

## 大規模農業用水利システムにおける地震等緊急時の管理技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 24～平 27

担当チーム：寒地農業基盤研究グループ（水利基盤）

研究担当者：中村和正、小野寺康浩、大久保天、本村由紀央

### 【要旨】

農業水利施設を対象とした大規模地震対策の構築が急務である。施設構造物の耐震化とともに、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制する減災対策が求められている。減災対策では、被害に対する的確な災害対応の遂行が鍵となるが、大規模地震時には災害対応に必要な資源である人、情報通信、設備・インフラ、エネルギーもまた被災して災害対応そのものが機能不全を引き起こすことが考えられる。しかし、現状の施設管理では、このような資源の被災を考慮した災害対策が十分に実施されているとはいえない。そこで、本研究では、大規模地震時における災害対応力の強化を図る管理方法の確立を目的として、実際の幹線水路施設を対象に、震災時の災害対応に係るリスクの特定および対策案の検討を行った。平成 24 年度の研究では、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、災害対応の遂行を阻害するリスクの概要を把握した。平成 25 年度の研究では、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、施設管理の範囲において対策可能なリスク源のほか、地域住民との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になった。

キーワード：大規模地震、幹線水路施設、災害対応、リスク、リスクマップ、FTA

### 1. はじめに

大流量の開水路や高圧のパイプラインなどの基幹的な農業水利施設が大規模な地震により被害を受ければ、広範囲にわたる営農への影響が懸念されるばかりでなく、その被災箇所から流出する大量の水が水害リスクとなって、地域住民の財産や生命に関わる重大な被害へと波及することも考えられる。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)3)</sup>。活発な地殻変動を引き起こすプレート境界上に位置する我が国では、同レベルの大規模地震が全国各地で起こり得る<sup>4)</sup>。震災の被害により社会的影響が大きいと想定される大規模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>5)</sup>」に対する施設構造物の耐震設計が進められてきた。しかし、大規模地震に伴う災害過程は、不測の事態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<sup>6)</sup>。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・インフラ、エネルギーもまた被災することが考えられ、災害対応自体が機能不全に陥る状況が考えられる<sup>8)</sup>。ところが、現在マニュアル化されている震災時の災害対応のほとんどは、必要な資源がすべて健全に機能することを前提に計画されている<sup>9)</sup>。それゆえ、現状のままでは、大規模地震時に的確な災害対応が実施できる保証はない。

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、災害対応力を現状よりも強化する管理方法の確立が必要である。こうした災害対策を組織的に進める方法として、リスクマネジメント<sup>10)</sup>や事業継続マネジメント<sup>11)</sup>がある。それらはともに対象を取り巻くリスクを把握して、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。ただし、リスクマネジメントはリスクの低減や回避など事前対策が中心であるのに対し、事業継続マネジメントは万一の被害が生じた場合を想定した事後対策に重点がおかれる<sup>12)</sup>。大規模地震時における不確実な被害に備えるためには、リスク対策の多重化が必要である、まず、リスクマネジメントによる網羅的な事前対策の備えを確立した上で、さらに重大な

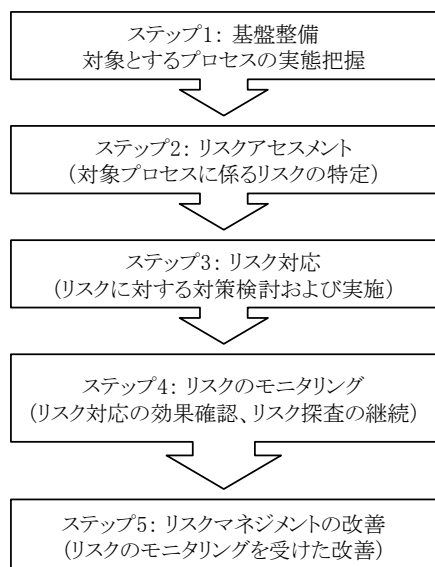


図-1 リスクマネジメントの実施フロー

被害が起こり得ることを想定して事業継続マネジメントを講じることが適当であろう。

そこで、本研究では、まず大規模地震時の災害対応に係るリスクマネジメントの構築を目指す。リスクマネジメントの実施フローを図-1に示す。平成24年度および平成25年度実施の研究では、実際の幹線水路施設を対象にして、大規模地震時に想定される被害状況および災害対応の流れを把握するステップ1、災害対応に係るリスクの特定を行うステップ2、およびリスクに対する対策検討を行うステップ3に相当する一連作業を実施した。その主要な作業概要は、次のとおりである。

(1) 既往の資料や文献をもとに、大規模な幹線水路施設において、震災時に被害を受けた条件や場所を整理した。また、実際の幹線水路施設の管理者への聞き取り調査から、大規模地震時において管理者が想定する施設の災害過程を把握した。その結果を念頭において、調査対象とする幹線水路施設沿線を踏査して、大規模地震時に考えられる具体的な被害リスクを把握した。さらに、施設管理に関わる設備機器の構成、動作および操作手順を整理した上で現地調査を実施して、大規模地震時において想定される設備系の故障リスクやヒューマンエラーの特定および対策案の検討を行った。

(2) 幹線水路施設の管理者を対象にした聞き取り調査の結果から、大規模地震時における災害対応の流れを整理した。その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したリスクマ

