

大規模災害時を想定した農業水利システムの管理に関する考察

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム ○大久保 天
本村 由紀央
中村 和正

大規模災害時直後には、農業水利システムの管理に必要な資源となる人、設備、情報通信およびエネルギーの被災が想定され、そのため二次災害防止など緊急を要する災害対応の遅延が懸念される。(独)土木研究所寒地土木研究所では、大規模災害時における農業水利システムの危機管理モデルの構築を目指す研究に着手し、本年度はその基礎的な研究として具体的な幹線用水路管理に関する聞き取り調査を実施した。本論はその調査結果について整理し、さらにその結果に基づき試行したリスクマップ作成とFTA手法を用いたリスク要因分析の一例を述べる。

キーワード：大規模災害、農業水利システム、災害対応、リスクマップ、FTA手法

1. はじめに

大流量の開水路や高圧のパイプラインなど基幹的な農業水利システムが突発的な災害により被災した場合、その社会的影響は非常に大きなものになると想像される。その影響のひとつは農業水利システムとしての機能を失うことによる営農への被害であり、もうひとつは農業水利施設の水がもたらす水害による民生や社会インフラへの被害である¹⁾。とくに後者はときとして人命や財産に関わる重大な被害へと波及することも考えられ、災害発生直後の緊急的な対応が求められる。

農業水利システムに係る災害過程の模式を図-1に示す。本研究において対象とする災害は、大規模な地震および豪雨である。この「大規模」が意味する大きさを、本研究では図-1に示す一次災害が起こる以上の規模と想定している。まず、地震または豪雨の直接的な外力により一次災害が生じる。その一次災害は、対象とする農業水利施設のほか、その管理に必要な資源（以下、「管理資源」と称する）となる人、設備、情報通信およびエネルギーも同時に被災することが考えられる²⁾。さらに大量の水を保有する農業水利施設の被災は、周辺域に二次災害として水害をもたらす。そのとき、管理資源の被災により緊急対応が不能または大幅な遅延を生ずることとなれば、二次災害による被害はさらに助長されることになる。このように、大規模災害の特徴は、一次災害による被害を許容せざるをえないことと管理資源も含めて被災する複合的災害であることから、その被害規模がドミノ的に拡大していくことである。それゆえ、大規模災害時の対応策は、その災害波及をいかに抑制して被害を最小限にと

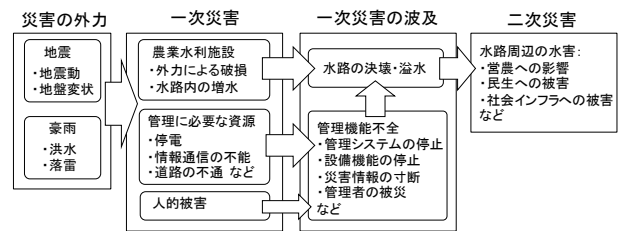


図-1 農業水利システムに係る災害過程

どめるか、すなわち「減災」という視点が重要となる。これまで一次災害を防止するための技術的な対応が図られてきた。しかし、自然災害が有する不確実性に対応するためには、一次災害への耐性を強化するだけでは十分な対策とはいえない。一次災害が万一発生したことを前提として、そこから波及する二次災害をいかに抑制し、早期復旧を図るかという危機管理の整備が同時に必要となる。しかし、現在その危機管理に相当する災害対応計画が策定されているとしても、電力や情報通信、さらに人を含む管理資源の被災をも考慮した、徹底したBCP³⁾（事業継続計画）をベースとする危機管理体制の構築に関しては、農業水利システムに限らず社会全体においてまだ不十分と考えられる。

このような背景から、独立行政法人土木研究所寒地土木研究所では、農業水利システムの大規模災害時における危機管理モデルの構築を目標とした重点研究「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」に平成24年度から着手した。本研究を遂行するための基礎的な作業として、まず現状の農業水利システム管理において想定されている災害過程および災害対応を

