

## 大規模地震時における農業用水路の被害を想定した 災害対応に関するリスクの分析

### Risk Analysis on the Disaster Response that Assumed Damage of an Irrigation Canal at the Time of a Large-scale Earthquake

大久保 天\* 本村 由紀央\*\* 中村 和正\*\*\*

OHKUBO Takashi, HOMMURA Yukio and NAKAMURA Kazumasa

大規模地震に対する備えには対策の多重化が必要である。施設構造物の耐震設計を進める一方で、万一施設が被災してもその後の災害対応により被害を最小限に抑止する減災対策が望まれる。本研究では、大規模な農業用水路施設の管理における災害対応力の強化を目的として、実際の幹線用水路施設を対象に、大規模地震時の災害対応を阻害するリスクの特定を行った。現在計画されている災害対応の流れを模式化した図上に、大規模地震時に想定される被害リスクを記したリスクマップを作成することで、大規模地震時の災害対応を阻害するリスクの全体像を把握した。さらに、FTA（フォルトツリー解析）手法を適用して、リスクマップ上に挙げたリスクの発現原因となるリスク源を追究した。その結果、施設管理の範疇において対策可能なリスク源とともに、地域住民との間で対策を議論しなければならないリスク源が明らかになった。

《キーワード：大規模地震、災害対応、農業用水路、リスク、リスクマップ、FTA》

It is necessary to prepare multiple actions to mitigate damage caused by large-scale earthquakes. Structures have been recently designed to be earthquake-resistant. Still, those facilities need to be prepared to mitigate possible damage through appropriate disaster responses. This study identifies the risks that may inhibit disaster responses for a main irrigation canal, toward improving disaster response capabilities for the management of large-scale irrigation canals. We figured out the overall trend of risks by developing a risk map. The map was designed to describe assumed damage caused by a large-scale earthquake on a flow chart of disaster responses that have been planned. Furthermore, we applied Fault Tree Analysis (FTA) to determine the sources of damage identified on the risk map. Not only did the results clarify the risk sources that can currently be dealt with within the framework of existing facility management, but the results also clarified additional risk sources for which measures need to be discussed with local residents as a part of a regional disaster prevention plan.

《Keywords : Large-scale earthquake, Disaster response, Irrigation canal, Risk, Risk map, FTA》

## 1. はじめに

東日本大震災をはじめ過去の大規模地震災害では、多くの農業水利施設が被災した<sup>1)2)</sup>。大規模な農業水利施設の被害は、営農へ大きな影響を及ぼすとともに、その被害の一部は交通障害や水害となって住民生活へも影響した<sup>3)</sup>。とくに、地域住民の生活圏内に所在する大規模な農業水利施設においては、万一の大規模地震の発生に備えて具体的な対策を講じておくことが必要である。

阪神・淡路大震災以降、レベル2地震動、すなわち「構造物の供用期間中に発生する確率は低いものの極めて激しい地震動<sup>4)</sup>」に対する施設の耐震設計が進められてきた<sup>5)6)</sup>。しかし、大規模地震に伴う災害過程は、不確実性をはらむ複雑な現象である。それゆえ、耐震設計により担保される施設の耐震性や安全性には限界がある。そこで、万一施設が被災しても、その後の災害対応により被害を最小限に抑止する減災対策が重要となる<sup>7)</sup>。しかし、大規模地震時には、その災害対応に必要な資源となる人、情報通信、設備機器、道路などのインフラ、エネルギーもまた被災することが考えられる。そのため、災害対応そのものが機能不全に陥る状況が想定される。ところが、現在策定されている震災時の災害対応計画のほとんどは、必要な資源がすべて健全に機能することを前提としている<sup>8)</sup>。それゆえ、大規模地震時には計画どおりの災害対応が実施できるとは限らない。

