

2. 施設または地点ごとの被災リスクの評価手法の高度化

2.1 土石流による土砂災害リスク評価手法の検討

2.1.1 はじめに

IPCC 第4次評価報告書によると、日本周辺では、2080年から2099年の将来の降水量は1980年から1999年の現在と比べて年平均で9%増加すると予想された¹⁾。また、全国のアメダス観測所における観測結果を整理すると、全体の約7割で年最大時間雨量が増加傾向を示した。これらのことから、土石流による土砂災害リスクは今後大きくなることが予想されるため、効率的な土砂災害リスク低減対策が求められている。そのためには構造物による対策と、構造物によらない対策の両方を考慮して土砂災害リスクを算定しなければならない。しかし両者を組み合わせて評価する手法はまだ確立されていないのが現状である。

2.1.2 研究目的と研究方法

効率的な土砂災害リスク低減対策を求めるためには、構造物による対策と構造物によらない対策の両方を考慮して土砂災害リスクを算定しなければならない。構造物による対策については、土石流を捕捉し導流して保全対象へ流入させないための砂防設備の配置²⁾といった観点で研究が進んできた。一方構造物によらない対策については避難の判断をする基準³⁾や土地利用規制⁴⁾、避難計画⁵⁾などを中心に研究が進んできた。そのため、両者を組み合わせて評価する手法はまだ確立されていない。

本研究では、構造物による対策と構造物によらない対策を組み合わせた対策による、土砂災害リスクの低減効果を評価する手法の開発を目標とし、その基礎となる土砂災害リスクの算定方法について検討したので、ここで報告する。

2.1.3 土石流による土砂災害リスクの算定方法

(1) 対象とする被害

本研究で扱う土砂災害リスクは、公共事業評価⁶⁾を参考に、土石流によって被る人的被害と物的被害とした。

(2) 算定方法

1) 算定の流れ

図 2.1-1 は土砂災害リスクの算定の流れである。まず、土石流の流れの状態を2次元平面上で土石流氾濫計算を用いて計算した。次いで、住民の避難を同一平面上で計算した。最後に、土石流の流れの状態と住民の避難を重ね合わせて人的被害と物的被害を算出した。

2) ハイドログラフの設定

本研究では簡略化のために、ハイドログラフは三角形とし、想定した土砂量に見合う時間だけ計測すると仮定した。なお、土石流ピーク流量は文献⁷⁾により算出した。

3) 土石流氾濫計算

土石流の流れの状態は土砂の連続式を加えた2次元浅水流モデルを基礎式とした有限体積法で逐次計算した。土砂の堆積速度と侵食速度が土砂の連続式の湧き出し項に組み込んだ。なお、計算方法の詳細は文献⁸⁾を参考にしていきたい。

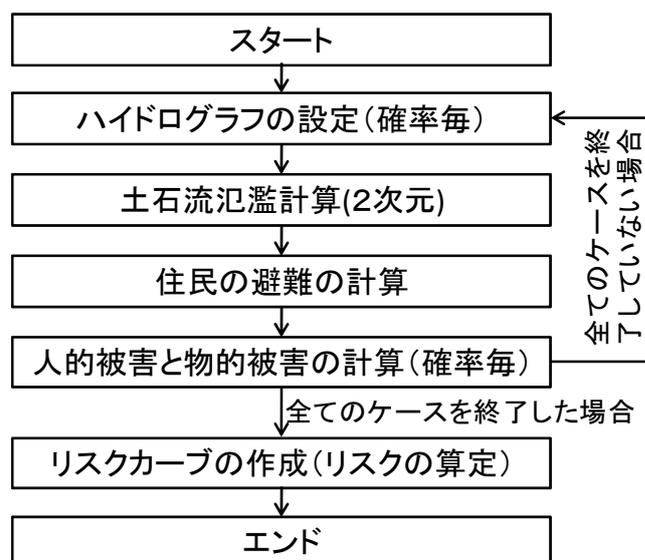


図 2.1-1 算定の流れ

4)住民の避難の計算

本研究では構造物によらない対策の効果も算定するため、避難勧告・指示，土砂災害警戒情報，近隣住民からの伝聞といった情報，時々刻々変化する土石流の流れの状況といった視覚から得られる情報等が住民の避難行動に及ぼす影響を考慮する必要がある。そこで，即応性・目的志向性・社交性を考慮できるマルチエージェントシステムを採用した。

最近では，土砂災害に対する警戒避難について住民に対してアンケート⁹⁾がなされるようになり，住民の避難行動が明らかになりつつある。しかしながら，住民が避難を決断する基準や，選択するルートや方向といった行動の基準がまだ明確になっていない。そこで，本研究では，各住民すなわちエージェントは以下のルールに従って行動すると仮定した。

- ①土石流の発生と同時に，エージェントは避難を始める。
- ②土石流がエージェントの視野に入っていない場合，エージェントは道路に沿って高い方向に向かう。
- ③土石流がエージェントの視野に入った場合，エージェントは道路に関わらず標高の高い方向に向かう。

5)人的被害と物的被害の計算

人的被害は文献⁹⁾では逸失利益や医療費の財産的損害と本人や家族の受ける精神的損害としているが，本研究では簡略化して財産的損害を対象として避難不可能な状態のエージェントの総数とした。なお，避難不可能な状態は，石礫が流れてくることを考慮して，洪水よりも低い「エージェントの存在する場所における水深が0.1m以上」の状態と仮定した。

物的被害は文献⁹⁾では資産としているが，本研究では簡略化して破壊した建築物の総数とした。なお，建築物に作用する土石流の流体力が建築物の耐力を上回った場合に破壊と判断した。

6)リスクカーブの作成

リスクカーブは2.2.5で算出した被害をハイドログラフの確率別にプロットして作成した。

(3)算定事例

図 2.1-2 は架空の集落の地形から作成した計算メッシュと、エージェントと建築物の配置を示したものである。エージェントの移動速度は 1.0m/s とした。なお、エージェントから半径 2m 内で土石流の水深が 5cm 以上となった場合に、「土石流がエージェントの視野に入った場合」と判断した。図 2.1-3 は確率別のハイドログラフを示したものである。ピーク流量はそれぞれの年超過確率での時間雨量の値の比を単純にかけて設定した。なお、土砂容積濃度は 3 ケースとも 0.3 で一定とした。図 2.1-4 は人的被害の計算例で、100 年超過確率の場合の結果である。左岸側のエージェントは道沿いに避難した。しかし、土石流が 50 秒以降エージェントの視野内に入ってきたため、それらのエージェントは近くの高台でとどまっていた。右岸側のエージェントは道路沿いに避難したが、すぐに土石流を認識したため、右岸側の山腹へ向きを変えて避難した。図 2.1-5 は物的被害の計算例で、100 年超過確率の場合の結果である。6 戸の建築物が破壊した。