整理し、そこに係る多様なリスクの洗い出しと課題の抽出を行う必要がある。そこで、初年度は具体的な農業水利システムを対象に、災害対応計画等について聞き取り調査を実施した。本論では、その調査結果およびそれに基づき試行したリスクマップ作成とリスク要因分析の一例について述べる。

2. 想定される災害過程と現状の災害対応計画

(1) 聞き取り調査の実施概要

北海道には長大かつ大流量の幹線水路が多数存在する。今回はそうした大規模な農業水利システムのひとつであるS幹線水路の管理について聞き取り調査を実施した。S幹線水路は、石狩川中流域における水田地帯への水供給を担う開水路である。その幹線水路延長は約29km、最大計画通水量は21m³/s、受益面積は約4,100haである。聞き取り調査の相手方は、S幹線水路を管理する土地改良区である。その主な聞き取り内容は、幹線水路管理の概要、地震時および豪雨時において想定される災害過程と災害対応についてである。以下、その聞き取り調査結果を整理する。

(2) S幹線水路管理の概要

S幹線水路管理の概要を図-2に示す。管理に必要な主要設備は、幹線水路に附帯する取水ゲート、分水ゲート、揚水機場、放流ゲートおよび水位や雨量を監視する水管理システムである。遠方監視、機側操作のシステムである。灌漑期には、S幹線水路の管理者（以下、「管理者」と称する）は1日1回水路沿線を巡回するとともに、水管理システムにより幹線水路全体を監視する。そこで許容を逸脱する水位上昇あるいは下降が確認されれば各ゲートの開度を操作して、幹線水路全体の水位調整を行う。次に各設備の操作概要について記す。

a) 取水ゲート

取水ゲートは現地機側操作で通常は商用システムを電源とする電動式である。ただし、停電などに備えてガソリンエンジンによるバックアップが用意されている。また、手動によるゲートの開閉も可能である。S幹線水路の起点となる頭首工は管理委託されており、管理者は必要に応じて頭首工管理所に勤務する委託者（以下、「管理委託者」と称する）に連絡してゲート操作を依頼する。ただし、休日や夜間など管理委託者が不在の場合は、管理者自らが現地へ移動しゲート操作を行う。

b) 分水ゲート

分水ゲートの操作はガソリンエンジン駆動式と手動式による現地機側操作により行われる。その操作は通常、支線組合に任されるが、緊急時には管理者自らが操作を行う場合がある。

c) 放流ゲート

放流ゲートの操作は手動式操作により行われる。通常

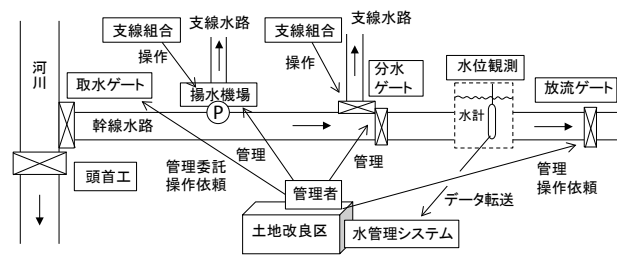


図-2 S幹線水路管理の概要

は支線組合による管理を基本とするが、緊急時には管理者自らが操作を行う場合がある。

d) 揚水機場

揚水機場は幹線水路内の9箇所を設置され、灌漑期には全体で約6.4m³/sの水を幹線水路から支線水路へくみ上げる。揚水機ポンプは商用システムを電源とするが、そのバックアップ電源は備えていない。揚水機場の操作は支線組合から近隣農家へ委託されている。

e) 水管理システム

幹線水路内の5地点において水位および雨量を10分間隔で計測している。そのデータを無線通信を介してサーバーに蓄積し、土地改良区の水管理システムにおいて常時データを監視できる。また、データが異常値を示した場合は、管理者の所持する携帯電話に緊急通報が入り、その場でデータを確認できる体制としている。

