すように、架設設備、事故発生要因、およびチェックすべき項目(チェック内容)をまとめた。表-1はワイヤーという架設設備についてまとめたもので、事故発生要因としてはワイヤーの損傷とワイヤーの耐力不足が考えられる。さらに、ワイヤーの耐力不足を防ぐには、ワイヤー耐力の安全率やワイヤー径がチェック内容として考えられる。

表-1 「ベントの倒壊」に関する事故発生要因とチェック内容

架設設備	事故発生要因	チェック内容
②ワイヤー破断	ワイヤーの損傷	・ワイヤーは新品である
		・ワイヤーは転用している
	ワイヤーの耐力不足	・わからない
		・ワイヤーの点検を行った
ワイヤーの耐力不足	ワイヤーの耐力不足	・ワイヤーの点検を行っていない
		・ワイヤーの点検を確認していない
	ワイヤーの耐力不足	・ワイヤー耐力の安全率は6以上である
		・ワイヤー耐力の安全率は6以下である
ワイヤーの耐力不足	・ワイヤー耐力の安全率は確認していない	
	・ワイヤー径は計画通りである	
ワイヤーの耐力不足	・ワイヤー径は計画通りではない	
	・ワイヤー径は確認していない	

次に、以上のようにまとめた事故発生要因が、どのように絡み合って「ベントの倒壊」という現象が発生するのかを把握するために、事故発生要因間の関連を図-3に示すような階層構造で表現した。ここでは、まず表-1に示したチェック内容を、図-3に示す階層構造の最下層に配置させ、これらの内容をチェックすることによって1つ上位の階層に位置する事故発生要因の評価を行う。例えば、最下層に配置されたワイヤー耐力の安全率やワイヤー径をチェックすることにより、これらの1つ上位の階層に位置するワイヤーの