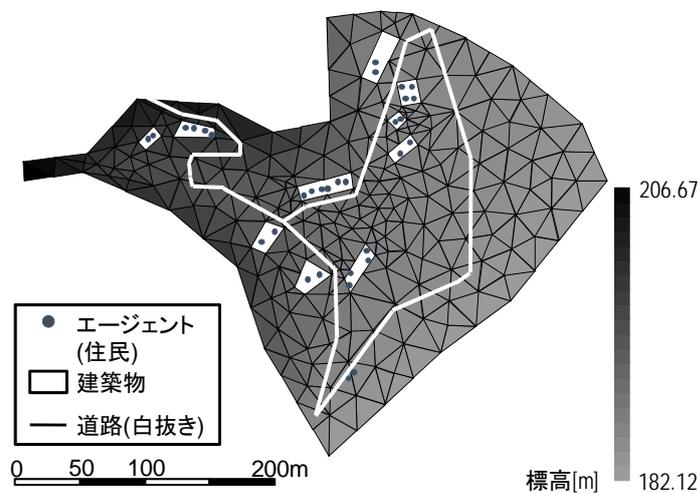


図 2.1-2 計算に用いた地形とエージェント等の配置

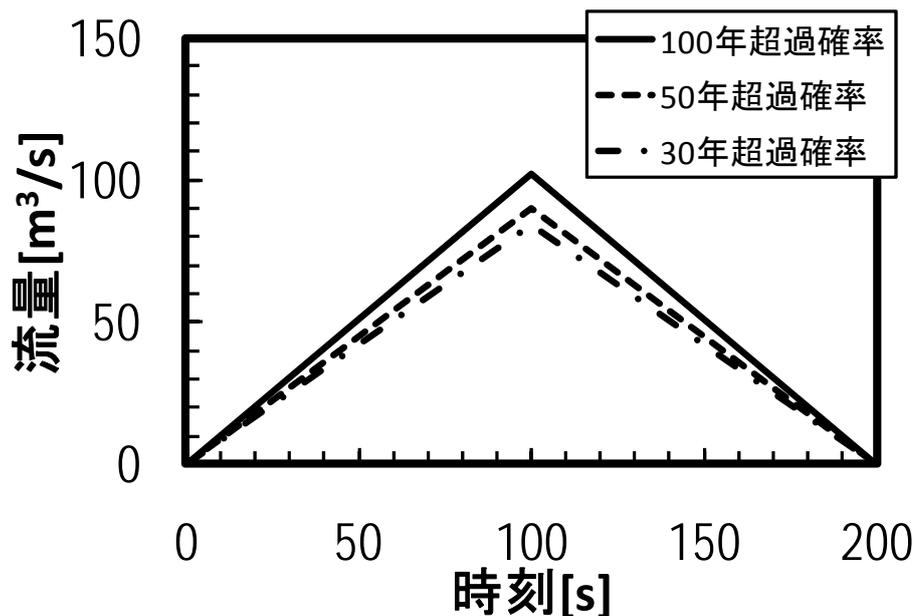


図 2.1-3 ハイドログラフ

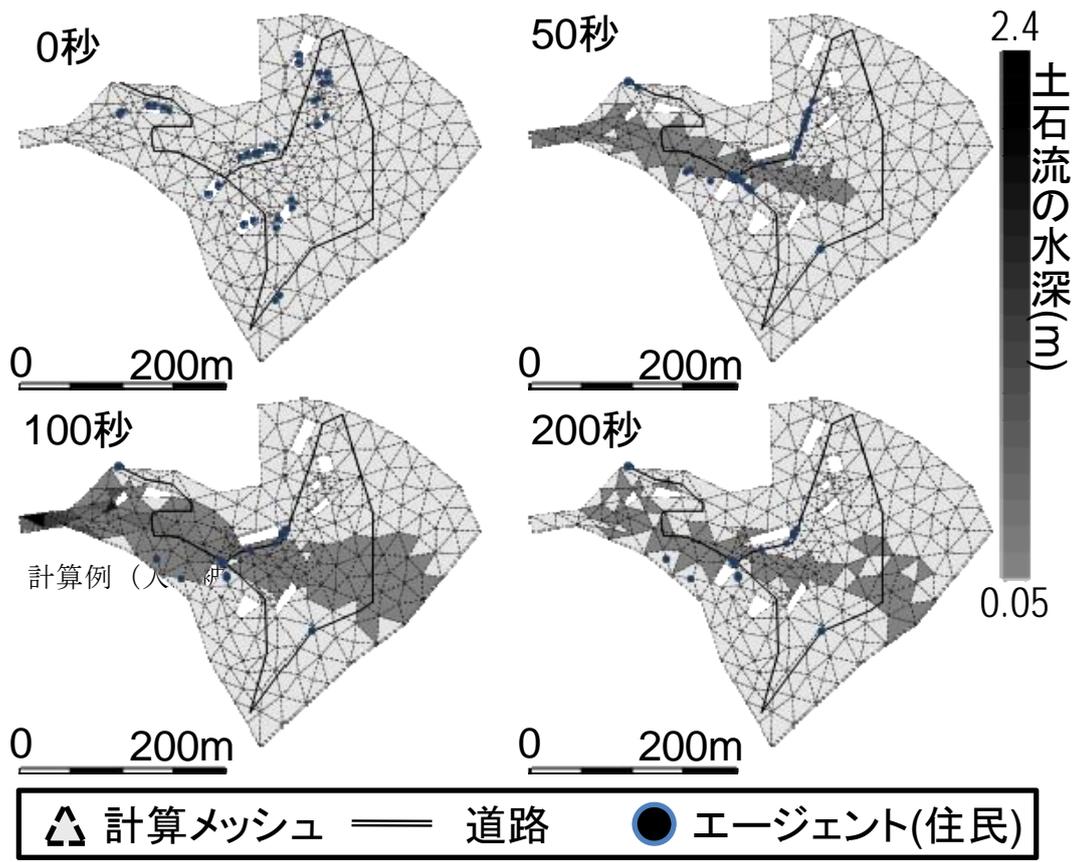


図 2. 1-4 計算例 (人的被害)

図 2.1-4 計算例 (人的被害)

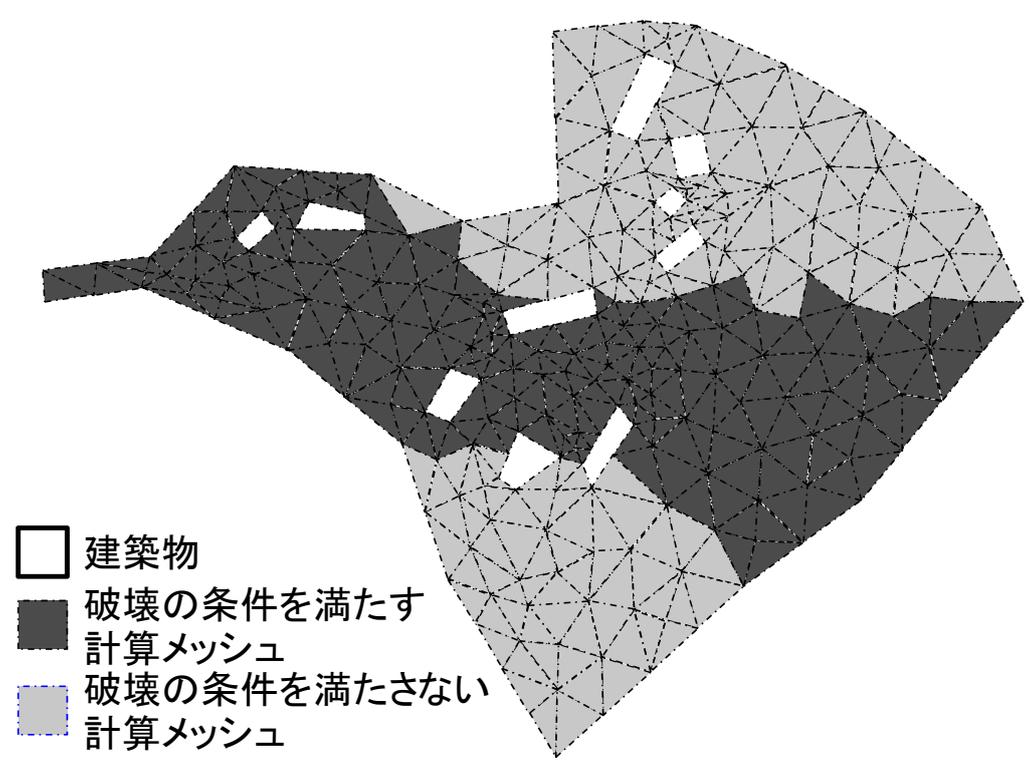


図 2.1-5 計算例 (物的被害)

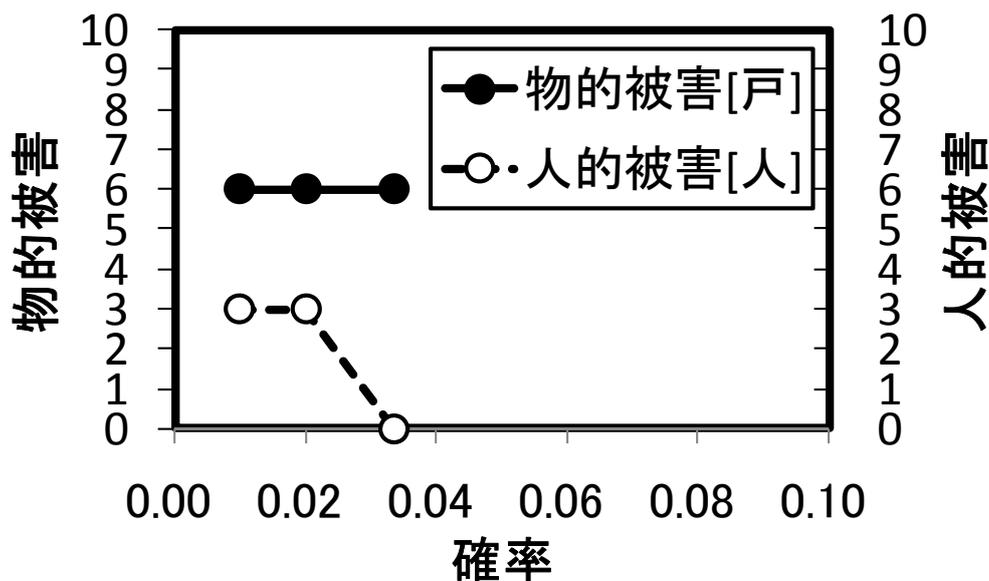


図 2.1-6 リスクカーブ

2.1.4 土砂災害リスクの算定方法に関する考察

図 2.1-6 は人的被害と物的被害に関するリスクカーブである。今回の事例では、3つの確率規模に対して、それぞれの人的被害と物的被害を算定した。想定したような避難行動がなされるという仮定の下では、確率が大きくなるとともに、人的被害は少なくなった。一方、物的被害は3ケースともに同じ数値となった。これはハイドログラフに大きな差がなかったためと考えられる。本報告では、土石流による土砂災害リスクの算定方法の検討に主眼を置いたため、ハイドログラフの設定と住民の避難行動の設定においてかなり簡略化したため、前述のような傾向が表れたと考えられる。

2.1.5 まとめと今後の課題

ここでは土砂災害リスクの算定方法の検討結果を報告した。今後は今回簡略化した箇所を詳細に詰めていき、土砂災害リスクの算定方法を確立していきたいと考えている。さらに、構造物による対策と構造物によらない対策の両者の効果も考慮した算定方法も開発していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) Susan Solomon et al.: Climate Change 2007 The Physical Science Basis, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, p.855, 2007
- 2)中川一ら：1999年ベネズエラのカムリグランデ流域で発生した土砂災害について—数値シミュレーションによる再現計算と砂防施設配置効果の評価—，京都大学防災研究所年報第44号 B-2, p.207-228, 2001年
- 3)野呂智之ら：土砂災害発生危険基準線に対する客観的な設定手法の有効性，土木技術資料 47-4, p.26-31, 2005年
- 4)寺田秀樹ら：土石流による家屋被災範囲の設定方法に関する研究，国総研資料第70号，146pp. 2003年
- 5)中川一ら：GISを用いた避難行動の解析—岐阜県吉城郡上宝村栴尾地区周辺を対象に—，京都大学

防災研究所年報第 40 号 B-2, p.397-407, 1997 年

6)建設技術研究会：公共事業評価の手引，新日本法規，p.89，2004 年

7)危機管理技術研究センター砂防研究室：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，国総研資料第 364 号，p.43，2007 年

8)水野秀明ら：天然ダムの湛水池への段波の突入による水位変化に関する影響に関する研究，国総研資料第 333 号，p.27-32，2006 年

9)小山内信智ら：土砂災害警戒情報の運用と活用状況，砂防と治水第 180 号，p.22-26，2007 年

2.2 降雨で発生する斜面崩壊のリスク分析手法の検討

2.2.1 はじめに

毎年、台風や梅雨前線による大雨や地震等により、多数のがけ崩れが発生し、甚大な人的・物的被害が出ている。がけ崩れの発生の恐れがあるとされている急傾斜地崩壊危険箇所（人家5戸以上）は平成14年度時点で全国に113,557箇所存在する¹⁾。災害を防止するためには、のり枠工や待受擁壁といった対策施設を整備する必要があるが、その整備率は平成18年度末で約25%と非常に低い水準にとどまっている¹⁾。今後、がけ崩れ対策を効率的に推進していくためには、個別の急傾斜地崩壊危険箇所についてがけ崩れによる災害リスクを評価し、それに基づいて対策の内容を決定したり、優先的・積極的に施設整備を行う箇所を決定したりすることが望ましいと考えられる。しかし、がけ崩れによる災害リスクを定量的に評価する手法はまだ確立されていないのが現状である。