以上のことから、大規模地震に対する備えとして、施設の耐震化とともに、万一の施設の被災を想定して災害対応力を現状よりも強化する施策が必要である。こうした防災対策を組織的に進める方法のひとつとしてリスクマネジメントがある。リスクマネジメントとは、対象を取り巻くリスクを網羅的に把握して、そのリスクに対する適切な対策を講じることで、目的達成の確度を高める方法である<sup>9)</sup>。そこで筆者らは、農業用水路施設における災害対応を対象としたリスクマネジメントの構築に着手した。本研究は、そのための第1段階である震災時の災害対応を阻害するリスクの特定を目的とする。具体的には、次の手順で作業を進めた。

- (1) 実際の幹線農業用水路施設(以下、「幹線用水路施設」)を対象として、施設管理者への聞き取り調査を行い、大規模地震時に想定される用水路施設における災害過程および災害対応の流れを整理した。
- (2) 現在計画されている災害対応の流れ図上に、大規模地震時に想定される被害リスクを記すリスクマ

ップを作成して、震災時の災害対応を阻害するリスクの全体像を把握した。

- (3) リスクマップ上に挙げたリスクの発現原因となるリスク源を明らかにするため、FTA(フォルトツリー解析)手法による原因分析を行った。

以下、(1)については2章で、(2)、(3)については3章で述べる。

## 2. 大規模地震時に想定される災害過程および災害対応

### 2. 1 聞き取り調査の実施方法

調査対象とした幹線用水路施設は、北海道内にある水田灌漑用のコンクリートフリユーム水路である。その延長は約29km、最大計画通水量は21m<sup>3</sup>/s、受益面積は約4,100haである。聞き取り調査の相手方は、同幹線用水路を管理する土地改良区の管理者である。主な聞き取り内容は、震災時に想定される被害状況および管理者の対応行動である。その聞き取り調査結果に基づいて、幹線用水路施設における大規模地震時の災害過程および災害対応の流れを整理した。

### 2. 2 大規模地震時に想定される災害過程

調査対象とした幹線水路施設が大規模地震による被害を受けた場合に想定される災害過程について整理した。図-1にその災害過程の模式図を示す。まず地震発生による一次災害として、①水路構造物の損壊、②法面の崩壊、③広域的な停電が考えられる。水路の損壊は法面の崩壊を外力にして引き起こされる場合も考えられる。水路が損壊すれば、そこから決壊する可能

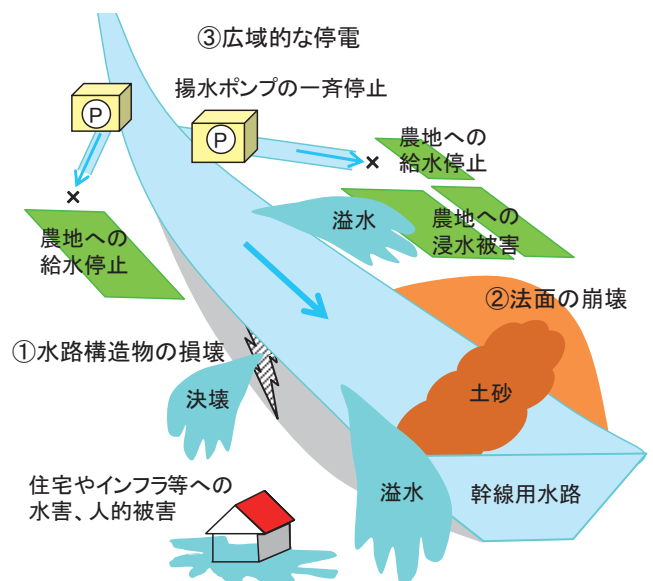


図-1 大規模地震時に想定される災害過程

性がある。また、法面の崩壊による土砂が水路を閉塞する場合、あるいは停電に伴う揚水ポンプの一斉停止により水路内の流量が放流量を上回る場合には、水路からの溢水が考えられる。このような水路の決壊あるいは水位上昇による溢水は、農地の浸水被害や土壤流亡、周辺住宅地における水害といった二次災害を引き起こすおそれがある。