ップを作成して、震災時の災害対応の遂行を阻害するリスクの全体像を把握した。さらに、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<sup>13)</sup>によるリスクの原因分析を行った。これにより明らかにされたリスク源に対する対策案を検討して、その分類および実現性の評価を行った。

以上の(1)、(2)の各作業内容の詳細と結果および考察について、それぞれ2章、3章で述べる。なお、このほか、平成25年度には、地震動に伴い発生する水撃圧によりパイプラインが破損する可能性を評価するため、実際のパイプライン施設において水撃圧の現地観測を開始した。しかし、地震動時のデータは未取得であるため、本報告書では具体的な説明を省略する。

## 2. 大規模地震時に想定される被害状況

### 2.1 農業用水路施設における被害実績の把握

既往の資料や文献に記録される過去の被害事例から、農業用水路（開水路）施設において大規模地震時に想定される被害状況を表-1のように整理した。地震動により用水路施設自体が被害を受ける一次災害とその被害に伴い引き起こされる二次災害が考えられる。その一次災害として、法面崩壊や土砂流入による水路の閉塞、水路構造物の損壊、ゲート施設などの管理設備機器の不具合などが起こり得る。そうした一次災害に伴い水路からの溢水や水路の決壊が生じて、道路や鉄道の横断箇所における交通障害、河川への流入による中小河川の氾濫、住宅地域への浸水などの二次災害が起こり得るものと考えられる。

表-1 大規模地震時に想定される被害状況

災害段階	被災箇所	被災内容
一次災害	法面	法面崩壊の土砂流入による用水路の閉塞
	斜面	土砂の堆積による用水路の閉塞
	水路構造物	水路構造物の破損や傾倒が発生
	管理設備機器	取水ゲートの傾倒や制御設備の破損
二次災害	道路横断	用水路からの溢水による交通障害
	鉄道横断	用水路からの溢水による交通障害
	河川横断	用水路からの溢水が河川へ流入中小河川の氾濫
	住宅地	用水路からの溢水による家屋の浸水

## 2.2 具体的な幹線水路施設を対象とした大規模地震時に想定される被害状況の把握

### 2.2.1 調査対象とする幹線水路施設の概要

本研究において調査対象とした幹線水路施設は、北海道の石狩川中流域の水田地帯へ灌漑用水を供給するコンクリートフリーダム水路である。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。

### 2.2.2 聞き取り調査に基づいた大規模地震時に想定される幹線水路施設の災害過程

調査対象とする幹線水路施設において想定される具体的な被害状況について、聞き取り調査を実施した。聞き取り調査の相手方は、同幹線水路施設を管理する土地改良区の管理者である。その調査結果に基づいて、幹線水路施設における災害過程を整理した。

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を図-2に示す。地震発生に伴う地震動または地盤変位に起因する一次災害として、①水路損壊、②法面崩壊、③停電が考えられる。水路損壊は、地震動または地盤変位に起因するもののほか、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性がある。また、法面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増大して、水路の通水容量と余水処理能力の和をこえてしまう場合には、水位が上昇して溢水となることが考えられる。このような水路の決壊あるいは水路からの溢水は、農地の浸水被害や土壌流亡、周辺の住宅地域における水害といった二次災害を引き起こすことが考えられる。

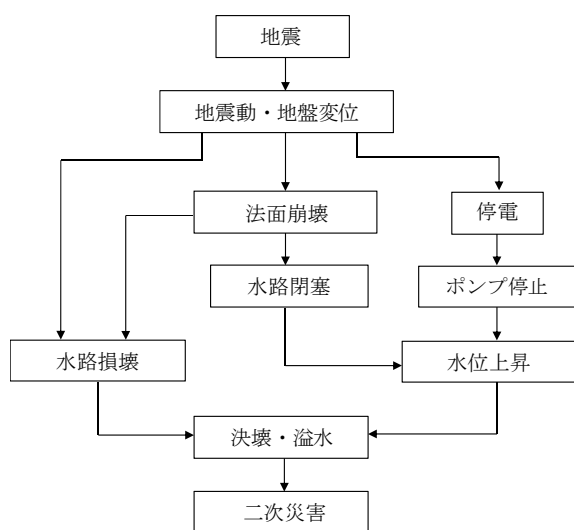


図-2 大規模地震時に想定される災害過程

### 2.2.3 対象施設における被害想定箇所の踏査

表-1に示した水路施設の被害状況および聞き取り調査より整理した災害過程を念頭において、調査対象とする幹線水路施設の沿線を踏査して、大規模地震時に想定される具体的な被害箇所や状況を把握した。表-2に現地踏査により新たに確認された被害想定箇所を示す。水道管などを横断する箇所(写真-1)や、隣接する歩行者用のアンダーパスおよび携帯電話の電波塔など、重大な二次災害へと波及するおそれのある状況が確認された。これらの場所では、必要に応じて水路の耐震性や管理を強化するなどの対策を施すことが望まれる。

### 2.2.4 施設管理に必要な設備機器の被害想定

施設管理に必要な主要設備は、取水ゲート、揚水機、分水ゲート、放流ゲートおよび水管理システムである。こうした施設管理に必要な設備機器は、緊急時の災害対応においても重要な役割を果たす。とくに、取水ゲ

