

灌漑用水路の施設管理者により実施可能な大規模地震対策の評価 Evaluation of measures against large-scale earthquake that can be carried out by irrigation canal facility managers

○大久保天*, 立石信次*, 中村和正*

OHKUBO Takashi*, TATEISHI Shinji*, NAKAMURA Kazumasa*

1. はじめに

土地改良施設を対象に、事業継続計画（BCP）の普及・啓発を図る取り組みが進められている。BCPが従来の防災計画と異なる特徴のひとつは、災害対応に必要な資源（人、情報通信、設備機器、インフラ、エネルギー）の被災を考慮した対策を計画することである。しかし、施設管理の現場では、対策の実施に投入できる経費に限界があることから、実際には、施設管理者が経費をかけずに実施できる対策に限定せざるを得ないものと考えられる。それゆえ、対策実施の要否を検討する際には、「施設管理者により実施可能な対策のみで、どの程度の効果が期待できるのか」ということが議論されることになる。しかし、既往のBCP策定マニュアルには、資源の被災により起こり得るリスクや対策の効果を計画段階で評価する方法の記載はほとんどない。また、これまでも、災害対応計画における対策の効果を評価した事例はみあたらない。そこで、本研究では、灌漑用水路の施設管理者により実施可能な大規模地震対策の効果を定量的に評価することを目的とする。本研究では、信頼性工学におけるリスク解析手法のひとつであるFTA（Fault Tree Analysis）手法を用いて、頭首工と開水路からなる典型的な灌漑用水路施設の災害対応計画を対象に、大規模地震時における施設管理者の災害対応行動を阻害するリスクおよび対策効果を評価したので報告する。

2. 方法

FTA手法とは、解析対象における望ましくない事象（頂上事象）を出発点として、その発生原因となる事象（中間事象）を、Table 1に示す記号を用いたFT図と呼ばれる樹形図に整理していくことで、根本的な原因となる事象（基本事象）を特定し、その基本事象に対する対策を明らかにする方法である。解析対象施設における聞き取りによれば、大規模地震発生後、施設の被災が確認されれば、ただちに施設管理者は取水ゲートを閉鎖して、被害の拡大を防止するということがある。そこで、本研究では、解析対象とする頂上事象を「取水ゲートの閉鎖不能」と設定した。この場合の

Table 1 FT図に使用される記号
Symbols used for Fault Tree

記号	名称	内容
□	頂上事象	解析対象とする事象
◻	中間事象	上位事象の原因となる事象
○	基本事象	根本的な原因となる事象
∨	ORゲート	下位事象のひとつ以上が発生すれば上位事象が発生
∩	ANDゲート	下位事象のすべてが発生する場合に上位事象が発生

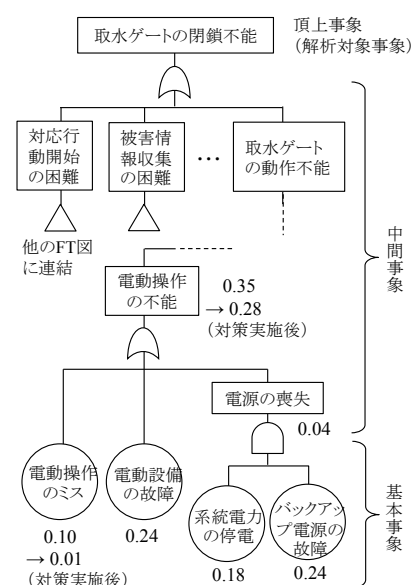


Fig. 1 「取水ゲート閉鎖の不能」を頂上事象とするFT図
Fault Tree with the entry of “inability to close the intake gate” as the top event

* 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所, Civil Engineering Research Institute for Cold Region ,PWRI
キーワード: 大規模地震, 災害対応, FTA

FT 図の一部を **Fig.1** に示す。頂上事象の下位に災害対応の各工程が遂行不能となる事象が列挙される。それらの各事象が発現する原因事象を連鎖的に挙げていき、根本的な発生原因となる基本事象を特定した。

