

FTA と階層分析法を用いた水力鋼構造物の診断に関する基礎的検討

室蘭工業大学 正会員 矢吹 信喜
室蘭工業大学大学院 学会員 ○平鍋 智史
電源開発（株） 吉村 豊

1. はじめに

わが国において、既設水力発電設備は老朽化が進み、その維持管理面においては、設備の延命化と維持修繕費の低減が求められ、一方、豊富な経験を有する熟練技術者の不足から、合理的かつ高度な技術管理能力が必要になっている。従って、これまでに蓄積した経験・知識等技術的ノウハウを体系化し、非熟練技術者でも、的確な判断によって設備管理が行えるよう、システム化を図っていくことが重要である。

そこで、水圧鉄管を対象として、要求される基本的な性能を洗い出し、その基本性能を損なうような事故や不具合（Fault）を明瞭化し、その上で Fault が発生する原因を Tree 構造で表現する FTA（Fault Tree Analysis）を使用して、事故の要因分析の体系化を行うこととした。FTA は、頂上事象の原因を究明していく方法として優れており、各事象の発生確率が分かっている場合は、各ノードに確率（値）を代入していく事により、原因の起こり易さや重要度が分かる。しかし、水圧鉄管のような構造物では、破壊の事例が少ないため確率を定量的に定める事が困難である。一方、熟練技術者らは、発生確率は分からなくても、各階層の中で原因としての相対的な重要度を定性的に知っていることが多い。そこで、本研究では、FTA の階層構造に着目し、熟練者に評価してもらう階層分析法（AHP：Analytic Hierarchy Process）によって原因の重要度の評価と計算を行い、診断を支援するシステムを構築することとした。

2. FTA とは

信頼評価技法には信頼予測法、故障形態解析法及び信頼度成長技法の 3 つがある。このうち故障形態解析法の代表的なものは、FMEA（Failure Mode and Effect Analysis）と FTA がある。これらは設計された信頼性や安全性を設計目標と比較検討し、潜在的な故障や誤使用によるトラブル発生を早期発見し、事前に対策をとる事を目標として開発された方法である。本研究では、システムにおける故障からスタートして原因へと機能的解析を通じて系統的に掘り下げていく方法である FTA を適用した。FTA では FT 図という論理ゲート（Logical Gate）記号を用いて、望ましくない事象とその原因となる事象との因果関係を論理的に結び付け、第三者が容易に理解できるように簡潔に分かりやすく表現されている。

3. 階層分析法（AHP）とは

AHP とは主観的判断とシステムアプローチを混合させた意思決定法の一つである。この方法を用いることにより、決定に関連した要素を階層構造により把握し、様々な対立概念や尺度の異なる要素も比較できるだけでなく、計量不可能なフィーリングや経験まで統合して扱える。

AHP の手順は、問題を分析して階層化し、その各レベルの要素をすぐ上のレベルの各要素から見えて一対比較し、一対比較行列を作成する。次に、その行列から重要度を計算し、各要素の重要度をまとめ総合的な重要度を計算する。重要度は、まず各階層における一対比較行列の幾何平均を求め、さらに 1 で正規化して求める。図-1 は、Web 上での一対比較の入力画面である。

4. FTA と AHP を統合したシステムを用いた水圧鉄管への試験的適用

本研究では、水圧鉄管に関する FT 図をもとに、階層構造を分かりやすくデータ形式化できる XML（Extensible Markup Language）文書を作成した。その一部を図-2 に示す。次に、XML 文書を読み込むために XML パーサ

キーワード：水圧鉄管，FTA，AHP，階層分析法，XML，リスクマネジメント。

〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 TEL 0143-46-5219 FAX 0143-46-5218

Figure 1 shows a web browser window displaying a form for inputting importance values for various causes of water leakage. The form is organized into sections A, B, and C, each with a table for pairwise comparison.

A. 漏水がある	
1. 管胴から漏水	1
2. 伸縮管・フランジ継手・バルブから漏水	1/3

B. 管胴が破壊	
1. 管胴が破壊	1
2. 管胴に貫通部が発生	1/5

B. 伸縮管・フランジ継手・バルブから漏水	
1. シール圧力が不足	1
2. 異物が挟在	1/3
3. シール面が損傷	1/3

C. 管胴が破壊	
1. 継手が破壊	1
2. 母材が破壊	1/3

図-1 重要度の対比較の入力画面

Figure 2 shows the XML code for the FTA diagram. The code defines the hierarchy of causes and effects, including the top event '漏水がある' (Leakage) and its various causes like '管胴から漏水' (Leakage from pipe body) and '伸縮管・フランジ継手・バルブからの漏水' (Leakage from expansion joint, flange, and valve).

図-2 FT図をもとに作成したXML文書

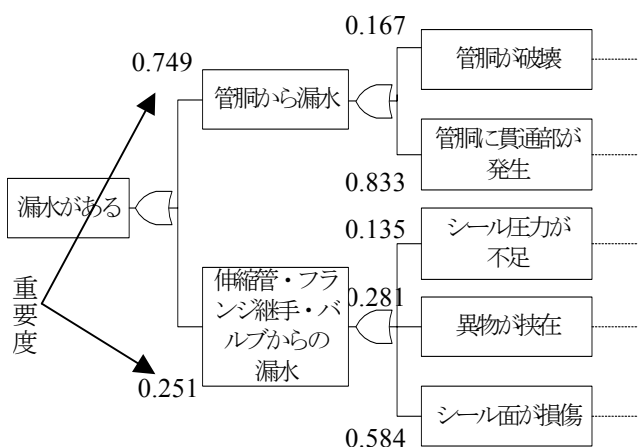


図-3 FT図上での重要度の表示

Figure 4 shows the final results of the FTA analysis. It displays the top event '漏水がある' and its various causes, along with the importance values assigned to each node. The screen also shows the branching process and the final cause.

図-4 最終原因や分岐過程や重要度の表示画面

を適用し、Web上で稼動するJAVA言語のプログラムを作成するためにサーブレット（Servlet）を用いてシステムを開発した。さらにFTAによるFT図（図-3）のように、各階層における原因の重要度を合理的に評価するためにAHPを使った。尚、ここに示された重要度の値は、試験的なものである。

本研究では、「漏水がある」という水圧鉄管の頂上事象を対象とした。この頂上事象による最下層の一次原因の個数は全部で33個ある。従って、33通りのルートが存在し、1つのルートについて頂上事象から最下層までの原因の重要度を全て幾何平均していき、33個の幾何平均値を求める。求められた各一次原因の幾何平均値（この場合は33個の値）に対して1で正規化し、その正規化された33個の値を大きい方から順位をつけていくことで、その原因の重要性を把握することができる。また、クライアントにはシステムの指示に従って、アンケート方式で原因をチェックしてもらい、このチェックされた項目により、最終的な一次原因まで到達した経路がいくつか残る。ここで、1つの事例として3つ残ったとする。この3つは、頂上事象から一次原因まで正しくチェックされて分岐されてきたことを意味していて、図-4のように画面に表示される。

5. おわりに

本研究では、水圧鉄管におけるFT図をもとに、XMLに変換する事によって、頂上事象の原因を突き止めるシステムの開発した。また、AHPを用いて、各階層の原因の重要度を求めることができ、その原因の診断のサポートを行うシステムを開発した。さらに、FTAとAHPを連動させる事によって、経験の少ない土木技術者が事故に遭遇したとき、的確な対応をしていけるように、すばやく簡便に実行する事が可能な診断を支援するシステムを開発した。今後は、様々な頂上事象に対応できるようなシステムを構築し、リスクマネジメントへと発展させていきたいと考えている。