表-2 大規模地震時に想定される被害状況

被害箇所	被害状況
① 国道など主要道路の横断箇所	溢水や決壊により交通が遮断される
② 河川の横断箇所	用水路からの溢水が河川に流入して河川が氾濫する
③ 水道管の隣接または横断箇所	水道管破損により水道水の供給が遮断される
④ 水路より低位部に住宅がある箇所	水路からの溢水や流出により、住宅が浸水する
⑤ 歩行者用アンダーパスの隣接箇所	溢水した用水が流入してアンダーパスが浸水する
⑥ 携帯電話の電波塔の隣接箇所	溢水・流水により電波塔が被害を受けて、携帯電話の通信に影響を与える



写真-1 大規模地震時に想定される重大な被害が想定される現地状況の事例

表-3 取水ゲート躯体設備におけるリスクなど整理表

構成要素	部位	b.機能	c.リスク(想定される被害)	d.原因(リスク源)	e.他への影響	f.対応策		
						事前	事後	
扉体	スキンプレート	水圧荷重(静水圧・局所水圧・浮力など)や、地震時の荷重(動水圧・慣性力など)は、ローラを経て戸当りに伝達される。開閉動作による止水機能に関わる部位である。	①変形が過大となって、扉体引き上げ時の摩擦増大により、開閉装置の能力を超える。 ②扉体の部位が脱落するなどして、扉体全体が片吊り状態となる。 ③過度の開閉抵抗による過負荷がゆかり、巻上げが困難となる。	スキンプレートや主ローラの変形(曲げ、せん断)	開閉動作の不能又は遅延	事後	取水口への土のう積み上げによる止水対策	
	主桁、補助桁			シーブの脱落				扉体の片吊りによる開閉不能
	主ローラ			大規模なゆれ				扉体の片吊りによる開閉遅延
	サイドローラ			ゴミ等のかみこみ				開閉抵抗の負荷増大による開閉操作の遅延
	滑車(シーブ)					事後	開閉動作の繰返しによる片吊り状態の解消	
	水密ゴム					事後	開閉動作の繰返しによるゴミ等の除去	
	B, N, P					予防	スクリーンの定期的なごみ上げ(頻度を増やす)	
戸当り	主ローラレール	開閉操作を行う際、主ローラ部からの動力を受け、円滑な開閉に関わる部位である。	①変形が過大となって、扉体引き上げ時の摩擦増大により、開閉装置の能力を超える。 ②過度の開閉抵抗による過負荷がゆかり、巻上げが困難となる。	ローラレールの変形	開閉動作の不能又は遅延	事後	取水口への土のう積み上げによる止水対策	
	サイドローラレール			ゴミ等のかみこみ				開閉抵抗の負荷増大による開閉操作の遅延
	水密板							
開閉装置	電動機	電動機を主動力とし、ワイヤロープウィンチ方式を採用したローラゲートの開閉装置である。	①電力遮断により電動機を稼働できない状態となる。 ②部位の損傷による開閉動作が行えない状態となる。 ③誤った情報が表示される状態となる。	停電による電力遮断	電動機の始動遅延による開閉遅延	予防	自家発電設備の定期点検(点検頻度を増やす)	
	切替装置			自家発電設備の燃料不足				自家発電設備の始動不能による開閉不能
	巻取りドラム			停電、自家発電設備の不意な故障				電動機の始動不能による開閉不能
	開放歯車			ワイヤロープの切断				扉体の片吊りによる開閉不能
	ワイヤロープ			電動機やドラムなど重要部位の損傷				開閉装置の動作不能による開閉不能
	減速機			ワイヤロープのゆるみ				扉体の片吊りによる開閉遅延
	開度計			開度を測定するワイヤの切断				開度の計測不能による遠隔操作不能、開閉遅延
	ブレーキ			開度の誤表示				誤表示(開度ゼロ表示)による開閉遅延
	自家発電設備							

ートは決壊や溢水による二次災害防止のため緊急に通水停止を行う重要な設備である。そこで、本調査では、図面や資料により整理した各設備機器の部位ごとに、現地で目視調査および動作確認を行い、大規模地震時において想定される設備系の故障リスクやヒューマンエラーなどの可能性、およびそれに対する対策案を挙げた。また、その結果をFMEA手法(故障モード、影響解析手法)における評価項目<sup>14)</sup>に準じて取りまとめた。その一例として、ここでは取水ゲート躯体設備に関するリスクなど整理表を表-3に示す。例えば、大規模地震時の取水ゲート扉体の被害リスクとして、扉体自体の変形や扉体のローラレールからの脱落などが考えられる。その場合、ゲートの開閉は不能となるので、止水するためには土のうを積み上げるなどの事後対策の備えが必要である。また、事前対策として考えられることは、不具合の原因となり得る流木やゴミ等の定期的な除去などである。

こうした設備機器に関する被害リスクの洗い出しと対策案の検討結果は、4章における災害対応全体のリスク特定作業に反映した。

#### 4. 災害対応に係る被害リスクおよび対策案の検討

##### 4.1 作業手順

本章では2章において調査した幹線水路施設を対象として、大規模地震時における災害対応に係るリスクを特定して、その対策案を検討した。

最初に幹線水路管理者への聞き取り調査結果から、通常の施設管理の概要と大規模地震時に想定される災害対応の流れを整理した。その災害対応の流れ図上に、大規模地震時の被害により災害対応の遂行が阻害されるリスクを記したリスクマップを作成した。さらに挙げられたリスクの原因となるリスク源をFTA手法により明らかにして、そのリスク源に対する対策案を検討した。