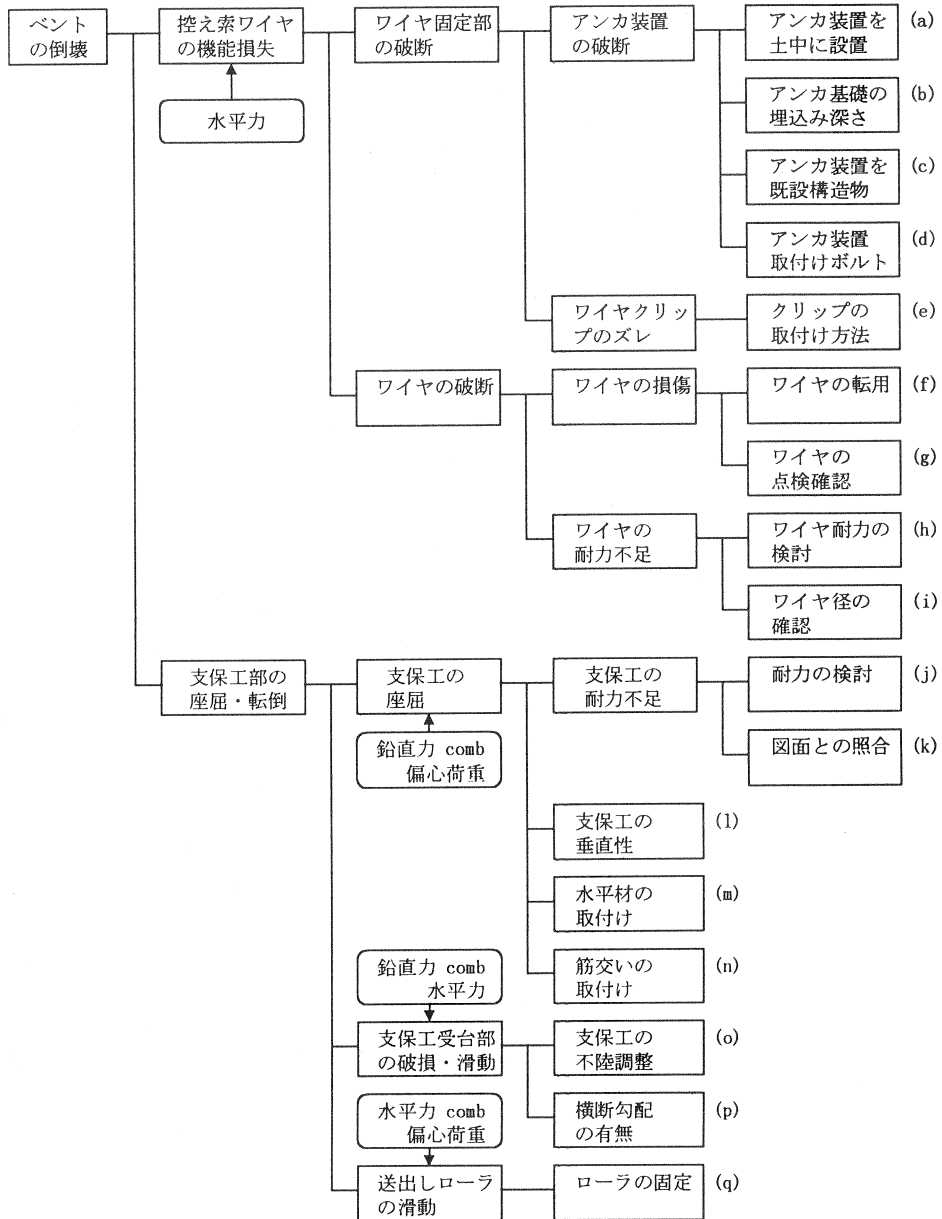


図-3 「ベントの倒壊」に関する事故発生要因の階層構造

耐力不足を評価する。このように1つ1つ上位の階層へと評価の対象を移動させていくことによって、最終的には最上位に位置する「ベントの倒壊」という現象が発生する可能性を予測することができる。

3. 安全管理システムの構築

本安全管理システムは、利用者として架設現場の監督者や安全管理者を想定した。現場にパソコンを持ち込み、現場技術者への防災意識を普及させるとともに、重大事故が発生するか否かの予測ができる実用的なシステムの構築を目標とした。また、重大事故が発生するか否かの2値で予測するのではなく、-1.0 から+1.0 までの値を設定することができる、確信度と呼ばれる値を用いて重大事故が発生する可能性(危険度)を予測することができるように配慮した。

このようなシステムを構築するために、最下層に配置されたチェック内容が、上位に位置する事故発生要因を誘発する影響の度合いを確信度と呼ばれる値で表現した。これらの確信度の値は表-2に示すような形でまとめた。表-2に示した数値が確信度であり、これは2つのチェック内容(ワイヤー耐力の検討、ワイヤー径の確認)がワイヤーの耐力不足に与える影響の度合いをまとめたものである。例えば、ワイヤー耐力の安全率が6以上でワイヤー径が計画と一致している場合、これらのチェック内容がワイヤーの耐力不足に与える影響の度合いは確信度 0.00 とした。同様に、ワイヤー耐力の安全率が6以上でワイヤー径を確認していない場合、これらのチェック内容がワイヤーの耐力不足に与える影響の度合いは確信度 0.15 とした。このようにすべてのチェック内容に対する確信度を決定してシステムを構築した。

表-2 ワイヤーの耐力不足に関する確信度

(i)ワイヤー径の確認	(h)ワイヤー耐力の検討					
	安全率6以上		安全率6以下		検討してない	
一致している	◎	0.00	×	0.30	×	0.30
一致していない	×	0.30	×	0.30	×	0.30
確認していない	△	0.15	×	0.30	×	0.30