以上の設備等により、管理者は灌漑期の日常管理を行っている。後述するが、災害時においても同設備を用いて災害対応にあたることになる。とくに緊急時の場合は取水ゲート操作が重要となる。

(3) 想定されるS幹線水路の災害過程

S幹線水路における地震時および豪雨時に想定される災害過程について整理する。この場合も図-1に示したとおり、大規模災害時にはS幹線水路に一次災害が発生し、さらにその被害が誘因となり二次災害へと波及すると想定される。

a) 地震時における災害過程

地震時に想定されるS幹線水路の災害過程を図-3に示す。地震による地震動や地盤変位に直接起因する一次災害は、水路構造物の損壊、水路近傍の法面崩壊や地すべりの発生、広域的な電力系統の停電が考えられる。開水路における二次災害とは、決壊や溢水により民生や社会インフラに与える水害である。その決壊や溢水が生じる状況は、水路が損壊して大量の水が流出する場合と水路内の流量が増大しその水位上昇が許容を越える場合が考えられる。水路損壊の要因は、地震動・地盤変位が直接的に外力となる場合と法面崩壊・地すべりが外力となって引き起こされる場合が考えられる。また、水位上昇の要因は、法面崩壊・地すべりによる土砂が水路の流路を閉塞する場合と広域的な停電に伴う揚水機ポンプの一斉停止による場合が考えられる。この揚水機ポンプの停

止に伴う水位上昇の懸念は、現状において稼働する数基の揚水機場のポンプが一斉停止すれば、水路内の流量がその時点における放流量を上回り溢水する可能性があることを、聞き取り調査において指摘されたものである。

b) 豪雨時における災害過程

豪雨時に想定されるS幹線用水路の災害過程を図-4に示す。豪雨に伴い生ずる洪水に直接起因する一次災害として、降水の水路内流入に伴う水位上昇と水路近傍の法面崩壊・地すべりの発生が考えられる。その法面崩壊・地すべりにより水路の損壊や水路の閉塞が引き起こされる可能性がある。また落雷等に伴い広域的な停電が起こることも考えられ、それに伴う揚水機ポンプ停止による水位上昇の可能性は、前項において記したとおりである。以上の過程において水路損壊あるいは水位上昇に伴い決壊・溢水が生じれば、二次災害へと波及する。

(4) 災害時において想定される対応

前節において整理した地震時および豪雨時の災害過程はともに決壊・溢水に集約され、二次災害を招くとされる。それゆえ、両者ともに災害直後の危機管理として重要な点は、水路の決壊および溢水を抑止すること、あるいはそれを極力抑制して危険性を回避するという点である。そのための初動対応は、被害波及の元となる幹線用水路の通水を停止すること、すなわち頭首工における取水ゲートを閉鎖することである。

しかし、現実には災害の規模や状況は様々であり、災害時に必ずしも幹線用水路に重要な被害が発生するとは限らない。また、一旦幹線用水路の通水停止を行えば、その末端までの通水を再開するには数日を要し、その間の圃場への給水は途絶えてしまうことから営農への影響が懸念されることになる。すなわち、管理者は災害時においてその安全確保を最優先とするものの、同時に依然として農業用水の安定供給という責務を担っている。それゆえ、管理者は災害発生直後に、幹線用水路の通水を早急に停止するべきか、あるいは通水を続行するべきかの判断をしなければならない。明らかに管理者の周囲が被災している状況においてはそうした判断に迷いはないと考えられるが、現実の多くの場合は、対象とする幹線用水路の様子がわからない状況から情報を収集し管理を開始しなければならない。

以上のような状況も踏まえたS幹線用水路管理における災害対応フローを図-5に示す。管理者の初動に不可欠な判断材料は、幹線用水路の5箇所に設置される水位計および雨量計のデータである。管理者は所持する携帯電話によりその水位と雨量を確認することができ、それらが許容値を外れた場合には直ちに通水停止に向けた行動を開始する。また、そのとき被害通報の有無やメディアの情報なども判断の材料となる。まず、水位データ等に異常がみられず通水を続行すると判断した場合には、管理者は水位調整に気を配りながら、幹線用水路全