### 2. 3 大規模地震時に想定される災害対応の流れ

管理者への聞き取り調査によれば、対象とする幹線用水路施設の供用開始から現在に至るまで大規模な地震災害を経験したことはないが、管理者の間では地震発生後に行うべき災害対応行動を認識しているということであった。以下、管理者が想定している災害対応の流れについて整理する。

前節において述べたように、大規模地震時の被害に伴い水路の決壊または水路からの溢水が生じるおそれがある。このような事態が万一発生した場合において管理者が直ちにとるべき対応行動は、二次災害の脅威となる水害リスクの元を断つこと、すなわち頭首工における取水ゲートを緊急閉鎖することである。図-2に地震発生直後から取水ゲートの緊急閉鎖に至るまでの災害対応の流れを示す。ここでは、災害対応に必要な資源である人、情報通信、設備機器およびインフラ、エネルギーを色分けして、それら相互の関連性を矢印で示した。それぞれの資源が機能し、かつ連携するこ

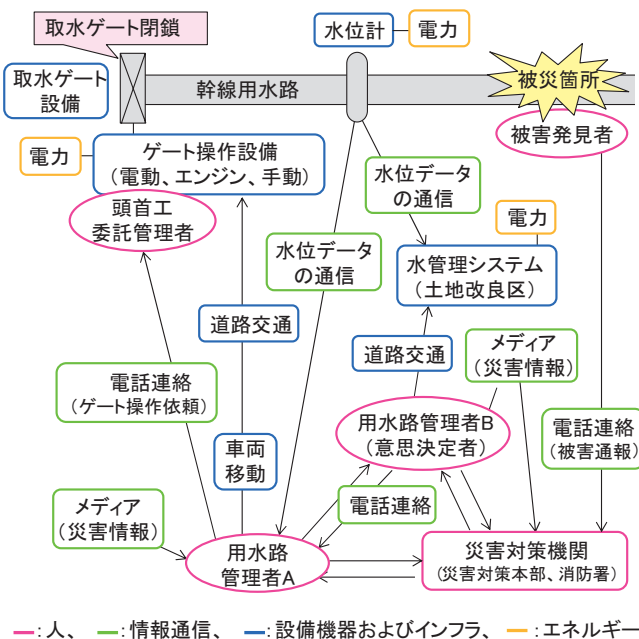


図-2 地震発生直後から取水ゲート緊急閉鎖に至るまでの災害対応の流れ

とで災害対応が成立していることが分かる。この場合の管理者の対応行動は、次のとおりである。

地震発生後、震度4以上であれば、管理者Aは意思決定者である管理者Bと連絡をとり合い警戒体制を確立する。次に管理者らは幹線用水路施設の状況を把握するため、水路内の数カ所に設置されている水位計のデータを確認する。管理者らは土地改良区に設置される監視モニターのほか、各自が所持する携帯電話においても水位を確認することができる。水位が急激に低下するなど水位データに異常がみられた場合あるいはそれより先に被害通報があった場合に、管理者Bは用水路の通水を停止すると判断し、直ちに取水ゲートの閉鎖に向けた対応行動を管理者Aに指示する。管理者Aは、まず頭首工の管理者に連絡して取水ゲートの閉鎖を依頼する。依頼を受けた頭首工の管理者は、取水ゲートの閉鎖を直ちに実行する。ただし、頭首工の管理者が不在の場合は、管理者A自らが頭首工へ急行して取水ゲートの閉鎖を行うことになる。管理者は以上の対応行動の所要時間を、最短で約30分、管理者Aが頭首工へ急行する場合で約90分と想定している。

### 3. 大規模地震時における災害対応を阻害するリスクの特定

#### 3. 1 リスクマップの作成

万一の大規模地震時において、計画通り災害対応が問題なく遂行できれば、幹線用水路施設の被害に起因する二次災害を抑制することができる。しかし、大規模地震時には災害対応に必要な資源の被災が考えられることから、災害対応自体が機能不全となる状況が想定される。この場合のリスク特定を行うにあたり、まず、本研究におけるリスクの概念について整理する。図-3にリスクの概念図を示す。「リスク」とは「望ましくない事象が生じる可能性」と定義する<sup>10)</sup>。そのリスクをもたらすものを「ハザード」という。ハザードである地震動により、災害対応の遂行を阻害するリスクが生じる。ただし、リスクは事象ではなく可能性