2.2.2 研究目的と研究方法

国土技術政策総合研究所砂防研究室では、がけ崩れの発生した斜面の形状やその誘因、がけ崩れの規模、被害状況等に関する情報を昭和47年から収集しており、平成19年までで約19,000件のデータを蓄積している²⁾。これらのデータを活用することにより、がけ崩れ災害リスクを評価する手法を開発できると考えられる。本研究では、さまざまな誘因イベントの中で最も発生件数の多い降雨によるがけ崩れ災害について、リスク評価手法を構築した上でモデル地区への適用を行った。

位置		崩壊発生年月日		発生時間		斜面特性					崩壊規模					誘因			降雨			人的被害		被災戸数										
県名	市町村名	西暦	元号年	月	日	時	分	斜面種類	横断形状	縦断形状	勾配	高さ	基岩種類	崩壊頭部までの高さ	崩壊部分の幅	面積 幅×斜面長	勾配	崩壊部分の深さ	崩壊土量	崩土の到達距離	主要因コード	崩壊発生原因	異常気象名	発生時までの連続雨量	発生時までの日雨量	発生時までの最大時間雨量	保全対象人家戸数	死者数	不明者	負傷者数	全壊	半壊	一部破損	その他の被害

表 2.2-1 がけ崩れ災害データの主なデータ構成

2.2.3 がけ崩れ災害データの概要

がけ崩れ災害データを構成する主要な項目は、表 2.2-1 に示すように、位置情報（場所、地域性）、時間情報（災害発生の年月日、時間）、斜面情報（場の特性・斜面の特性）、災害の規模情報（ハザード特性）、誘因（イベント）情報、被害・被災情報（損失等の大きさ）等である。がけ崩れ災害データのうち、降雨を誘因とする崩壊の深さが4m以下の比較的浅い崩壊について、災害の規模（ここでは崩壊土量）と発生頻度の関係を基岩別に分析した（図 2.2-1）。用

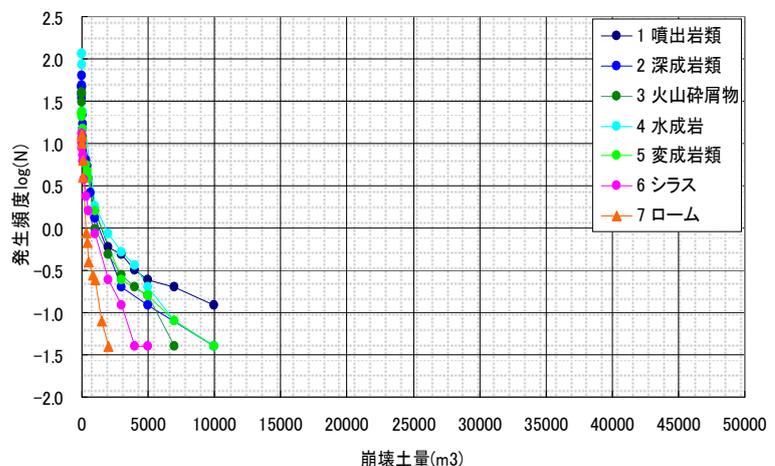


図 2.2-1 基岩別の崩壊土量と発生頻度の関係

いたデータの期間は、基岩の種類が記録されている昭和 47 年～平成 11 年である。図 2.2-1 によると、災害の規模が小さい災害はその発生頻度が高く、逆に規模が大きい災害はその頻度が低い傾向にあることが分かる。

2.2.4 かけ崩れ災害リスク分析モデルの全体構成

かけ崩れ災害リスク分析モデルの基本的な構成を図 2.2-2 に示す。このリスク分析モデルは、斜面崩壊発生頻度モデルと損失予測モデルから構成している。このうち、斜面崩壊発生頻度モデルは、ハザード評価（ハザードの予測数量化）に関わる予測モデルである。一方、損失予測モデルは、斜面災害による社会的な損失、いわゆる物的損失や人的被害等の予測モデルである。リスクは、ハザード評価の結果から損失を予測評価した上で、災害発生年の超過確率と損失の大きさの関係から定量化することができる。以下、斜面崩壊発生頻度モデルと損失予測モデルについて解説する。

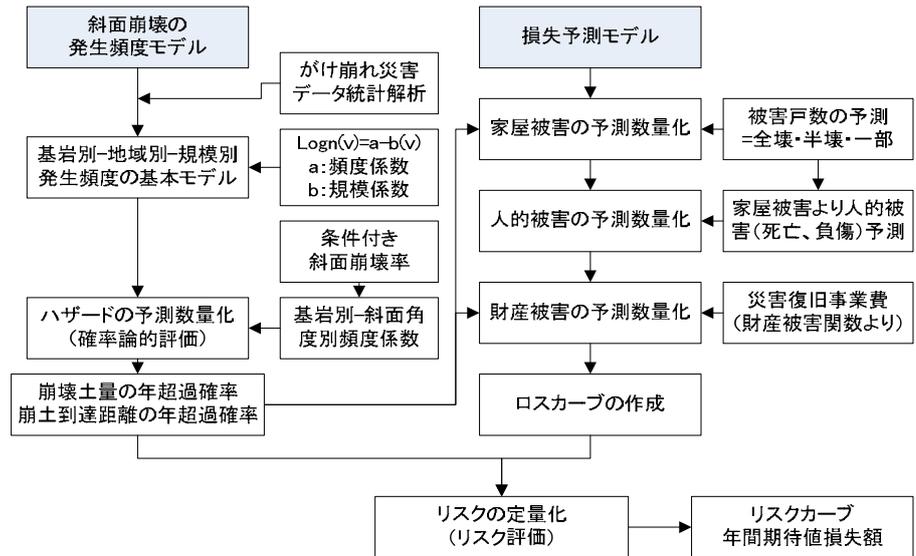


図 2.2-2 斜面崩壊リスク分析モデルの構成

2.2.5 斜面崩壊発生頻度モデル

(1) モデル化にあたっての着眼点

昭和 47 年～平成 19 年の 36 年間における降雨を誘因としたかけ崩れ災害データを用いて、斜面崩壊リスク評価の基本となる災害の発生頻度に関するモデル化の検討を行った。モデル化にあたっての主な着眼点は以下のとおりである。

- 確率論的な評価手法であるとともに、全国的に適用可能な手法であること。
- 斜面崩壊の発生場所（地域、地質）や誘因の特性について考慮できること。
- 損失予測モデルと組み合わせてリスク分析モデルの適用性等を検討できること。

(2) 用いたデータ

検討に用いたのは、過去 36 年間のかけ崩れ災害データの中

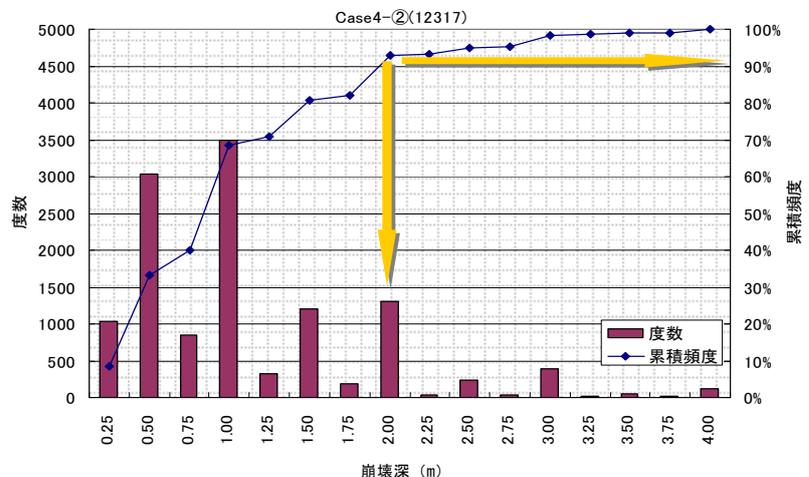


図 2.2-3 検討に用いた災害データの概要

から、降雨を誘因とするデータでかつ地すべり的な崩壊を除いたものである。図 2.2-3 は検討に用いた災害データの崩壊深に関する頻度分布図である。崩壊深は最大 4 m、累積頻度の約 90%が崩壊深 2 m であり、一般的ながけ崩れを代表するデータであると言える。

(3) モデル化の方法

災害データをもとに、①全基岩—都道府県別と②基岩別—地域別について、災害規模（ここでは崩壊土量とした）別の発生頻度を統計分析で検討した。

①全基岩—都道府県別については、36 年間の災害データをもとに、全ての基岩について都道府県別の崩壊土量と災害の発生頻度の関係を分析した。全基岩—都道府県別に整理した崩壊土量と発生頻度との関係を図 2.2-4 に示す。

②基岩別—地域別の検討では、基岩の種類が記載されている昭和 47 年～平成 11 年までの 28 年間の災害データを用いた。基岩は災害データで分類されている噴出岩類、深成岩類、火山砕屑物、水成岩、変成岩類、シラス、ロームの 7 種類とした。また、地域は北海道・東北地方、関東地方、北陸地方、中部地方、近畿地方、中国地方、四国地方、九州地方（沖縄を含む）の 8 地域とし、概ね地方整備局が管轄する範囲と同様とした。基岩別—地域別に整理した崩壊土量と発生頻度との関係を図 2.2-5 の