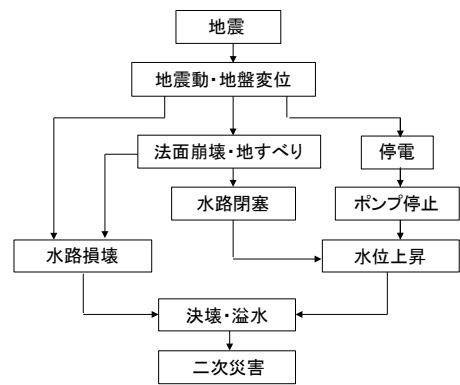


図-3 地震時に想定される S 幹線用水路の災害過程

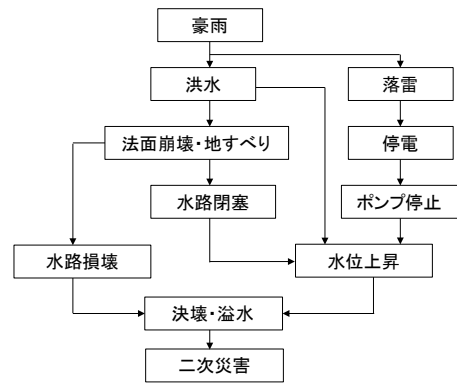


図-4 豪雨時に想定される S 幹線用水路の災害過程

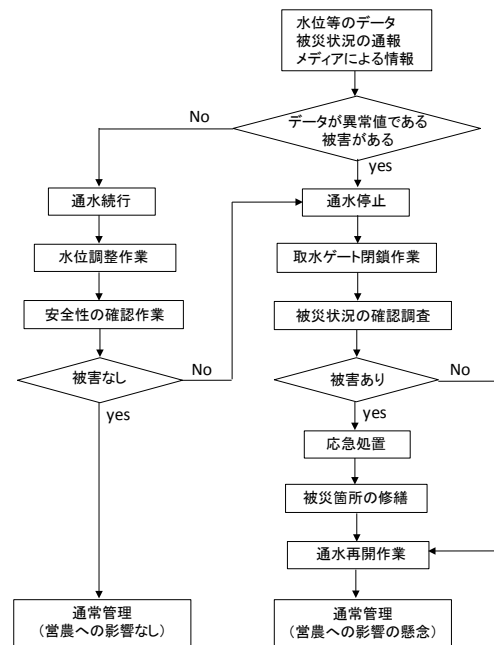


図-5 S 幹線用水路管理における災害対応フロー

線の安全性を確認する。そこでとくに問題がなければ、そのまま通常管理の監視を続けることになる。しかし、安全性の確認作業において異常箇所が見つかったならば、その時点で直ちに通水停止作業に移行する。次に通水停

止と判断した場合については、管理者は直ちに頭首工の管理委託者に連絡してS幹線用水路の取水ゲートを閉鎖するように依頼する。管理委託者が不在の場合は、管理者自らが現地へ急行して取水ゲートの閉鎖を行う。取水ゲート閉鎖に伴い水路内の水は放流口から徐々に抜け、最終的にはほぼ空の状態となる。その後、水路の被災状況の調査を実施し、とくに被災箇所が見あたらず問題なしとされれば、そのまま通水再開作業に移行する。被災箇所がある場合は、先ず直ちに被災箇所を土のうなどで応急的に修復しポンプで仮通水を行うなど、営農への影響を極力低減するための処置を施す。その後、被災箇所の本格的な修繕を実施し、その修繕完了後、通水開始作業を行い復旧完了となる。

このように、S幹線用水路管理において災害対応行動の大枠が想定されている。ただし、現場の管理では、過去に台風に備えて事前に通水停止を行ったことはあるものの、大規模かつ突発的な災害経験はなく、それゆえ以上のような対応実績はないとのことであった。