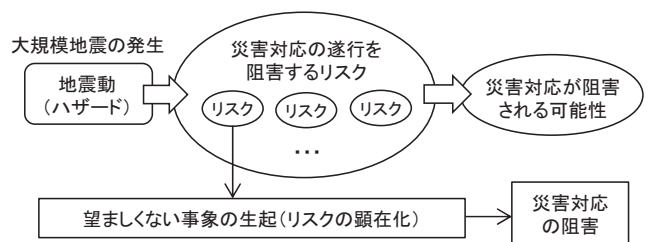


図-3 リスクの概念図

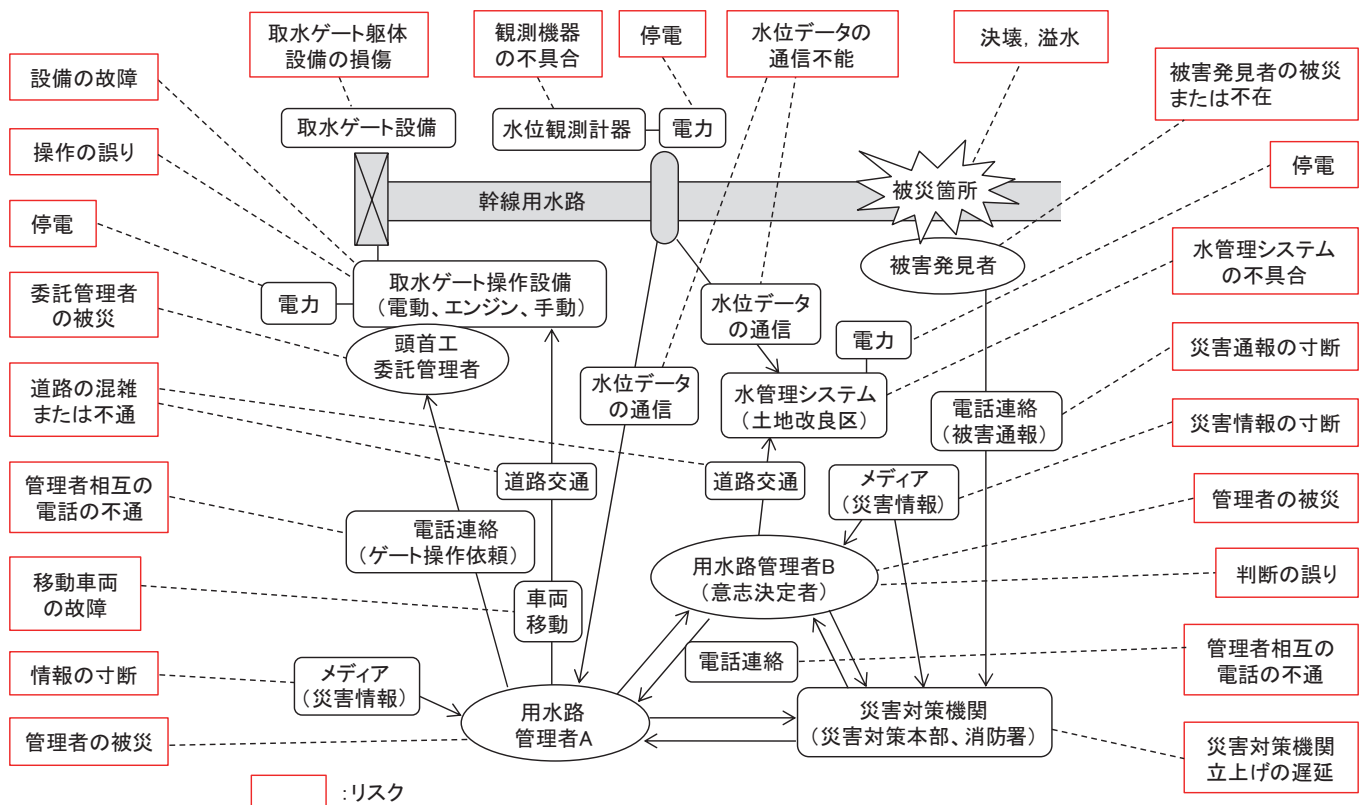


図-4 大規模地震発生直後から取水ゲート緊急閉鎖に至るまでの災害対応におけるリスクマップ

であるので、リスクが存在するだけでは実際の災害対応に支障は生じない。あるリスクにおける「望ましくない事象(例えば、停電など)」が生起してリスクが現実に顕在化した結果、実際に災害対応の遂行が阻害されることになる。

以上のリスクの概念を踏まえて、大規模地震時における災害対応を阻害するリスクを示したリスクマップを作成した。図-4にリスクマップの一例を示す。この図は、図-2に示した地震発生直後から取水ゲートの緊急閉鎖に至るまでの災害対応におけるリスクマップである。災害対応を構成する資源の機能不全が、災害対応を阻害する直接的なリスクであることから、それを各資源から赤線枠の吹き出しにより記した。ただし、ここでは記載の便宜上、リスクをその「望ましくない事象」で記している。例えば、リスク「停電が生じる可能性」は「停電」と記す。まず、管理者自身が被災することで初動対応が困難となる場合が考えられる。水位データの通信不能や電話による連絡不通が生じれば、管理者らに重要な災害情報が入らず、そのため管理者Bは的確な意思決定の判断材料を得られない。また、管理者Aから頭首工の管理者へ取水ゲート閉鎖の連絡をするものの不通である場合や、管理者A自身

が頭首工へ向かうとしても現地へ行くまでの道路が渋滞あるいは不通となる状況も考えられる。さらに取水ゲートを閉鎖する段階においては、停電によるゲートの電動操作不能やゲート躯体設備そのものが損傷を受けて、ゲートが動作不能となる場合などが考えられる。