本研究で構築した安全管理システムの流れを図-4に示す。まず、重大事故に至ると考えられる「ベントの倒壊」、「ガーダーの逸走」、および「ガーダーの倒壊」の中から発生を予測する現象を1つ選択する。選択した現象について、上述したチェック内容に関する図-5に示すような質問項目を画面に表示する。表示された質問項目について回答し、その回答から得られる確信度を集計することによって、上位の階層に位置する事故発生要因の確信度を順次求めていく。全ての質問が終了すると、図-6に示すように最初に選択した現象が発生する可能性を予測した結果が確信度の値とともに表示される。

4. 検討結果

本システムを構築する上で得られた主な結果を以下に示す。

- 過去の事故例などを整理することで、重大事故の発生するメカニズムが明らかになり、事故発生に影響する要因の抽出ができた。また、これらの要因を階層構造で表現することによって、事故発生要因間の関連も明確にできた。
- システムを構築するための知識を、従来からよく使われてきたルール形式でなく、テーブル形式で表現した。テーブル形式の知識表現方法を用いることで、事故発生に影響を与える要因間の関連を容易に表現することができ、整理した知識も視覚的に分かり易いものとなった。

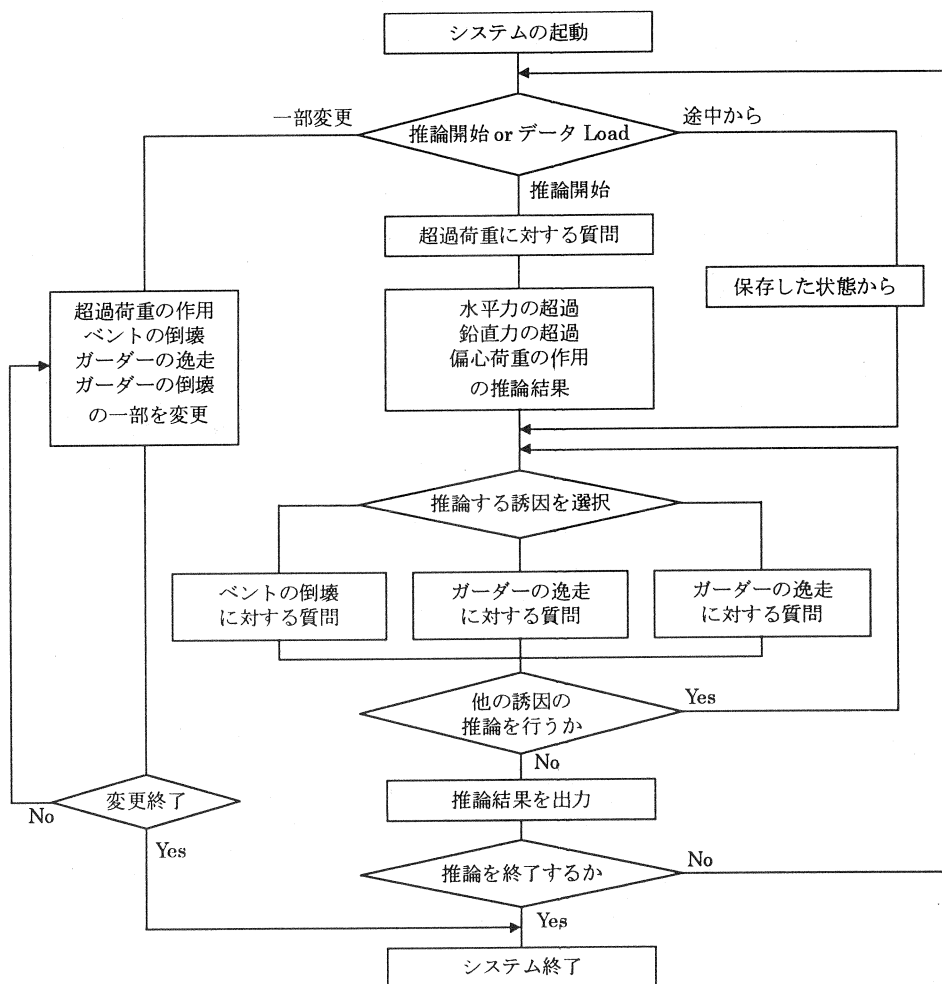


図-4 PC橋安全管理システムの推論過程フローチャート

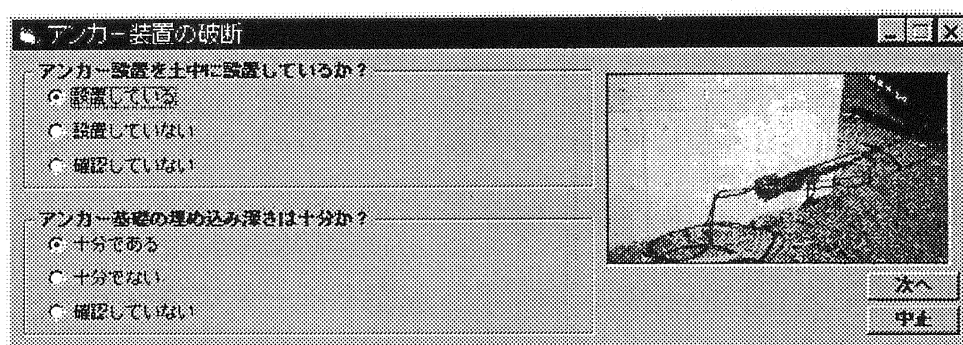


図-5 アンカー装置の破断に対する質問画面（ベントの倒壊）

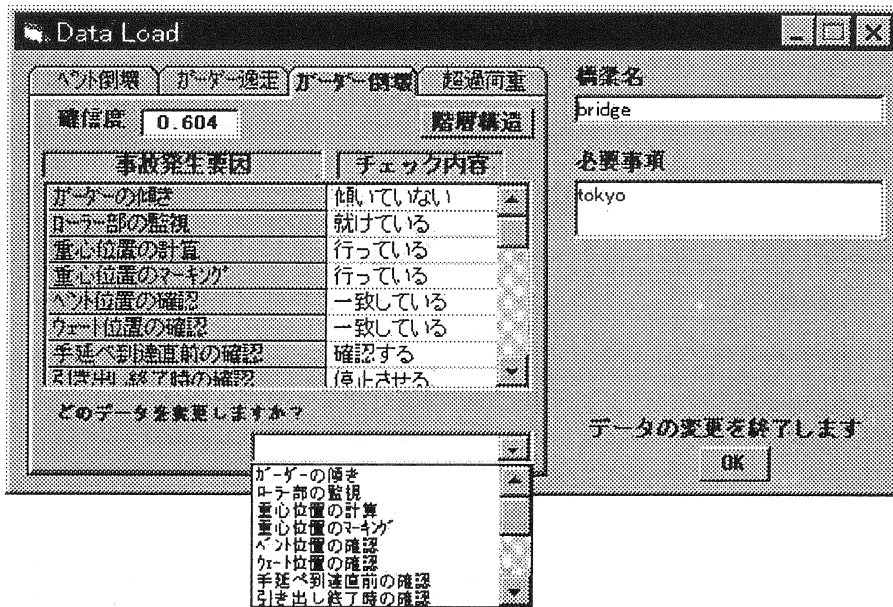


図-6 事故発生要因の確信度(ガーターの倒壊)

5. おわりに

PC橋の架設に用いられるプレキャストPC桁架設工法の中で、比較的施工例の多いエレクトリオンガーター架設工法を対象として、安全管理システムを構築した。システムを構築するために、専門家へのインタビュー、過去の事故例、および架設設備の特徴などから事故発生要因とそのチェック内容をまとめ、さらに、事故発生要因間の関連を階層構造で表現した。これらの知識は、経験的知識の継承や現場での安全意識の普及などに十分活用できるものとなった。

参考文献

- 1) (社)土木学会：土木と労働安全，土木学会誌，Vol.80-5，pp.3，1995.
- 2) (社)土木学会関西支部：共同研究グループ報告書「橋梁架設における安全管理システム化に関する研究」，pp.35-82，1997.