3. 災害対応に係るリスクの洗い出しと要因分析

前章では聞き取り調査結果に基づき、S幹線用水路の現状において想定される災害過程および災害対応について整理した。本研究では、今後こうした農業水利システムの災害対応に関するデータを集積し、そこでのリスクの洗い出しおよびその要因分析から適切な災害対応策を検討していく方針である。本論ではそのための手掛かりとなる有効な方法として、災害対応過程におけるリスクマップの作成とFTA手法を用いたリスク要因分析を試みたので、その結果の一部を以下に示す。

(1) リスクマップの概要

リスクマップに明確な定義はなく、その対象や用途により表現方法は異なる。①自然災害などのリスクの度合いを地図上に色分けしたもの、②影響度と発生頻度を両軸としたリスク評価の座標中に想定される被害事項をプロットしたもの、③業務の各プロセスにおいて起こりうる被害を記し、業務遂行に係るリスクの所在を模式化したものなどがある。いずれのリスクマップにも共通する目的は、リスクの可視化とその全体像の把握である。それにより関係者の間に共通の認識を形成するとともに、有事に想定される様々なリスクを机上で思考実験しながら議論するためのツールとして活用できる。

(2) 災害時初動におけるリスクマップ

図5に示した管理者の判断と取水ゲート閉鎖に相当する災害時初動におけるリスクマップの一例を図6に示す。前節(1)の③のタイプに相当するリスクマップである。先ず、現在想定されている災害時初動に関連するプロセスの全体像を描く。災害発生後、管理者は所持する携帯電話において幹線用水路の水位等のデータを確認する。また、支線管理者や防災対策本部から被災状況の情報も確認する。それらの状況から判断して、必要となれば幹線用水路の通水停止、すなわち取水ゲート閉鎖を目標とした行動を開始する。管理者は頭首工の管理委託者に早急に連絡し、取水ゲート閉鎖を依頼する。管理委託者は頭首工管理所へ移動し、速やかに取水ゲート閉鎖を行う。ただし、管理委託者への連絡が不能な場合は、管理者自らが現地へ移動してゲート操作を行う。