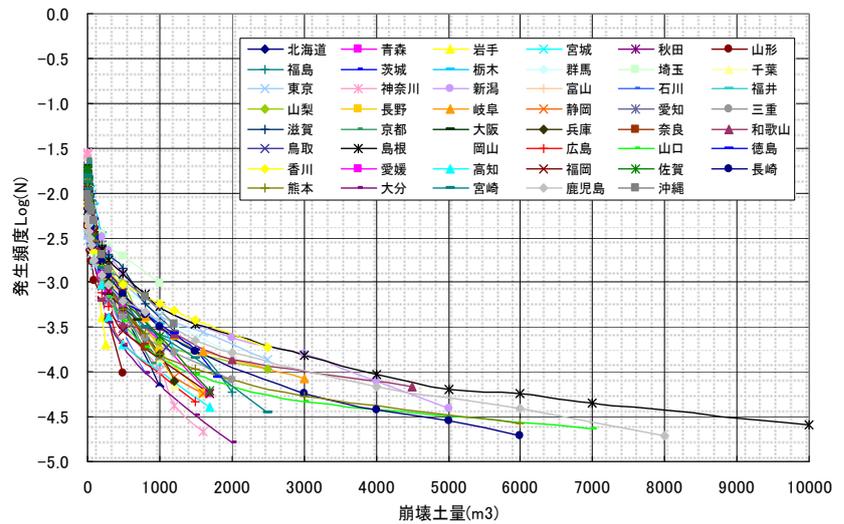


図 2.2-4 全基岩—都道府県別の崩壊土量と発生頻度の関係

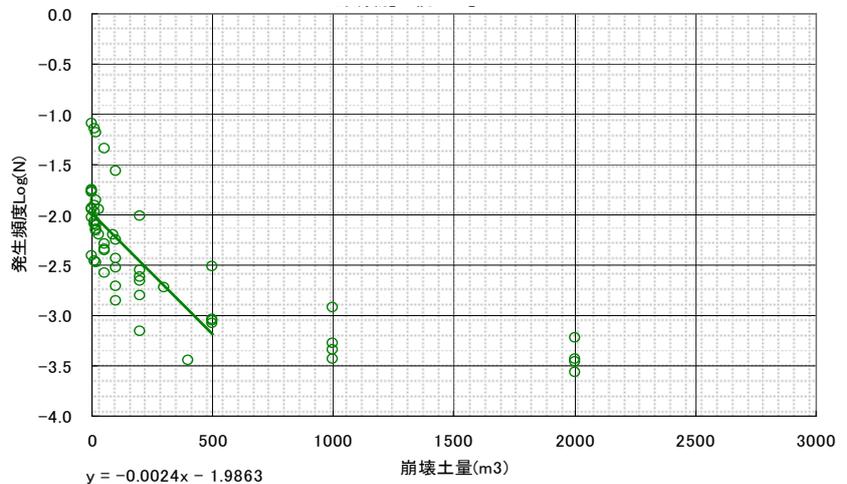


図 2.2-5 基岩別—地域別の崩壊土量と発生頻度の関係および斜面崩壊発生頻度モデル（火山砕屑物—九州地方）

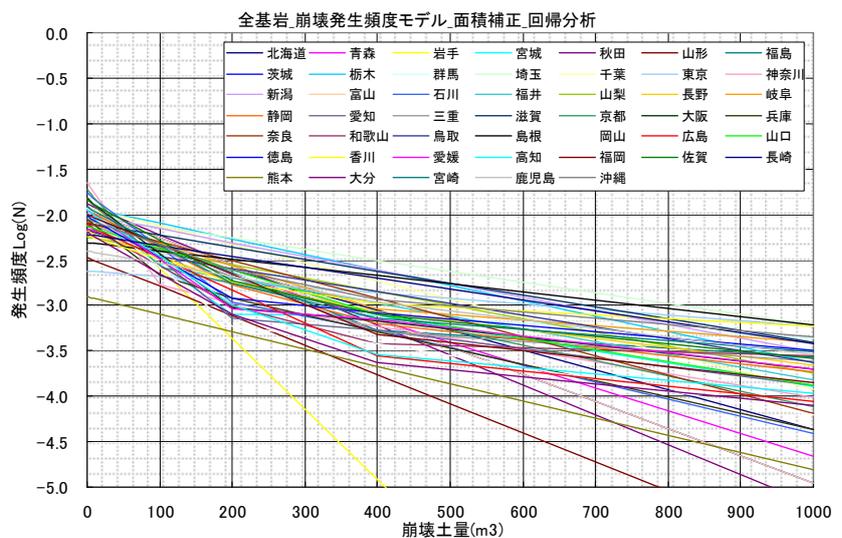


図 2.2-6 全基岩—都道府県別の斜面崩壊発生頻度モデル

丸印（一例として火山砕屑物－九州地方）に示す。

図 2.2-4 および図 2.2-5 に示された関係をモデル化するにあたって、斜面崩壊が発生する年平均の回数を次のように求めた。T 年間に k 個の崩壊データがある場合、崩壊土量 V の任意の値を v とし、k 個のデータのうち崩壊土量が v を超えているものの割合を $\phi(v)$ とし、 $V > v$ となる斜面崩壊の年平均回数 $nh(v)$ は次式で表わされる。

$$nh(v) = \phi(v) \frac{k}{T} \text{-----}(2.2-1)$$

すなわち、崩壊土量 V の任意の値 v と $nh(v)$ ($\log nh(v)$) との関係が崩壊土量の発生頻度となる。斜面崩壊の発生頻度は、この関係がスケーリング則に従うと仮定し、次式でモデル化するものとした。

$$\log nh(v) = a - b(v - V_L) \text{-----}(2.2-2)$$

ここで V_L は工学的に意味のある最小の崩壊土量であり、経験的にこの値が小さくなると被害の発生も小さくなるような値である。また、a は発生頻度を表す係数、b は崩壊の規模を表す係数である。回帰分析等で係数 a、b を求めることで、斜面崩壊の発生頻度モデルが設定できる。なお、係数 a から崩壊土量が V_L 以上となる崩壊の年間発生回数は以下ようになる。

$$v_0 = 10^a \text{-----}(2.2-3)$$

あるエリア内（今回の分析では都道府県単位）で任意の期間に発生する斜面崩壊は、そのエリア内固有の素因の大きさに支配されると考えられるため、面積比係数として「100 m² / 崩壊地面積」で補正処理を行うこととした。面積比で補正して得られた最終的なモデル関数を、①全基岩－都道府県別については図 2.2-6 に、②基岩別－地域別については図 2.2-5 の直線（一例として火山砕屑物－九州地方）に示す。

(4) 条件付き斜面崩壊率の設定

先に説明した崩壊の規模を表す係数 b 値は、都道府県単位、地域単位で設定した値でモデル化することができる。一方、斜面崩壊の頻度を表す係数 a 値は斜面の崩れやすさを意味し、この a 値を斜面ごとに設定することで各々の斜面固有の崩れやすさを反映した発生頻度モデルとなる。先に設定した a 値は平均的な値

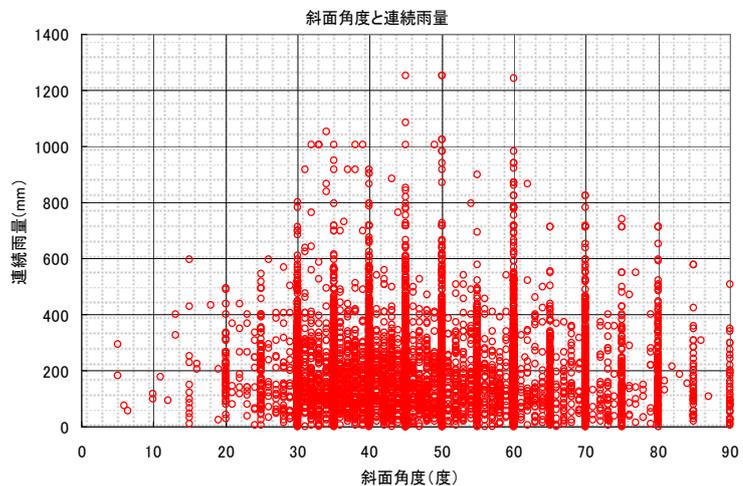


図 2.2-7 全基岩の斜面角度と連続雨量の関係 (分布図)

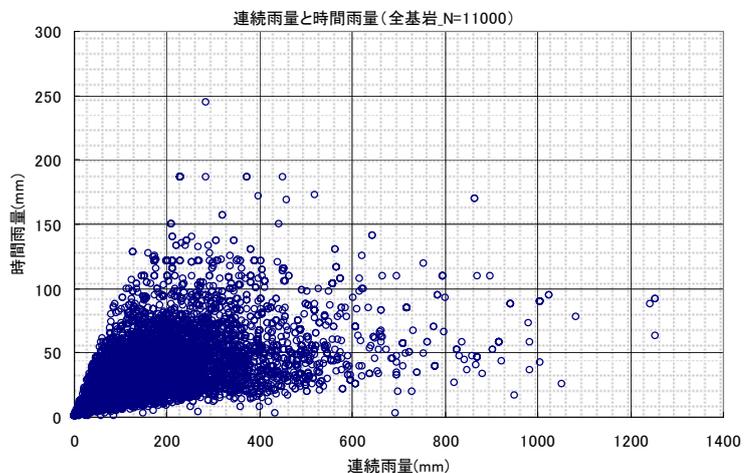


図 2.2-8 全基岩の連続雨量と時間雨量の関係

である。このため、個別の斜面での崩れやすさの違いについては、降雨量－斜面角度との相関から設定を試みた。

降雨による斜面の崩壊現象を考えた場合、崩壊発生時までの連続雨量と時間雨量がともに関係すると考えられる。斜面角度と連続雨量の関係（図 2.2-7）を見ると、バラツキはあるものの、平均値や中央値で見ると斜面角度が緩くなるに従って連続雨量は多くなる傾向が現れている。一方、連続雨量と時間雨量の間には明瞭な相関関係は見られなかった（図 2.2-8）ため、ここでは連続雨量に着目することとした。

崩壊率は次のように設定した。まず、斜面角度別の連続雨量の平均値を求め、斜面角度と災害発生時までの連続雨量との関係を回帰近似による関数式で定義した（図 2.2-9）。次に、連続雨量の変化と災害の発生数（年平均）との関係を分析し、平均的な斜面角度に対する崩壊率を 1.0 と仮定して、上記の斜面角度と雨量との相関式をもとに斜面角度別の崩壊率を設定した（図 2.2-10）。なお、平均的な斜面角度の崩壊率を 1.0 とした理由は、災害データから斜面崩壊の発生頻度モデルを定義するに際し、規模別の頻度として分析した値の平均値をモデル化したことから、ここでの基準も合わせるためである。基岩別でも同様の考え方に基づいて斜面角度と崩壊率の関係を設定した。図 2.2-11 に一例として火山砕屑物に対する斜面角度と崩壊率の関係を示す。斜面崩壊のリスク評価に際しては、斜面角度を変動値とした崩壊率を求め、頻度の係数 a 値に乗じることで個別の斜面に対応した頻度係数 a' 値を得ることになる。