以上のリスクマップの作成により、地震発生から取水ゲート閉鎖に至る災害対応を阻害する様々なリスクが明確となった。こうしたリスクマップを用いて、各対応過程上のリスクの所在とその全体像を視覚的に把握できる。それはリスク特定の第一段階であり、関係者間において、対象とする災害対応過程に関する共通認識を図るための作業である。しかし、リスクマップは現場管理者の机上シミュレーションのツールとしても役立てられるものと考えられる。リスクマップ上のリスクを予見しながら、そのリスクの事象発現時の対応を思考実験することで、管理者は現実の震災に対してある程度柔軟に対応する準備ができるものと期待される。ただし、ここで示したリスクマップが完成形ではない。管理者の日常管理や関係者間において議論を深める中で、さらに多種多様なリスクの記載が可能である。また、リスクマップは直感的に分かりやすいことが重要である。とくに管理者が抱く災害対応のイメ

ージと合致したものであることが望ましい。そうした実用的な表現方法の検討も必要であろう。

### 3. 2 FTA 手法を用いたリスク源の特定

リスクマップの作成では、現在計画されている災害対応を模式化した図上において、震災時の主要なリスクを網羅的に挙げた。しかし、リスクの背後には、さらにそのリスクが生じる原因となるリスクの連鎖が存在する。例えば、道路が不通となるリスクの原因として、道路法面崩壊や路盤の損壊などのリスクが考えられる。こうした各リスクの発現原因となるリスクを詳細に洗い出していくためには、リスクマップの作成による直感的手法のみでは限界がある。また、原因となるリスクの連鎖を追求していけば、新たな多数のリスクが挙げられていくことになる。その多数のリスクをリスクマップ上に適切に整理していくことにも限界がある。FTA 手法は、分析対象とする望ましくない事象から順次演繹的に原因を追求していくことで、直感的に把握困難なリスクを明確にする方法である<sup>11)</sup>。それは膨大かつ複雑なリスクの発現原因の連鎖を整理でき、そのリスク間の関連性やリスクの発現経路を視覚的に確認できる利点を有する。それゆえ、リスクマップ上に挙げたリスクについて、FTA 手法を用いてさらに原因分析を進めることで、そのリスクの発現原因となるリスク源を明らかにしていけるものと考えられる。