以上の一連の災害対応過程に対して、災害規模が大きいほどその各プロセスを阻害するリスクが高まる。ここ

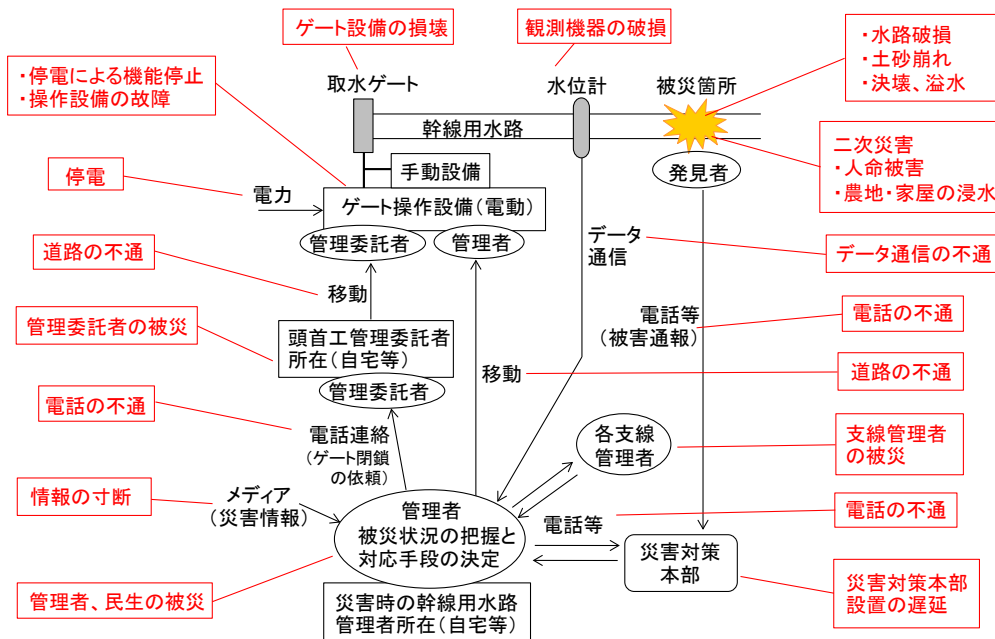


図6 S幹線用水路の災害時初動におけるリスクマップの一例

でのリスクとは、災害対応における各プロセスが被害を受ける可能性である。例えば「管理者の移動プロセスにおいて、道路が不通となる可能性（リスク）がある」ということになる。本リスクマップはそうした災害対応の各プロセスにおいて起こり得るリスクを吹き出しにより記した。先ず、管理者自身が被災して対応不可能な場合が考えられる。管理者が被災せずともデータ通信や電話が不通となれば、管理者は通水停止を行うべきか否かの判断材料を失う。緊急措置として通水停止を行うとしても、頭首工の管理委託者への連絡が不通である場合や管理者自身が頭首工へ向かうとしても、そこへ行くまでの道路が不通という状況も考えられる。委託管理者あるいは管理者が頭首工へ到着しても、停電により電動のゲート操作が不能であったり、ゲートの躯体設備そのものが損傷している場合も考えられる。

このようなリスクマップの作成により、ある被害に始まるリスクの所在を確認することができる。それにより現在想定している災害対応が、どの程度リスクを抱えたプロセスの集合であるのか理解されよう。しかし、図-6に示したリスクマップは完成した形ではない。関係者によるブレインストーミングや日常業務における「気づき」により、さらに多種多様な書き込みが可能と考える。また、そのマッピング作業を通じて、より確度の高い災害対応を実施するための机上訓練を行うことも有効なリスクマップ活用法のひとつとなるだろう。

(3) FTA手法によるリスク要因分析の概要

リスクマップの作成により、S幹線水路の災害対応過程において予想されるリスクとその所在を明確に示した。それは大規模な複合的災害を発端に各対応プロセスに係るリスクの洗い出しとその波及過程をシミュレーションする、いわば演繹的な分析作業である。それに対して、FTA手法はある特定の事象（リスクの発現により陥った望ましくない状態）から発して、その要因を詳細に追及していく帰納的な分析手法である。リスクマップにより現在の災害対応が抱えるリスクの全体像を把握した後、FTA手法を用いて特定の対応過程についてそのリスク要因を分析することで、課題を的確に具体化できるものとする。

FTA手法はシステムの信頼性を高めるため、故障要因を特定する1手法として開発された分析方法である⁴。それは次のようなFT図の作成を基本とする。先ず対象とする事象（頂上事象）を出発点とし、その直接要因（欠陥事象）を並べて書き出す。その欠陥事象がさらにいくつかの直接要因である欠陥事象により発生するものであれば、またそれを並べて書き出す。以下同様な手順を繰り返し、最終的に基本的な発端となる要因（基本事象）にいたる。また、その各事象のレベル間をAND記号 □ とOR記号 △ で結びつけて整理することが、重

要なポイントである。こうして描かれたFT図は、頂上事象から下位の欠陥事象へ樹木の枝のように拡大していくところから、本手法はFTA：Fault Tree Analysisと命名されている。