##### 4.2 管理者への聞き取り調査結果の整理

###### 4.2.1 灌漑期における施設管理の概要

調査対象とする幹線水路施設における施設管理の概要を図-3に示す。土地改良区の管理担当職員(以下、「管理者」)は、水管理システムにより幹線水路内数地点の水位を監視する。幹線水路の起点となる頭首工の管理所には、頭首工管理を委託された管理者(以



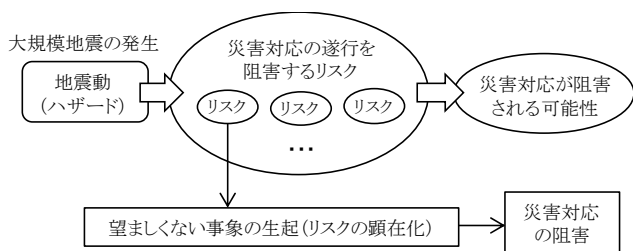


図-5 リスクの概念図

に起因する二次災害を抑制することができるものと考えられる。しかし、大規模地震時には災害対応に必要な資源もまた被災し得ることから、災害対応自体が機能不全に陥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-5 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>15)</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。そのリスクマップの一例を図-6 に示す。この図は、図-4 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震災時初期対応に係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、災害対応の遂行を阻害する直接的なリスクであることから、それを各資源から四角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、「停電が生じる可能性」というリスクは、「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

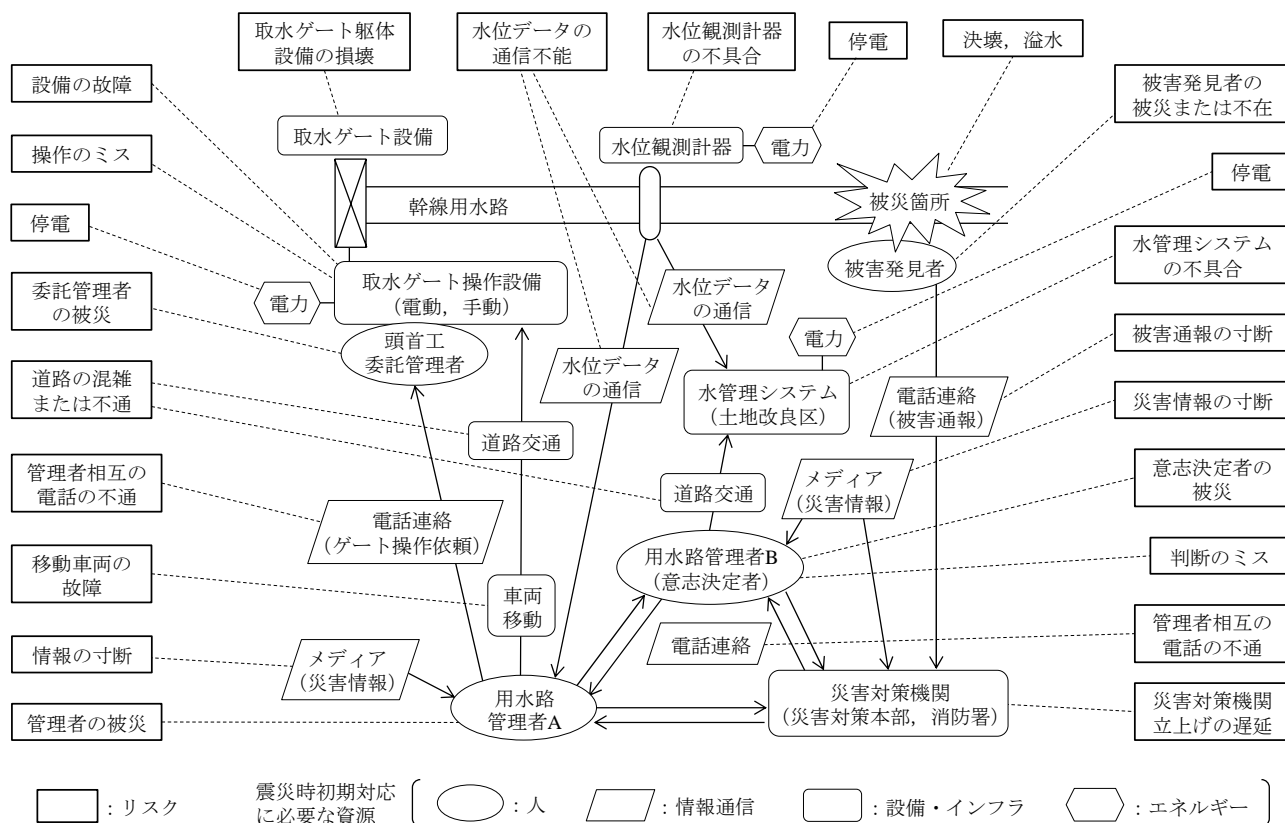


図-6 震災時初期対応に係るリスクマップ

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に関する共通認識を図るための作業でもある。さらに、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できる。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。