表-1 FT 図作成に必要な記号

記号	名称	内容
□	頂上事象 中間事象	頂上事象: 分析対象とする事象 中間事象: 頂上事象と基本事象の間の事象
◇	未展開事象	展開可能であるが必要なレベルに達したことにより展開を中断した事象
○	基本事象	これ以上展開不能な最小レベルの事象
∩	OR記号	入力事象のうち1つが発生する場合に出力事象が発生
∪	AND記号	入力事象のすべてが発生する場合にのみ出力事象が発生
△	入力記号	他のFT図が接続することを示す記号

FTA 手法は、表-1 に示す記号を用いた FT 図の作成を基本とする。本論では、その具体例として「判断の誤り(被害が発生しているにも関わらず、取水ゲートを閉鎖しないと判断してしまう場合)」を頂上事象とする FT 図を図-5 に示す。ただし、本研究ではリスク源の追究を施設管理の範囲までとし、それを超えたりリスクが FT 図上に得られた時点で、それをリスク源として未展開事象で表した。また、リスクマップ上の記載と同様に、ここでもリスクをその「望ましくない事象」で記した。「被害が発生しているにも関わらず、取水ゲートを閉鎖しないと誤った判断をしてしまう直接的な原因は、「被害情報がない」かつ幹線水路

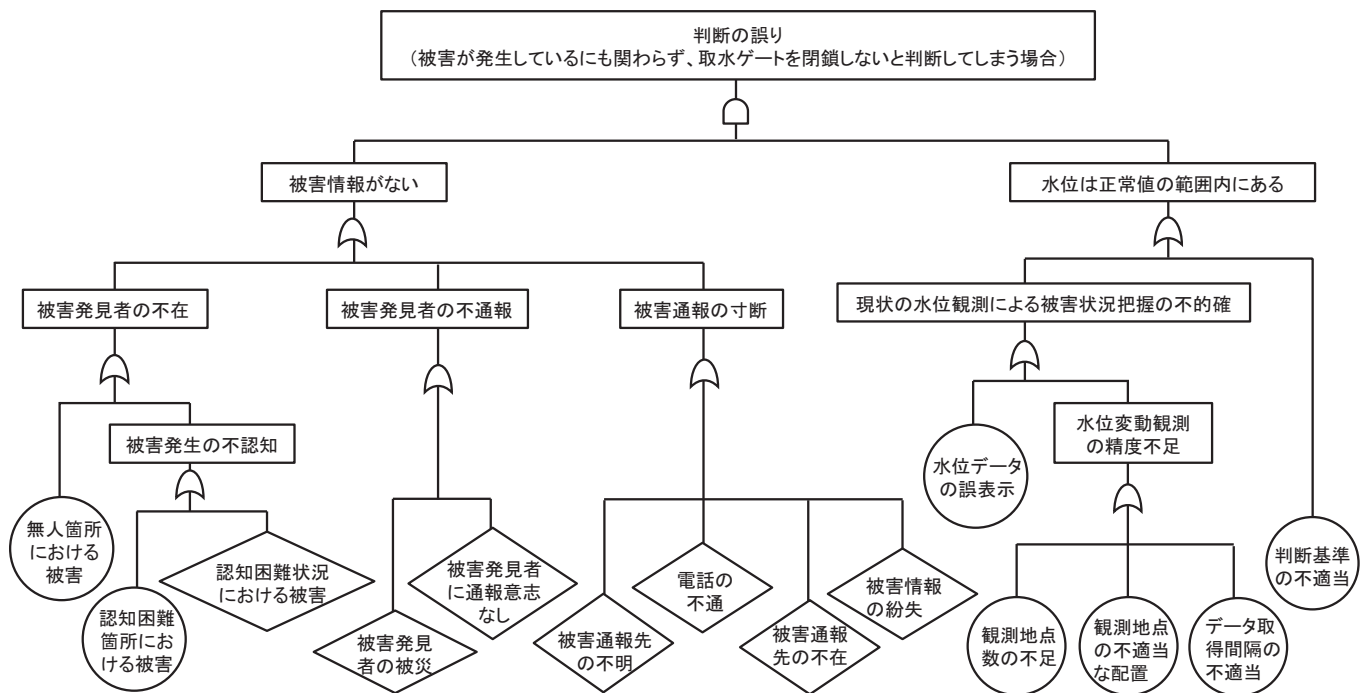


図-5 「判断の誤り(取水ゲートを閉鎖しないと判断してしまう場合)」を頂上事象とする FT 図

表－２ リスク源に対する対策の検討手段

対策範囲	リスク源	対策の検討手段
施設管理	電話の不通	代替手段の準備 (防災無線や電子メールなど)
	無人箇所における被害	
	認知困難な箇所における被害	・現地調査による状況確認 ・重要箇所における管理
	水位データの誤表示	
	観測地点数の不足	
	観測地点の不適当な配置	・過去の実績データの分析 ・震災時の水位変動に関する数値シミュレーション
	データ取得間隔の不適當	
地域の 防災組織	判定基準の不適當	
	認知困難な状況における被害	
	管理者または被害発見者の被災	管理者と地域住民による リスクコミュニケーション
	被害発見者に通報意志なし	
	被害通報先の不明	
	地域防災拠点立ち上げの遅延	
	被害通報先の不在	・地域防災計画の見直し ・事業継続計画の策定
	被害情報の紛失	