(4) 取水ゲートの閉鎖不能におけるFTAの適用

本論では頂上事象として、取水ゲートを閉鎖しなければならない状況にも関わらず取水ゲートが閉鎖されないという事態について、FTA手法の適用を試みた。図-7にそのFT図の一部を示す。先ず頂上事象を「取水ゲートの閉鎖不能」とする。そうした事態が発生する直接的な欠陥事象は「取水ゲートが動作しない」「取水ゲートを操作する者がいない」場合である。これらの欠陥事象は、そのどちらかの事象により頂上事象が起こりうるものであるから、OR記号により頂上事象と結び付けられる。「取水ゲートが動作しない」場合は、「ゲート躯体設備の損傷」と「ゲート操作の不能」が考えられる。S幹線水路の取水ゲートの操作は電動操作を基本とし、災害時用のバックアップとしてガソリンエンジンによる駆動操作を備え、さらに手動による操作も可能としている。これらすべてのゲート操作が「電動操作の不能」「エンジン駆動操作の不能」「手動操作の不能」となった場合に、完全に「ゲート操作の不能」という事態となるので、その事象間はAND記号を用いて結ぶ。また、欠陥事象「取水ゲートを操作する者がいない」は「取水ゲートを閉鎖しないと判断」「管理者の被災」および「道路の不通」を下位の欠陥事象として起りうる。△の記号は、その欠陥事象の後にさらに連なるFT図の省略を示す。ただし、図-7では欠陥事象「取水ゲートを閉鎖しないと判断」について、さらにFT図を展開した結果について示した。以下、同様に上位の欠陥事象の直接要因となる下位の欠陥事象を挙げていき、最下段の基本事象にいたる。この場合の基本事象から、次のような具体的な課題が示唆された。

- ① 被害発見者の情報発信から管理者の情報受信までをより確実にするための方策が必要である（管理者と地域住民との連携、被害通報先の周知、災害対策本部等の早期立ち上げ、連絡手段の強化など）。
- ② 被害の発見が困難な場所、例えば周囲が無人または異常に気づきにくい場所などにおける被害の早期発見手段が必要である。
- ③ 被害が顕在化するまでの時間およびその過程を把握しておく必要がある。
- ④ 水位計やデータ送受信装置の故障時には、どのような計測値を示すのか確認しておく必要がある。
- ⑤ 現状の水位および雨量の観測点数や配置で、幹線水路の異常を捉えることができるのか確認する必要がある。