#### 4.3.2 FTA 手法の概要

リスクマップの作成では、災害対応を示す模式図を用いて管理者の対応行動をイメージする中で、大規模地震発生直後の災害対応に係る主要なリスクを挙げた。しかし、リスクの背後には、さらにその発現原因となるリスクの連鎖が存在する。例えば、災害対応において管理者が移動困難となるリスクの原因として、地震動による道路法面崩壊のリスクなどが考えられる。こうしたリスクの発現要因となるリスクの連鎖をさらに追及していくためには、リスクマップの作成による直感的な手法のみでは限界がある。FTA 手法は複雑なシステムにおいて直感的に把握困難な故障要因を明らかにするため開発された分析方法である。分析対象とする望ましくない事象が起り得る原因を順次演繹的にたどっていくことで、その基本となる原因を明確に整理していく方法である<sup>14)</sup>。リスクマップの作成により現状の災害対応に所在するリスクの概要を把握した上で、FTA 手法によりさらに詳細なリスクを分析することで、大規模地震発生後の災害対応における課題を的確に具体化できるものと考えられる。

FTA 手法は表-4 に示す記号を用いて図-7 のような FT 図の作成を基本とする。まず、対象とする故障や失敗など望ましくない事態を頂上事象 F として設定する。次にその頂上事象 F が起り得る直接要因となる中間

表-4 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

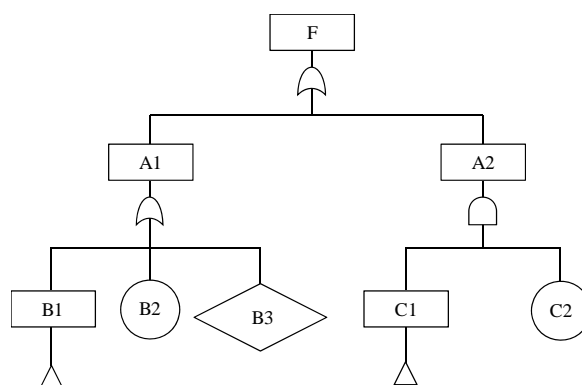


図-7 FT 図の例

事象を挙げ、その下位に並べて書き出す。この場合の中間事象は A1 および A2 であり、頂上事象 F との間は OR 記号で結ばれているが、これは中間事象 A1 または A2 のいずれかが生じた場合に頂上事象 F が発生することを意味する。同様に中間事象 B1、基本事象 B2、未展開事象 B3 のいずれかが生じれば中間事象 A1 が生じる。また、中間事象 A2 とその下位の中間事象 C1 および基本事象 C2 の間には AND 記号で結ばれるが、これは C1 と C2 が共に生じた場合に A2 が生じることを表す。B1 と C1 の下位の入力記号は他の FT 図の接続を示し、さらにその展開が続くことを示している。

こうして描かれた FT 図は、頂上事象から下位の中間事象、基本事象あるいは未展開事象へと樹木の枝のように拡大していくところから、失敗（故障）の木、すなわち Fault Tree と命名されている。

#### 4.3.3 FTA によるリスク源の特定

震災時初期対応は、最終的に取水ゲートを閉鎖することで完了する。そこで、この場合の頂上事象を「取水ゲートの閉鎖不能」として設定した。まず、図-6 のリスクマップにおいて挙げられたリスクをもとに作成した FT 図を図-8 に示す。取水ゲート閉鎖を実施するためには、頭首工管理所へ管理者が到着して必要な操