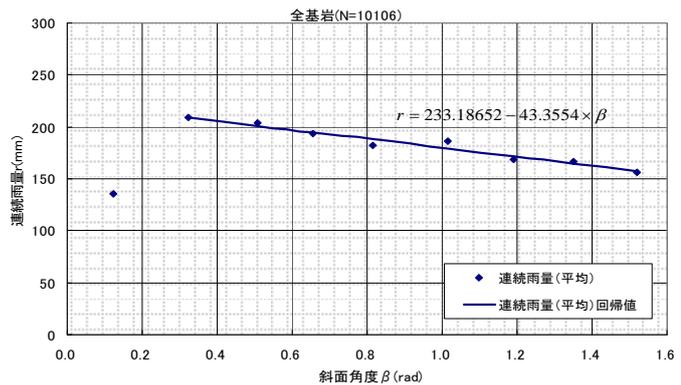


図 2.2-9 全基岩の斜面角度と連続雨量の関係（回帰線）

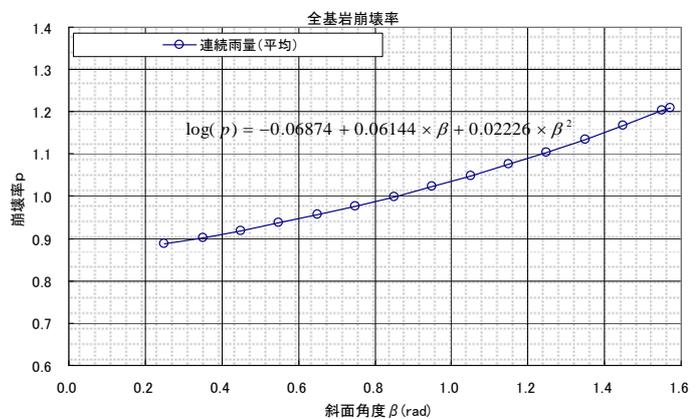


図 2.2-10 全基岩の斜面角度と崩壊率の関係

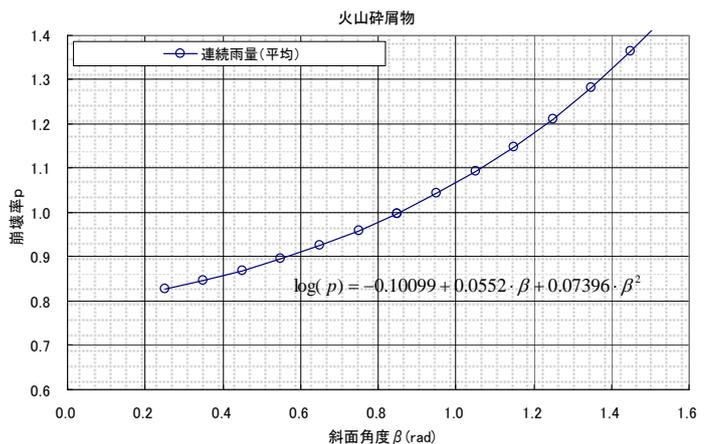


図 2.2-11 基岩別の斜面角度と崩壊率の関係
(火山砕屑物)

2.2.6 損失予測モデル

損失の予測対象は、家屋被害・人的被害・財産被害とした。モデル化に当たっては、災害データからそれぞれの被害関数について設定した。

(1) 家屋被害

災害データには、斜面崩壊によって被災した家屋の被災レベルとして全壊、半壊、一部損壊の3つで整理されている。被害予測のモデル化では、斜面崩壊の発生頻度モデルと同様に崩壊土量をパラメータとして、この3つのレベルの損失を予測するための被害関数を検討した。ただし、災害データには、保全対象家屋数は示されているものの位置情報がないため、保全対象家屋数に対する被災

家屋数を家屋の損失率とした。すなわち、ここでの損失率は0~1.0となり、家屋被害がない場合が0、全ての保全対象家屋が被害を受けた場合は1.0とした。被害予測のための被害関数は、既知である保全対象家屋数に損失率を乗じることで、被害戸数が得られるものとした。

家屋被害の被害関数は次のようにして求めた。家屋被害の形態は、災害データでの記録と同様に全壊、半壊、一部損壊の3つの被災レベルとした。家屋被害が記録されているデータのみを用いて、任意の崩壊土量(5~50 m³, 50~100 m³, ...)における損失率を抽出し、これが対数正規分布の確率量に従うものとしてその平均値を算出して被害関数を設定した。災害データによると、斜面崩壊によって被災した家屋は、全壊が9.6%、半壊が10.2%、一部損壊が38.6%であることから、得られた被害関数をこの被災率で補正した。こうして得られた家屋被害に関する被害率曲線(被害関数)を図2.2-12に示す。

(2) 人的被害

斜面崩壊によって被災した人的被害には、被災レベルとして死亡と負傷があり、それぞれの被災者数が記録されている。被災者数の予測モデルについては、この2つの被災レベルを対象とした被害関数を検討した。災害データによると、人的被害は家屋被害によって生じており、家屋被害数をパラメータとした関数式とした。また、人的被害はいずれの家屋被災レベル(全壊、半壊、一部損壊)でも発生しているため、被災レベルご

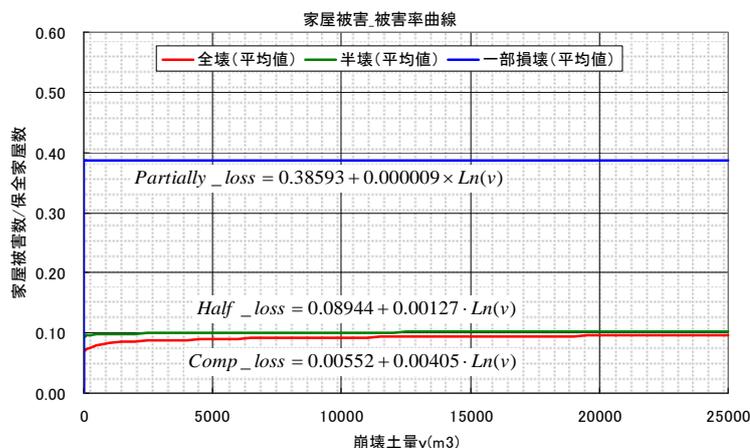


図 2.2-12 家屋被害の被害関数

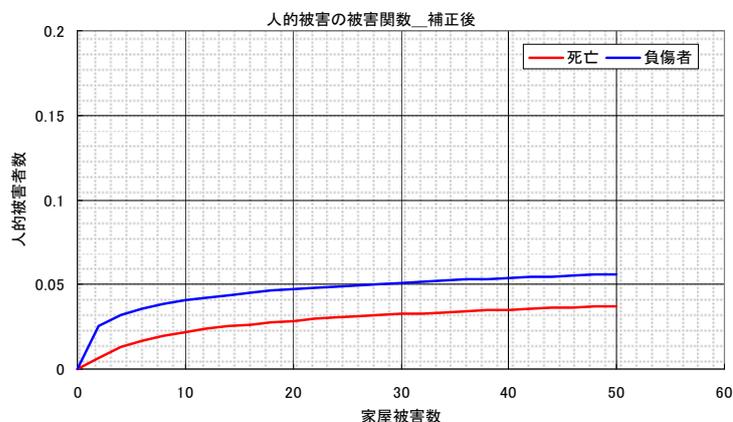


図 2.2-13 人的被害の被害関数

との予測ではなく、被害家屋数の合計値に対する人的被害数とした。

人的被害の被害関数は次のようにして求めた。人的被害の形態は、災害データでの記録と同様に死亡、負傷の2つの被災レベルとした。人的被害者数と家屋被害数は対数正規分布の確率量に従うものとし、任意の家屋被害数（例えば5戸未満、5～10戸、・・・）における人的被害者数からその平均値を算出して被害関数を設定した。これを、災害データ上の被災率で補正した。こうして得られた人的被害に関する被害関数を図 2.2-13 に示す。これを用いて、5.1.で予測した家屋被害から人的被害としての死者数及び負傷者数を予測することとなる。

なお、人的被害に係る損失額については、一応の算定は可能であると思われる。しかし、自然災害で発生する人的被害を貨幣換算する手法は必ずしも確立されていないため、今回の検討では人的被害の人数予測にとどめた。

(3) 財産被害

財産被害は災害復旧事業費が主な対象と考えられる。そこで、平成20年度の災害関連緊急急傾斜地崩壊対策事業費の実績値をもとに検討を行った。損失額は年超過確率に対応した設定が必要となることから、崩壊土量と事業費との相関関係から被害関数を設定した。また、事業費には受益者負担があることから、崩壊土量と負担金との相関を検討し、これに関する被害関数も併せて設定した。財産被害の被害関数の設定にあたっては、事業費と崩壊土量の関係、受益者負担金と崩壊土量の間をプロットし、それぞれ回帰近似することにより求めた(図 2.2-14)。

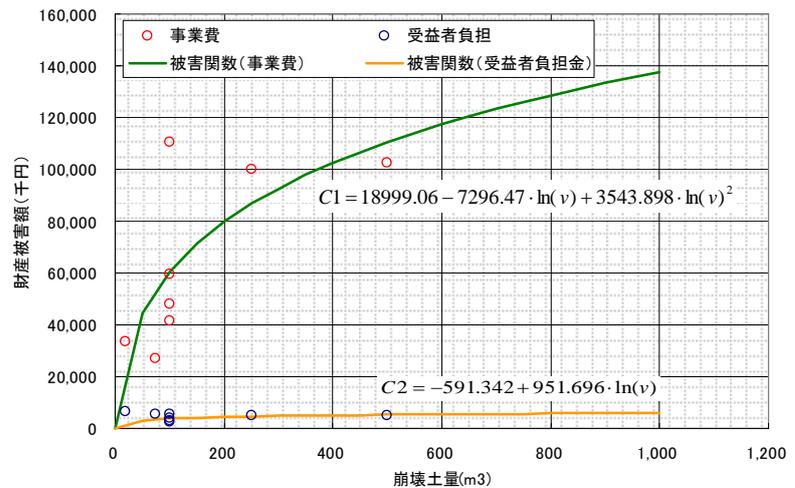


図 2.2-14 財産被害の被害関数

2.2.7 リスクの定量化モデル

以上作成した斜面崩壊の発生頻度モデル、すなわちハザードカーブと、損失予測の結果によるロスカーブを用いて、斜面崩壊によるリスクの定量化モデルが作成できる。これを模式的に表すと図 2.2-15 のようになる。