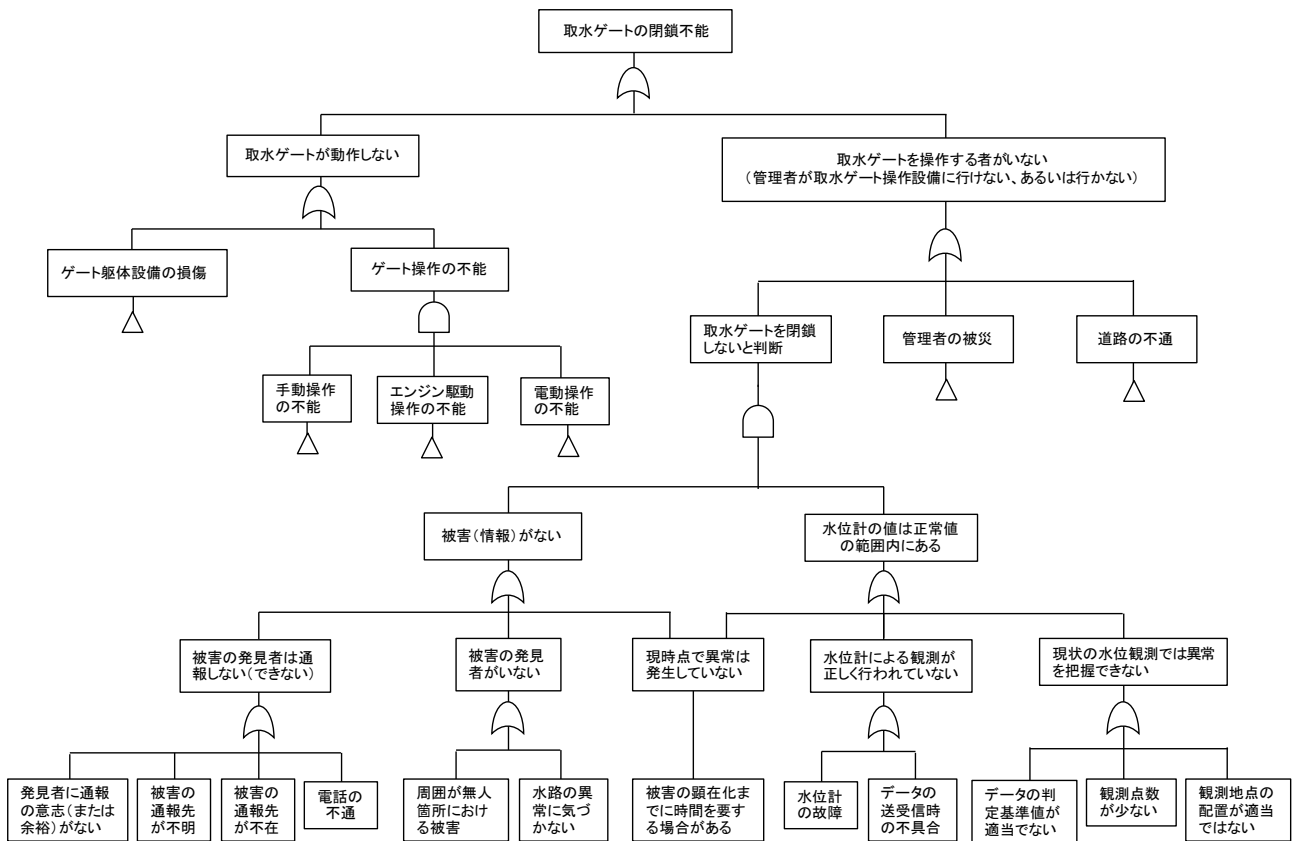


図-7 取水ゲートの閉鎖不能に係るリスク要因分析FTA図の一例

①の課題への対応は、管理者のみでその実現は不可能で、水路沿線の市町村にまたがる連携が望まれる。②の課題については、先ず被害発見の困難な場所を平時から確認し、その状況に応じて対応を検討することから始める。③および⑤の課題への対応として、数値シミュレーションなどにより地震または豪雨の規模やその被害状況に応じた幹線用水路の水位状況などを明らかにすることが考えられる。④の課題については、現地の水管理システムにおいてテスト確認ができればよい。

以上のように災害対応に係るFTA手法を用いたリスク要因分析により基本的な課題が挙げられ、それに関する対応策を具体的に検討できる。また、このような対応策には、現状の管理において比較的容易に実施可能なものから、その実現には時間を要するものまで、その課題対応のレベルは様々である。実際の現場では、すべての課題が重要と認識されても、時間やコストに制約がある中で差しあたり可能な対応策は何かということが現実問題として重要なことであろう。そうした現場のニーズに応じた対応策の提案を行うことも重要と考える。

4. おわりに

本論では、聞き取り調査に基づき、現状の幹線用水路管理において想定されている災害過程および災害対応を整理し、そのリスクマップおよびリスク要因分析の一部

を示した。今後、同様な調査および分析をさらに進めていき、研究内容の充実を図っていきたい。

謝辞：本研究の実施にあたり、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などにおいて多大なご支援をいただいた。また、聞き取り調査にご協力いただいた土地改良区には、用水路管理の現状や想定される災害対応などについてご教示をいただいた。ここに記して心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 細井和夫：水資源機構における大規模地震対策への取り組み、水土の知、76(1)、9-12、2008。
- 2) 清野純史：地震とライフライン被害、活断層研究、28号、95-106、2008。
- 3) 事業継続計画策定促進方策に関する検討会 内閣府防災担当：事業継続ガイドライン 第二版 ーわが国企業の減災と災害対応の向上のためにー、1-10、2009。
- 4) 小野寺勝重：ISO 9000品質システム構築に役立つ手法シリーズ 国際標準化時代の実践FTA手法 ー信頼性、保全性、安全性解析と品質保証ー、日科技連、2007。