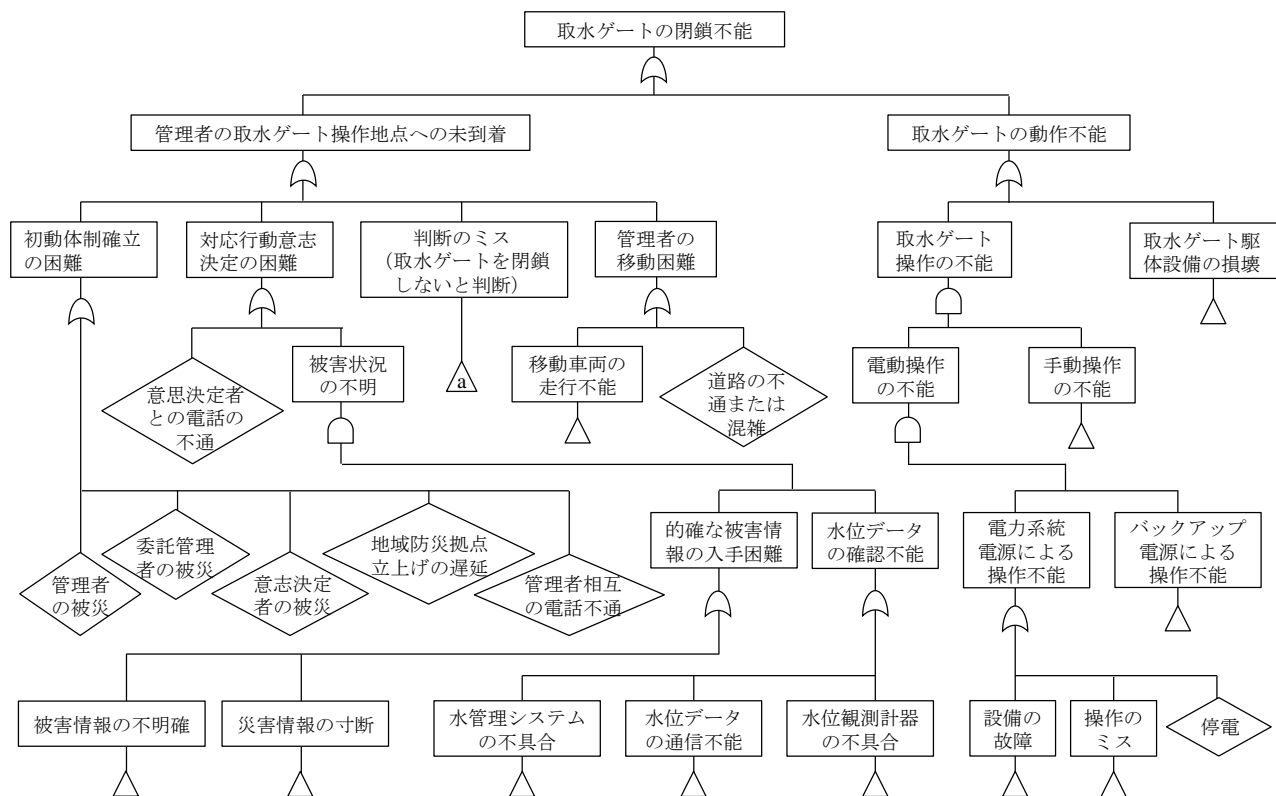


図-8 「取水ゲート閉鎖の不能」を頂上事象とするFT図

作を行い、それに応答して取水ゲート設備が正常に動作しなければならない。それゆえ、頂上事象「取水ゲートの閉鎖不能」という事態が発生する直接的な原因は、「管理者の取水ゲート操作地点への未到着」または「取水ゲートの動作不能」の場合である。これらの中間事象は、そのいずれか一方の発生により頂上事象が起こり得るものであるから、OR記号により頂上事象と結び付けられる。第2段階の中間事象となる「管理者の取水ゲート操作地点への未到着」は、「初動体制確立の困難」、「対応行動意思決定の困難」、「判断のミス（取水ゲートを閉鎖しないと判断）」および「管理者の移動困難」のいずれかの中間事象を原因として起こり得る。同様に、「取水ゲートの動作不能」の原因となる中間事象は、「ゲート操作の不能」および「ゲート駆体設備の損傷」が考えられる。さらに第3段階以降の事象には、リスクマップにおいて挙げられた主なリスクが記載される。また、本研究では施設を管理する土地改良区などの管理者が直接対策できる範囲、すなわち施設管理の範囲においてリスク源を追究することとした。それゆえ、「停電」や「管理者の被災」、「地域防災拠点の立ち上げ遅延」など、その事象が施設管理の範囲をこえて、地域住民の生活環境や市町村レベルの地域防災計画における課題となった

時点で、それをリスク源として未展開事象で表した。

以上のように、リスクマップ上のリスクをFT図により表現することで、FT図の根幹部分が作成された。また、これによりリスクマップでは不明瞭であったリスク間の位置付けや関連性が明確になった。とくに、頂上事象「取水ゲートの閉鎖不能」に至る各経路が視覚的に捉えやすくなり、リスクの発生メカニズムの一端を把握できる。その末端の中間事象より下位のFT図の作成が次の課題となる。本論では、そうしたFT図の展開例として、中間事象「判断のミス（取水ゲートを閉鎖しないと判断）」より下位の入力記号△に接続するFT図を図-9に示す。

「判断のミス（取水ゲートを閉鎖しないと判断）」すなわち、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（判断のミス）直接的な原因は、「被害情報がない」かつ幹線用水路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」を要因として生じ得る。被害情報の発信や収集・処理は、地域住民や地域の防災拠点などの対応に頼らざるをえないことから、この経路におけるリスク源の多くは未展開事