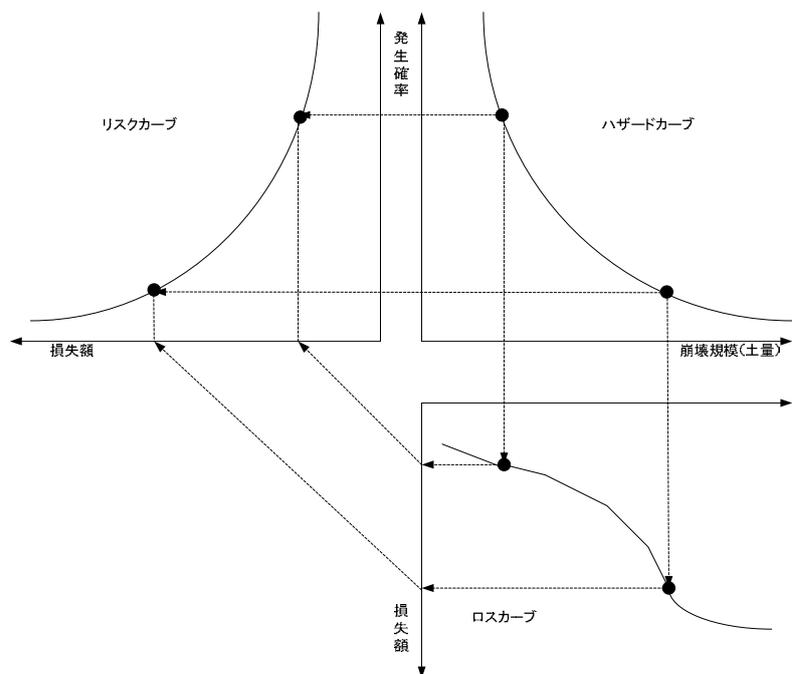


図 2.2-15 リスクの定量化手順

(1) ハザードカーブ

上記のように、ハザードカーブのベースとなる斜面崩壊の発生頻度モデルは、全基岩一都道府県別と地域別一基岩別についてモデル化した（図 2.2-6, 2.2-5）。また、斜面の崩れやすさについては、斜面傾斜をもとに崩壊率を設定した（図 2.2-10, 2.2-11）。以上から、斜面崩壊の発生頻度モデルから作成するハザードカーブは、地域・基岩・斜面の特性を考慮したモデルとなる。

(2) ロスカーブ

ロスカーブとは、崩壊土量と家屋被害、人的被害、財産損失の関係を表すものである。このうち家屋被害については、損失予測のモデル化で説明したように、予測される崩壊土量から家屋被害戸数（全壊、半壊、一部損壊別およびその合計値）を予測する被害関数としている（図 2.2-12）。また、人的被害（死亡、負傷）は、家屋の被害戸数をもとに推定する被害関数である（図 2.2-13）。以上から、家屋被害および人的被害については、崩壊土量と家屋被害戸数、人的被害人数との関係図が作成できる。家屋の損害額は、家屋の再調達価額に対して家屋の被害モードに応じた損失率を乗じることで得られることから、検討箇所ごとにこの関係を整理することでロスカーブが作成できる。一方、財産被害については、崩壊土量との関係（図 2.2-14）から求めることができるため、ハザードカーブから直接、財産被害としてのロスカーブが作成できることになる。

(3) リスクカーブ

リスクカーブは予想損失額と年超過確率との関係であり、図 2.2-15 に示すようにハザードカーブとロスカーブをもとに作成する。リスクカーブから、任意の発生確率に対する損失の大きさや最悪ケースの損失の大きさが読み取れる。また、リスクカーブで囲まれた面積が年間期待値損失（年間平均損失）であり、1年あたりの平均的な損失額も予測できる。

2.2.8 モデルの適用事例（ケーススタディ）

本研究で作成したリスク分析モデルを用いて、具体の急傾斜地崩壊危険箇所におけるリスク評価を行った。

(1) 適用箇所の概要

リスク分析モデルの適用検討箇所（図 2.2-16）は宮崎県内にあり、概要は以下のとおりである。

- 急傾斜地崩壊箇所の延長：230 m
- 傾斜度：41° (=0.7175 rad)
- 斜面高さ：30 m
- 斜面方位：1（東向き斜面）
- 斜面形状：凹形直線斜面
- 人家戸数／人家戸数：17
- 人家戸数／換算人家戸数：44

現地調査の結果によると、がけ崩れの危険性がある地層は、表土と火山灰質粘性土（層厚 4～5 m 程度）である。また、この下位には花崗斑岩が分布している。

(2) ハザード分析

上記で示した斜面崩壊の発生頻度

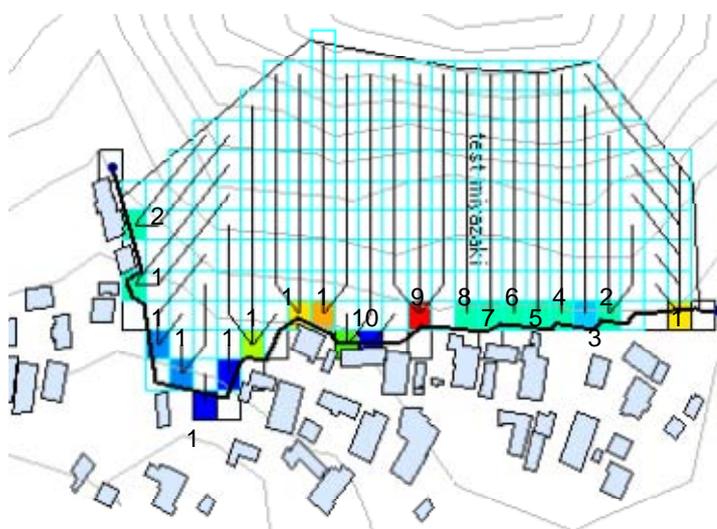


図 2.2-16 検討箇所の平面図

モデルは、過去の崩壊履歴をもとに設定した頻度モデルである。このため、具体的な検討箇所への適用にあたっては、対象エリアの面積比を考慮する必要がある。宮崎県の急傾斜地危険箇所資料によると、急傾斜地 I の面積は 26,450,759.95 m² である。一方、過去の崩壊履歴によると、宮崎県での全崩壊地の面積は 78,658.88 m² であり、このうち、火山砕屑物での崩壊地の面積は 218.57923 m² である。単純に比

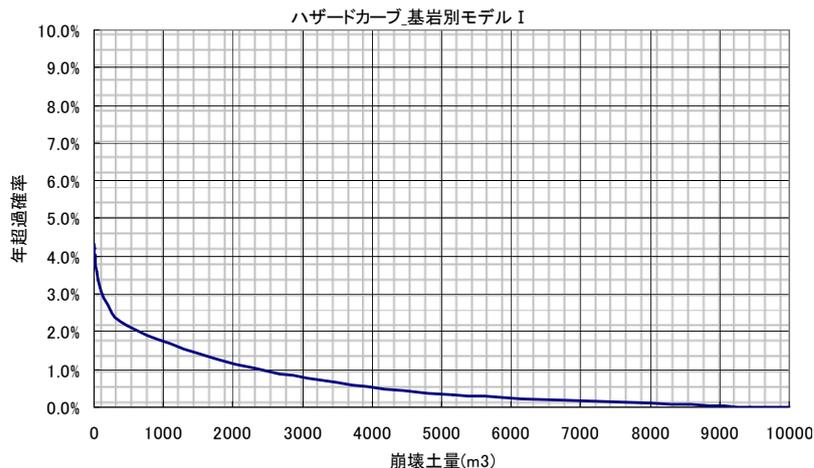


図 2.2-17 検討箇所におけるハザードカーブ

率で見ると、火山砕屑物が占める割合は 0.278% である。今回の検討では、上記の比率をベースに、急傾斜地 I に対する面積比をもとにハザードを分析することとした。

ハザード分析には、地域別-基岩別モデルを用いた。九州地方での火山砕屑物における斜面崩壊発生頻度モデルは図 2.2-5 に示されるような直線であり、頻度係数 $a = -1.9863$ 、規模係数 $b = 0.0024$ である。頻度係数は平均値であることから、検討箇所の斜面角度 ($\beta = 0.7175$ rad) で補正する。崩壊率は、火山砕屑物における斜面角度と崩壊率の関係 (図 2.2-11) から次式で得られる。

$$\log(p) = -0.10099 + 0.0552 \times \beta + 0.07396 \times \beta^2 = 0.947744 \text{ -----(2.2-4)}$$

ここから、上記の a 値に崩壊確率を乗じた値を頻度の係数 a' 値として設定する。すなわち、

$$a' = \log(10^{-1.9863} \times 0.947744) = -2.00961 \text{ -----(2.2-5)}$$

このようにして得られた斜面崩壊の頻度モデルを用いて、ハザード分析を行った。分析にあたっては、図 2.2-16 に示すように、検討箇所の斜面を 10 m×10 m のメッシュに分割し、任意の発生頻度に対する急傾斜地下端部のメッシュに到達する土量をそれぞれ集計した。その上で、急傾斜地 I に対する面積比を考慮したハザードカーブを作成した (図 2.2-17)。

(3) ロス分析

図 2.2-12 から得られる家屋被害に関するロスカーブと、図 2.2-13 から得られる人的被害に関するロスカーブを図 2.2-18 に示す。なお、財産被害によるロスカーブは、図 2.2-14 に示した崩壊土量と復旧費用との関係から求められる。

(4) リスク分析

ハザードカーブおよびロスカーブから得られたリスクカーブを図 2.2-19 に示す。家屋損失

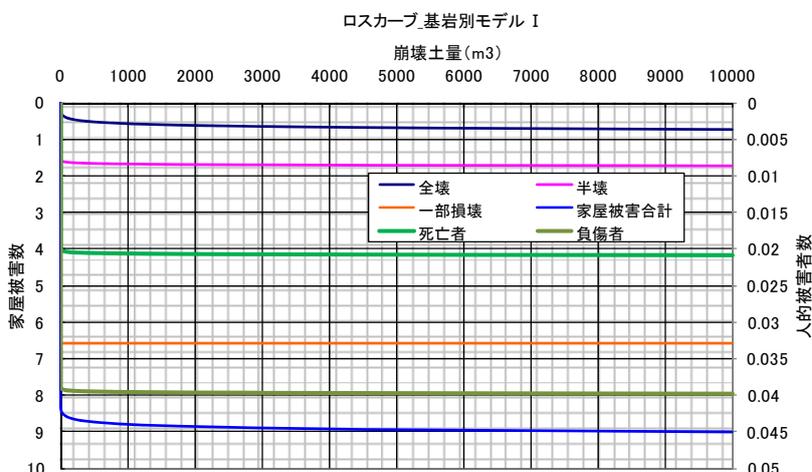


図 2.2-18 検討箇所におけるロスカーブ

額の算定にあたっては、「損失額=再調達価額×損失（被害）率」として求めた。この損失率は、自然災害などにより住家などが破損した場合の被害認定基準を参考に、全壊が100%、半壊が50%、一部損壊が20%と仮定した。再調達価額は、検討箇所での平均的な述べ床面積と床面積当りの工事費をもとに統計資料から一律15,600千円と仮定した。