内の水位観測において「水位は正常値の範囲内にある」という状況を管理者が確認した場合である。「被害情報がない」という状況は、「被害発見者の不在」、「被害発見者の不通報」、「被害情報の寸断」を原因として生じ得る。その下位には、地域住民による被害情報の発信やその情報を受け取る地域の防災拠点に関わるリスクが挙げられる。それは施設管理の範囲外のリスク源であるので、未展開事象で表している。また、被害が発生しているにも関わらず、「水位は正常値の範囲内にある」という状況は、「現状の水位観測による被害状況把握の不的確」の場合、または水路の異常を判定する「判定基準の不適當」の場合の何れかにより起こり得る。それゆえ、この経路の下位には、観測地点数の不足など現状の水位観測方法が不適當であるとするリスク源が挙げられる。

以上のように、リスクマップ上のリスクに発してFT図を展開していくことで、災害対応を阻害するリスクの発現原因となるリスク源を明確にすることができる。そのリスク源のそれぞれに対して対策を講じることで、リスクマップに挙げたリスクの低減あるいは回避につながられるものと考えられる。ただし、適切な対策に至るまでには、さらに調査や議論を重ねなければならない。そこで、本論ではリスク源に対して考えられる対策の検討手段を挙げて、表－２に示した。施設管理

の範囲において対策を検討可能なリスク源とともに、地域住民が参加するリスクコミュニケーションや地域防災計画の中で対策を議論しなければならないリスク源が明らかとなった。

震災時における電話不通の低減対策は、社会全体の防災対策における課題である。それゆえ、施設管理として可能な対策は、通常の電話に代わる手段を備えておくことなど事後対策となる。無人箇所や認知困難な箇所における被害などのリスク源に対しては、現地調査により震災時の想定被害を把握して必要な管理を強化するなど、施設管理の中で比較的容易に対策を実施できるものと考えられる。観測地点数の不足など、現状の水位観測が不適當とする一連のリスク源に対しては、過去の水位実績データや震災時の水位変動に関する数値シミュレーションなどから対策を検討することが考えられる。

長大な幹線水路施設に係る震災時の被害情報は、一般の地域住民から発信され、防災本部や消防署など災害対策機関を通じて管理者に到達するものと考えられる。震災時におけるそうした被害情報の到達を確実なものにするためには、管理者と地域住民におけるリスクコミュニケーションや地域防災計画の大規模地震時の想定に基づく見直しあるいは事業継続計画(BCP)の策定が必要となる。