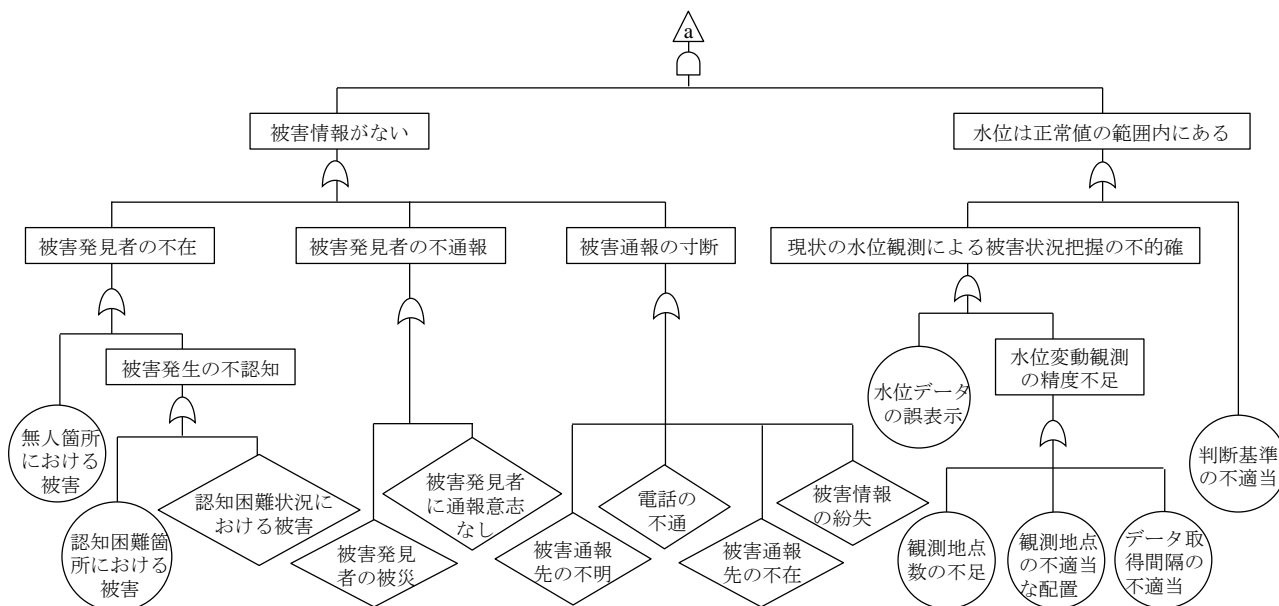


図-9 「判断のミス」より下位の FT 図

象となる。また、水位観測機器に不具合はないという前提のもとで、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「判定基準の不適当」の場合の何れかにより起こり得る。従って、この経路の基本事象には、現状の水位観測方法が適当でないとするリスク源が挙げられる。

本研究では、以上のような FT 図をその他のリスク（図-8 の中間事象）についても作成して、リスク源を網羅的に明らかにした。その結果、震災時初期対応において数十を数えるリスク源が特定された。

#### 4.4 リスク源に対する対応策の検討

FTA により明らかにしたリスク源のそれぞれに対して対策を講じることで、震災時初期対応の遂行を阻害するリスクの低減あるいは回避につなげられるものと考えられる。本報告書では、図-9 で明らかにしたリスク源に対して考えられる対策の検討手段を表-5 に示した。ただし、ここで対策ではなく「対策の検討手段」としたのは、適切な対策に至るまでには、さらに議論を重ねる必要があるからである。施設管理の範囲において対策が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(事前対策)は、社会全体が関わる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連絡手段を備えておくことなど事後対策（被害が起きてしまった後の状況に対する備え）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の対策が考えられる。観

表-5 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
	電話の不通	代替手段の準備 (防災無線や電子メール)
	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
施設管理	水位データの誤表示	
	観測地点数の不足	
	観測地点の不適切な配置	・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当	
	判定基準の不適当	
	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	
地域の 防災組織	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	

測地点数の不足など、現状の水位観測が不相当とする一連のリスク源に対する対策は、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により検討することが考えられる。

長大な幹線水路施設における大規模地震時の被害情報は、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主要な災害対策機関における事業継続計画の策定が必要となる。

震災時初期対応における管理者の「判断のミス」を誘発するリスク源に対して、以上のような対策の検討手段が考えられた。本研究では、他のリスク源に対しても、同様に対策の検討手段を列挙した。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検討することは難しい。現状の施設管理において実施可能な対策から検討を始めて、段階的に対策の導入を図っていく計画が必要である。

そこで、本研究で挙げられた対策の実現性を、管理者および技術者数名により評価した。評価の目安は、現状の施設管理において対策の実現が「容易」、「やや容易」、「やや難」、「難」の4段階である。ここで、「容易」と評価された対策は、現状の施設管理において注意を喚起する内容のものである。例えば、設備機器が日常的に生じる不具合のリスクに対して、定期的な点検作業を行うことなどが挙げられた。「やや容易」と評価された対策は、現状の施設管理において導入できるが、その施設管理計画に新たな内容が加わるものである。例えば、災害対応にあたれる人材の不足に対して、管理者の代替要員となれる人材の育成、夜間における震災に備えて、電灯設備を増設することなどが挙げられた。「やや難」あるいは「難」に評価された対策は、現状の施設管理予算に比べてコストが大幅に高いもの、あるいは施設管理の枠組みをこえて、地域住民との話し合いや地域防災計画の中で検討が必要なものである。例えば、遠隔操作システムの導入や地域住民から被害情報を得るためのリスクコミュニケーションの実施などが挙げられた。

以上のような対策の実現性評価は、現場における対策導入の計画策定に役立てられるものと考えられる。しかし、実現性が困難な対策でも効果が大きい場合がある。例えば、遠隔操作の導入は、コスト面から対策困難と評価されるが、災害対応時の機側操作によるリ

スクの多くを低減する効果は大きい。今後は「実現性」と「効果」の両面から評価を分析して、大規模地震時に対応した施設管理方法を提案していきたい。

## 5. まとめ

本研究における平成24年度および平成25年度の主要な成果を要約すると、次のとおりである。

- (1) 幹線水路施設において想定される大規模地震時の被害状況を、既往の資料や文献による事例調査、施設管理者への聞き取り調査および現地調査をとおして整理した。地震動による幹線水路施設に係る一次災害として、法面崩壊や土砂流入による水路の閉塞や水路構造物自体の損壊、各種ゲートなどの管理設備機器の不具合などが起こり得る。一次災害に伴い水路からの溢水や水路の決壊により、道路や鉄道の横断箇所では交通傷害、河川への流入による中小河川の氾濫、住宅地への水害などの二次災害への波及が想定された。
- (2) 大規模地震時における災害対応を阻害するリスクおよびリスク源を、リスクマップの作成およびFTA手法を用いて明らかにした。また、リスク源に対する対策案を挙げて、その分類および実現性の評価を行った。リスク源は、施設管理の範囲において対策可能なリスク源と施設管理の範囲を超えた地域単位で対策を議論しなければならないリスク源とに大きく分けられた。後者のリスク源に対しては、地域住民とのリスクコミュニケーションや地域防災計画の中での対策検討が必要となる。また、対策案の実現性を評価して、現状の土地改良区などの施設管理において比較的容易に実施可能な対策案とコスト高や地域との連携が必要なことから対策実施のハードルが高い対策案とに分類・整理した。