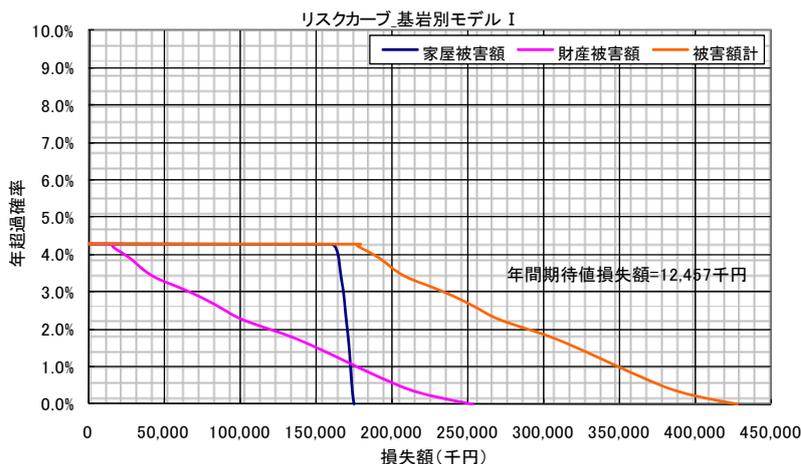


図 2.2-19 検討箇所におけるリスクカーブ

図 2.2-19 から、検討箇所におけるがけ崩れ災害リスクとして、年間期待値損失額（年平均損失）は12,457千円であること、1/50の確率で約280,000千円程度の損失の可能性があること、最悪ケースでは400,000千円強の損失の可能性があることなどが評価できる。なお、上述の通り、人的被害については貨幣換算による評価を行っていない。

2.2.9 まとめと今後の課題

本研究では、地域や基岩の特性を考慮したのがけ崩れ災害リスク分析モデルの開発を行った。本モデルを用いることにより、個々の急傾斜地崩壊危険箇所における確率論的なハザード・損失予測をもとに、全国あるいは地域レベルでのリスクの相対的評価が可能となる。したがって、本モデルは次のような活用が期待できる。

① ハザードマップへの活用

規模別の確率論的なハザード評価であることから、全国あるいは地域レベルでのハザードと確率の大きさをもとにしたランク付け、確率評価によるハザードマップへの反映等ができる。

② 防災対策の優先度評価への適用

年間期待値損失額や任意の発生確率に着目した損失額（あるいは最大損失額）は、客観性のある優先順位付けのための基礎資料となり得る。また、損失予測の結果による被害規模（被害家屋数や人的被害人数）単独での優先度評価も可能である。

③ 対策効果・整備レベルの評価

防災対策の実施効果や整備レベルの評価も可能である。例えば、待受型の対策において、その残存リスクをもとに対策効果の評価が可能となる。また、年超過確率1%レベル、5%レベルと言った基準値を設けることで、整備水準の評価が可能になる。

④ 事業評価、投資効果分析への適用

防災対策によって削減されるリスク量は、投資に対する便益として評価することができる。すなわち、防災対策で要する費用と便益との比もしくは差をもとに防災投資による効果分析が可能になる。

なお、上記に向けた今後の課題として、以下の点が挙げられる。

□ ハザード評価について、斜面角度を基本とした斜面の崩壊率を検討したが、その妥当性を検証す

るために、数値解析による検証や他の要素を関連付けた検討が必要である。

- 損失予測のための被害関数は、バラツキのあるデータの平均値から設定したものである。このため、多くのケーススタディ等をもとに精度的な検証や制約条件等について検討を加える必要がある。
- リスク評価の結果を用いた優先度評価や投資効果分析等については、簡便で分かりやすい表現方法、具体的な手法等についての検討が必要である。

【参考文献】

- 1) 全国治水砂防協会：砂防便覧（平成20年版），pp.724，2008年3月
- 2) 小山内信智・富田陽子・秋山一弥・松下智祥：がけ崩れ災害の実態，国土技術政策総合研究所資料，No.530，pp.203，2009年3月

2.3 データ整備が不十分な中小河川に対する治水安全度評価手法の検討

2.3.1 はじめに

近年、集中豪雨等により全国各地で甚大な災害が発生している。とりわけ、局所的な豪雨の影響を受けやすい中小河川においては甚大な被害が発生している。

その一方で、財政面の厳しい制約もあり、効果的な水害対策を図るためにはより優先度の高い地域から治水対策を進めていくことが重要である。また、河川管理者、地域の防災対策を担う関係自治体、さらには地域住民が一体となり、効率的・効果的な治水対策を推進し、災害発生時における実効的な危機管理を実現するためには、河川の各区間における安全度を評価し、その結果を地域にわかりやすく示すことも重要である。

しかしながら、都道府県等が管理する中小河川では河道横断測量、水位・流量観測等が十分に実施されておらず流下能力などの基本的かつ重要な情報が不足している箇所もあるのが現状である。

以上のような背景から水害研究室では、全国同一の尺度による簡便な治水安全度評価手法を立案し、地方整備局等と連携し一級水系の指定区間等の中小河川を対象として、治水安全度評価を実施し、国管理区間を含む水系全体の治水安全度（その河道区間が安全に流せる洪水の規模）の公表を行った。

2.3.2 研究目的と研究方法

本研究の目的は、横断測量の行われていない河川においてどの程度の洪水に耐えるのか、その安全度の評価を簡易に行うことである。このため、一級水系の指定区間等の中小河川を対象として、航空レーザー測量により地形データの取得を行い、これを用いて治水安全度評価を行うシステムを開発した。

2.3.3 中小河川の治水安全度評価

(1)河道地形データの作成

1) 航空レーザ測量によるデータの取得

国の管理区間以外の中小河川においては、整備計画の検討が行われている等の限られた区間においてのみ河道測量成果が存在し、多くの区間においては河道横断測量成果を有していないことが実状である。こうした測量“空白区”を速やかに解消するため、広範囲の地形データを高密度で取得できる航空レーザ測量（以下、LP測量）を活用した¹⁾。

LP測量は、図 2.3-1 に示すとおり、航空機に搭載した航空レーザスキャナから地上に向けてレーザパルスを発射し、反射して戻ってきたレーザパルス解析することで地形データを取得する技術である。地形データから河道横断形状や氾濫原の地形形状などを得ることが可能である。

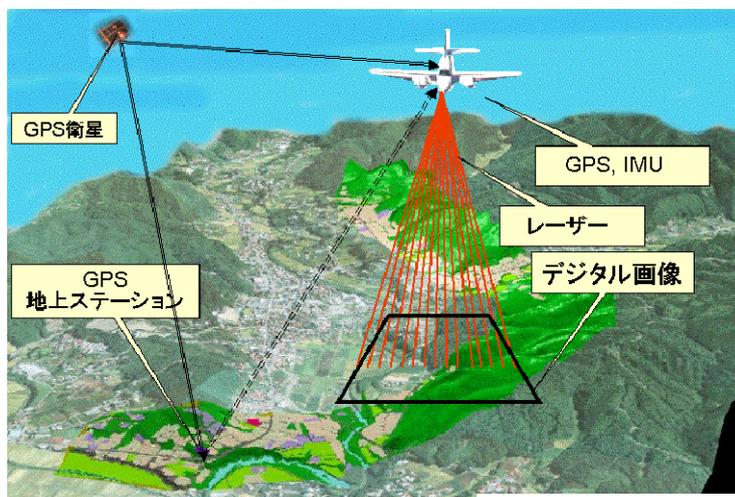


図 2.3-1 LP測量の概念²⁾

今回は、「航空レーザ測量による河道及び流域の三次元電子地図作成指針(案) 平成17年6月 国土交通省河川局」に従い、レーザ計測密度について2mピッチを最低条件として行っている。

2) 地盤高データの作成 (データ処理)

上記にて取得した、LP測量結果である生データにはノイズデータとよばれる空中の雲や塵などに反射したデータも含まれている。このノイズデータを除去し、地表面データ(オリジナルデータ)を作成する。このオリジナルデータは構造物や草本群落の標高値も含むため治水安全度評価に用いる河道断面を作成するための地盤高データを得るには、構造物や植生群落を除去し地盤高データ(グラウンドデータ)を作成する必要がある。この過程をフィルタリング処理²⁾と呼ぶ。

計測範囲の全域を対象に地表面データをコンピュータプログラムによるフィルタリング処理(自動フィルタリング)を行い、構造物や大きな植生群落等を取り除く。

ただし、自動フィルタリング処理だけでは河川周辺にある除去対象物の取り除きの過不足(橋梁や樹木の取り残し、堤防の消失など)があるため、自動フィルタリング処理後のデータと航空写真(オルソフォト)を見比べ手作業による補正(手動フィルタリング)を行い、流下能力計算に必要な地盤高データを作成する。

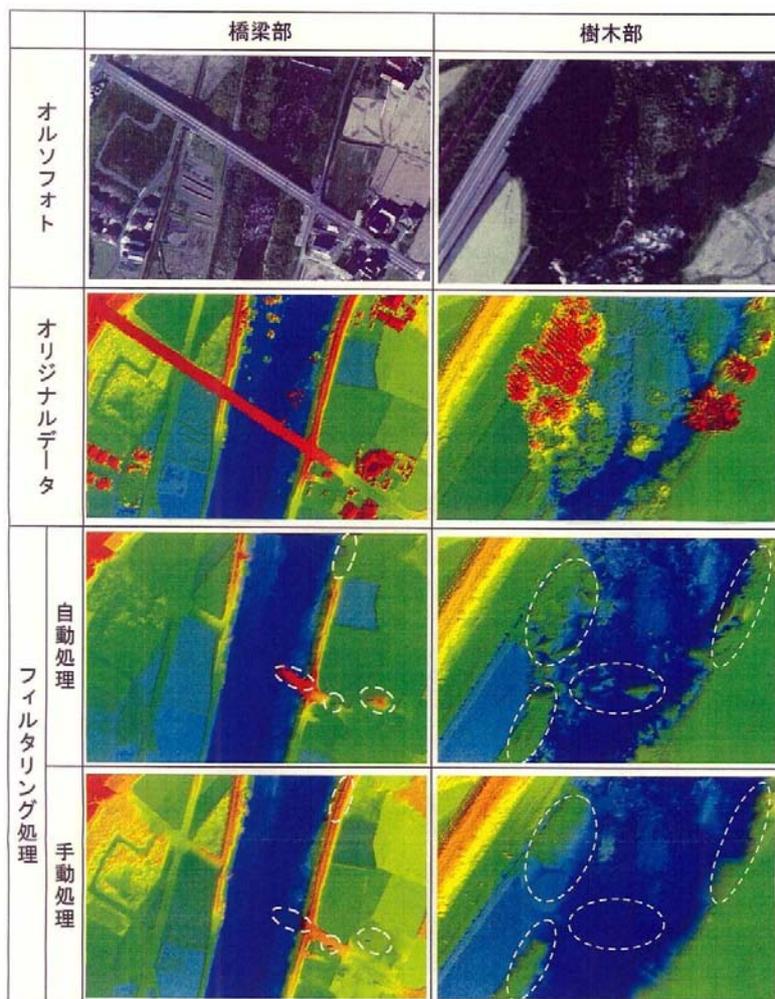


図2.3-2 フィルタリング処理の過程
(河道内樹木と橋梁データの除去)