以上のように、リスク源に対する対策手段が考えられる。しかし、実際の現場では、時間やコスト、労力の制約の中で、対策のすべてを早急に施すことは難しいものと考えられる。現状の管理において、まずできることから対策を始めて、段階的に災害対応の強化を図っていく計画も重要である。

#### 4. おわりに

本研究では、幹線用水路施設における大規模地震時の災害過程および災害対応を整理して、リスクマップ作成による主要リスクの特定およびFTA手法を用いたリスクの原因分析を行った。本研究におけるリスク特定の詳細な内容に関しては、文献<sup>12)</sup>を参照していただきたい。今後は本研究において実施した調査およびリスク特定手法の適用をさらに拡張して研究を進めていく予定である。具体的には、災害対応に必要な設備機器の詳細な故障モードや操作上のヒューマンエラーなどを明らかにして、震災時の災害対応に関するFT図に反映させ、その基本的なリスク源を明らかにしていく方針である。

謝辞：本研究を実施するにあたり、北海道開発局札幌開発建設部農業整備課には、調査地の選定や資料の提供においてご支援をいただいた。聞き取り調査にご協力いただいた土地改良区には、施設における地震時の災害過程および災害対応について教示いただいた。また、(株)ルーラルエンジニアには、聞き取り調査およびリスクマップ作成等において貴重な意見をいただいた。関係各位に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 森丈久、森充広、渡嘉敷勝、中矢哲郎：大規模地震による農業用水路の被害実態に基づく耐震性評価に関する考察、農業農村工学会誌、76 (1)、pp.3-7、2008.
- 2) 鈴木尚登、中里裕臣：平成23年(2011年)東日本大震災における農村工学研究所の対応と農地・農業用施設等の被害実態、農村工学研究所技報、213、pp.1-21、2012.
- 3) 有吉充、毛利栄征：平成19年(2007年)新潟県中越沖地震による農業集落排水施設の被害、農工研技報280、pp.103-110、2008.
- 4) 土木学会：構造物の耐震基準等に関する提言、入手先< <http://www.jsce.or.jp/committee/earth/>>
- 5) 農林水産省、公益社団法人農業農村工学会：土地改良施設 耐震設計の手引き、2004.
- 6) 瀬戸太郎：土地改良施設における耐震性の向上について、農業農村工学会、76 (2)、pp.113-118、2008.
- 7) 日本技術士会：減災と技術 - 災害の教訓を活かす -、日本技術士会、pp.81-82、2005.
- 8) 土木学会：地域防災計画特定テーマ委員会成果の概要、pp.3-5、2013.
- 9) 日本工業標準調査会：リスクマネジメント - 原則及び指針 JIS Q 31000、2010.
- 10) 赤間世紀：リスク工学入門、工学社、pp.15-19、2012.
- 11) 小野寺勝重：国際標準化時代の実践 FTA 手法 信頼性、保全性、安全性解析と品質保証、日科技連、pp.1-17、2007.
- 12) 大久保天、本村由紀央、中村和正、小野寺康浩：大規模地震時における災害対応の遂行を阻害するリスク源の特定 - 幹線用水路施設を対象としたリスクマネジメント -、農業農村工学会論文集、82 (2)、pp.91-100、2014.



大久保 天\*  
OHKUBO Takashi

寒地土木研究所  
寒地農業基盤研究グループ  
水利基盤チーム  
主任研究員  
博士(農学)



本村 由紀央\*\*  
HONMURA Yukio

寒地土木研究所  
寒地農業基盤研究グループ  
水利基盤チーム  
研究員



中村 和正\*\*\*  
NAKAMURA Kazumasa

寒地土木研究所  
寒地農業基盤研究グループ  
水利基盤チーム  
上席研究員  
博士(農学)  
技術士(農業部門)  
APEC エンジニア(civil)