また、図中に記す数字は FT 図による上位事象の発生確率の算出例を示す。FT 図における任意の事象の発生確率 P は、その直下の N 個の事象の発生確率 P_1, P_2, \dots, P_N を用いて、AND ゲートでは (1) 式により、OR ゲートでは (2) 式により算出される。

$$P = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_N \quad \dots (1)$$

$$P = 1 - (1 - P_1) \times (1 - P_2) \times \dots \times (1 - P_N) \quad \dots (2)$$

すなわち、各基本事象の発生確率が設定できれば、(1) 式および (2) 式を用いて上位事象の発生確率を順次計算していくことにより、最終的に頂上事象の発生確率を算出することができる。**Fig.1** に例示したように、各基本事象に発生確率を与えると、それらの上位事象である「電動操作の不能」の発生確率は 0.35 と計算できる。また、この場合、基本事象「電動操作のミス」に対する対策を実施することにより、その発生確率が対策実施前の 1/10 に低減したと仮定すれば、「電動操作の不能」の発生確率は 0.28 に低減される。このように、対策実施前後における発生確率から、対策効果を定量的に評価することができる。

3. 結果および考察

FT 図により明確となった基本事象に対して、適切な対策を講じることができれば、頂上事象の発生確率を低減することができる。ただし、先に述べたように、現実には、施設管理の現場における予算にみあった対策のみが、当面のところ実施可能であると考えられるべきである。この観点から抽出した対策を **Table 2** に示す。各基本事象の発生確率を、過去の震災時における被害率のデータなどから推定し、対策の実施により低減される頂上事象の発生確率を試算した。その結果を **Fig. 2** に示す。対策実施前の頂上事象の発生確率は、震度 6 弱では 0.20、震度 6 強では 0.48、震度 7 では 0.91 となった。現状では、震度 6 強をこえる震災となれば、取水ゲートの閉鎖が困難になるおそれがある。一方、施設管理者により実施可能な対策を講じることによって、震度 6 強での頂上事象の発生確率は 0.3 にまで低減し、その対策の効果が期待できる。しかし、震度 7 では対策実施による大幅な発生確率の低減は期待できない。

4. まとめ

震度 6 強以下の震災時には、一定の対策効果が期待できることから、**Table 2** に示す対策を講じることが有意義な計画である。また、震度 7 における対策効果は限定的であることから、取水ゲートが閉鎖できない場合に備えた対応計画の策定が必要である。

Table 2 施設管理者により実施可能な対策
Measures that can be carried out by facility managers

基本事象	対策
電話機の使用不能	ヒューマンエラー対策
防災無線の使用不能	
電動操作のミス	
手動操作のミス	
監視モニターの損傷	転倒防止対策 故障防止対策
観測計器の不具合	
水位データの誤表示	
水位データの不足	水位観測設備の増設

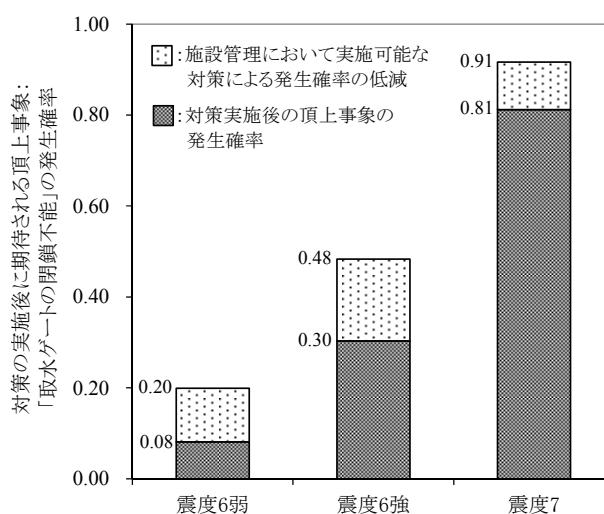


Fig. 2 対策実施の前後における頂上事象の発生確率
Probability of the top event with and without the measures