## 6. おわりに

本研究では、大規模地震時における幹線水路施設に係る災害対応力の強化・充実を図るため、リスクマネジメントの一部を実施した。ここで明らかにされたリスク源に対して、必要な対策を実際に講じることができれば、リスクマネジメントの観点から大規模地震時における災害対応力を高めることができよう。ただし、リスク特定手法として用いたFTAは必ずしも確実な方法とはいえない。FTAは一定の規則に従って進められるが、得られた結果（FT図、リスク源、対策）の妥当性を客観的に確認する方法は確立されていない<sup>18)</sup>。そのため、FTAの実施において分析者の主観的な

判断が多分に含まれることを関係者は認識していなければならない。それゆえ、実際の管理現場では、実施した対策を常にモニタリングして、対策効果の検証と現場の状況に応じた改善を図っていく作業が必要になる。すなわち、図-1 によるところのステップ4およびステップ5の作業である。また、FTA では時間的な要素を表現することができない<sup>16)</sup>。例えば、電動による取水ゲート操作が不能となれば手動による操作が考えられるが、その場合、取水ゲートを閉鎖することもできても、操作に要する時間は大幅に増加することになる。災害対応の遅延が致命的な被害を招くことも考えられることから、時間的遅延を考慮したリスク分析を今後行っていく必要がある。

大規模地震時における災害対応は、対象施設とその管理に必要な資源の被害状況、管理者の情報取得と意思決定などが不測の事態の中で多様に関わる複雑なシステムと捉えられる。そのリスクの特定には多方面からのアプローチが必要と考えられ、今後も他の方法の適用性を検討していく方針である。

#### 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) 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.
- 3) 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.
- 4) 石井一郎、丸山暉彦、元田良孝、亀野辰三、若海宗承：防災工学 第2版、森北出版株式会社、pp.12-34、2005.
- 5) 土木学会：構造物の耐震基準等に関する提言、<http://www.jsoc.or.jp/committee/earth/>、1995.
- 6) 農林水産省、農業農村工学会：土地改良施設 耐震設計の手引き、pp.1-5、2003.
- 7) 社団法人日本技術士会：減災と技術 一災害の教訓を活かす一、社団法人日本技術士会、pp.81-82、2005.
- 8) 総務省：地方公共団体における ICT 部門の業務継続計画 (BCP) 策定に関するガイドライン、pp.1-3、2008.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 財団法人日本規格協会：リスクマネジメントと事業継続マネジメントの標準化、財団法人日本規格協会、pp.10-14、2011.
- 12) 中村孝明：実務に役立つ地震リスクマネジメント入門、丸善出版、pp.57-69、2013.
- 13) 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.
- 14) 小野寺勝重：グローバルスタンダード時代における実践 FMEA 手法 品質管理と信頼性、保全性、安全性解析、日科技連、pp.29-41、2007.
- 15) 赤間世紀：リスク工学入門、工学社、pp.15-19、2012.
- 16) 塩見 弘、島岡 淳、石山敬幸：FMEA, FTA の活用、(日科技連信頼性工学シリーズ第7巻)、pp.4-5、2005.

## DEVELOPMENT OF MANAGEMENT TECHNIQUES FOR A LARGE-SCALE AGRICULTURAL IRRIGATION SYSTEM IN EMERGENCY SITUATIONS SUCH AS EARTHQUAKES

**Budgeted** : Grants for operating expenses General account

**Research Period** : FY2012-2015

**Research Team** : Cold-Region Agricultural Development Research Group  
(Irrigation and Drainage Facilities) and Director for

**Author** : NAKAMURA Kazumasa

ONODERA Yasuhiro

OHKUBO Takashi

HOMMURA Yukio

**Abstract** : There is an urgent need for measures that help agricultural irrigation facilities resist damage from large-scale earthquakes. Together with seismic strengthening, those facilities need preparation to mitigate possible damage through appropriate disaster responses. The precise implementation of disaster responses to seismic disasters is important, in order for disaster mitigation measures to achieve minimum damage for existing facilities. But when a large-scale earthquake occurs, there is the possibility of a breakdown in the disaster response itself, since the resources necessary for that response--humans, information, facilities, infrastructure, energy--may be affected. Measures that consider damage or harm to those resources are not sufficiently implemented under the current facility management. This study identifies the risks and examines countermeasure plans that relate to disaster responses for a main irrigation canal, toward establishing a management method to enhance disaster-response capabilities for large-scale earthquakes. In the FY 2012 research, we outlined hindrances to disaster response by developing a risk map. To clarify the damage that was assumed would occur at the time of a large-scale earthquake, the map was drawn based on a flow chart of planned disaster responses. In the FY 2013 research, we applied FTA (Fault Tree Analysis) to determine the sources of the risks 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 identified additional risk sources for which measures have yet to be discussed as part of a regional disaster prevention plan and have yet to be discussed in risk communication with local residents.

**Keywords** : large-scale earthquake, Main irrigation canal, Disaster response, Risk, Risk map, FTA