3) 河道横断形状の作成

地盤高データから河道横断形状を作成する手法としては、主なものに投影法、バッファー法、TIN（不整三角形網Triangulated Irregular Network）法があるが、今回は機械的に河道横断図を作成できるTIN法を採用し、河道中心線に直交する任意の横断測線上の標高を、地盤高データから作成された三角形網より自動的に河道横断形状を得るシステムを開発し治水安全度評価に使用した。

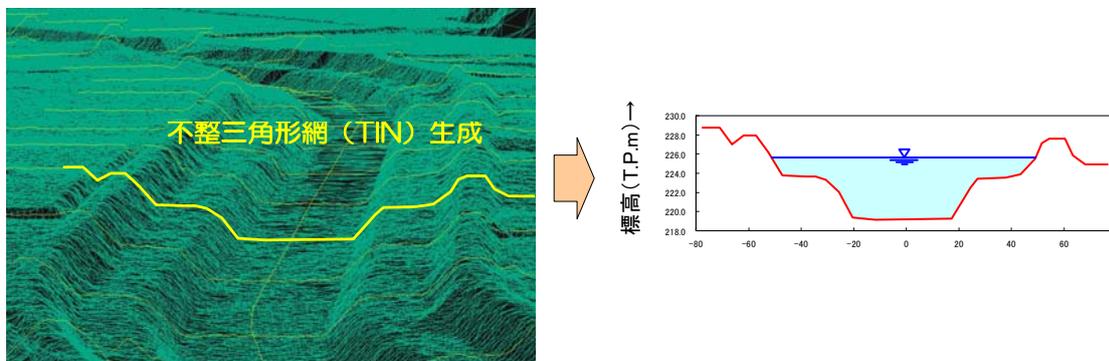


図2.3-3 TINによる河道横断図作成

4) 地盤・地形データの精度を向上させるための配慮

河道横断図取得においては、LP測量自体の誤差³⁾（計測機器や計測実施条件等に左右されるが、概ね水平精度±30cm、鉛直精度±15cm）、TINデータからの内挿補間による誤差の影響の他に、レーザの性質上、水面下の地形データを計測できないこと、草本類の影響を受けるため実際の地盤高よりやや高い地盤高で計測され、通常の河道横断測量結果と比較するとやや横断面積が小さくなる傾向が見られた（図2.3-4、図2.3-5 参照）。

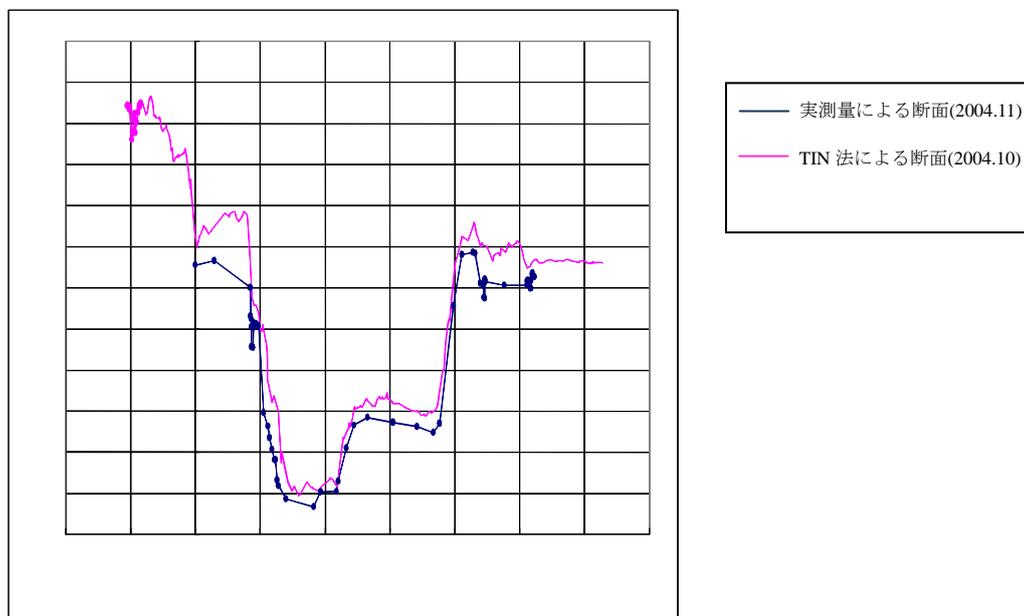


図2.3-4 LP計測による断面と実測による横断面

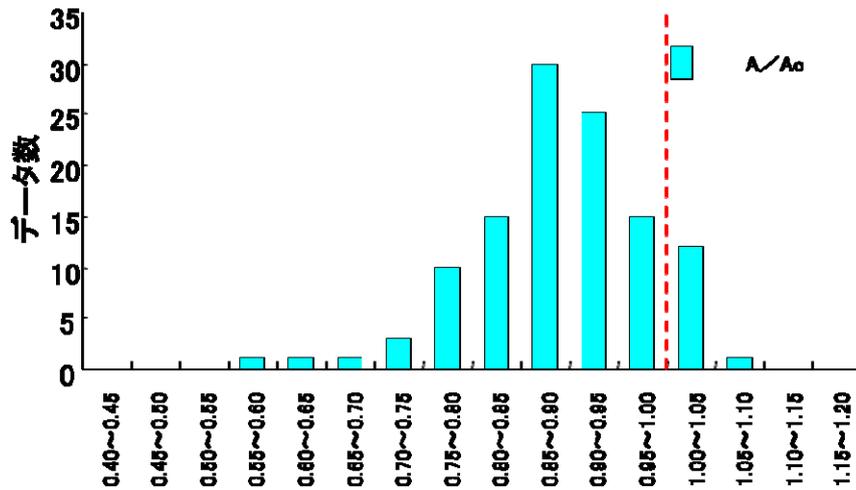


図2.3-5 実測断面に対するLP測量による断面の比
(A:LP測量による断面積 A₀:実測による断面積)

これらの誤差をできるだけ小さくするために、河道横断測量が実施されている場合は、その測量断面を用いて精度チェックや補正・補完を行った。

(2) 流量・水位計算

1) 基本的な考え方

中小河川においては前述のように、水位・流量観測等が十分に実施されていないこともあり、今回の評価にあたっては全国各雨量観測地点の降雨強度式と合理式による確率規模別流量の計算及び一次元不等流計算といった簡便な解析手法を採用した。

2) 降雨強度 r

降雨強度式にはフェア式を用いる。実際の計算では独立行政法人土木研究所が開発した「アメダス確率降雨計算プログラム」を使用する。 (<http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/amedas/top.htm>)

$$r_t^T = \frac{bT^m}{(t+a)^n} \quad \dots(2.3-1)$$

ここで、

r_t^T : 確率年 T 継続時間 t の確率降雨強度 (mm/hr)

T : 確率年(年)

t : 降雨継続時間 (hr)

a, b, m, n : フェア式パラメータ

このプログラムは、全国の気象庁アメダス観測点の約1,300地点のうち748地点について、1971年～2000年までの雨量データを基に作成したものである。なお、 t にはクラークヘン式によってもとめた合理式における洪水到達時間を与える。

3) 合理式と流出係数 f

合理式で用いる流出係数 f は、土地利用区分ごとの流出係数の加重平均（各区分の面積に関する）とし、「河川砂防技術基準⁴⁾」を参考に山地を0.7、平地を0.8と設定した。なお、計算に必要な流域面積や流路長といったデータは河川現況台帳をもとに国総研水害研究室が整理し、放水路の新規建設等により修正が必要であると判断される場合には修正を行った。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} frA \quad \dots(2.3-2)$$

ここで、各変数は以下の通りである。

Q_p : 洪水ピーク流量 (m³/s),

f : 流出係数

r : 洪水到達時間内の降雨強度 (mm/hr)

A : 流域面積 (km²)

4) 次元不等流計算と粗度係数 n

河床材料や河道内樹木群等の河道特性を反映できる水位計算手法も実用化されているが、河道特性を把握することは容易ではない。そのため、河道横断面に合成粗度係数を設定し次元不等流計算により、水位計算を行った。ただし、中小河川には急勾配区間も多いので、必要に応じ、常流射流混在の計算もできるようにしている。

この場合において、河道の全ての特性（河床材料、河道横断面形状など）を考慮した合成粗度係数の与え方が大切になる。今回の検討では中小規模でも粗度係数が実測値等から詳細に検討されている58河川を対象にした場合、平均的な合成粗度係数として $n=0.033$ が得られたことから、国総研が行った一次評価においては、すべての区間においてこの値を一律に設定し、水位計算を行った。

(3) 治水安全度の評価

(1)3)で作成した河道横断形状から堤防の評価高（今回の検討では堤防の評価高については、「評価高＝現況天端高－確率規模別流量に応じた余裕高」を基本としているが、背後地盤高の方が高い場合は、評価高を背後地盤高として採用している。）を決定し、(2)で得た水位計算結果と比較することによって、治水安全度を評価する。

$T=30$ の洪水の水位計算結果と評価高を比較し、堤防の評価高が水位を上回る場合、青色で着色し、「30年に一度発生すると想定される降雨に対応している区間」とした。また、評価高が $T=10$ の洪水の水位計算結果を下回る場合は、「10年に一度発生すると想定される降雨に未対応の区間」として赤色で着色し、そのどちらでもない場合は、黄色に着色し、「10から30年に一度発生すると想定される降雨に対応している区間」とした。（図 2.3-6 参照）。

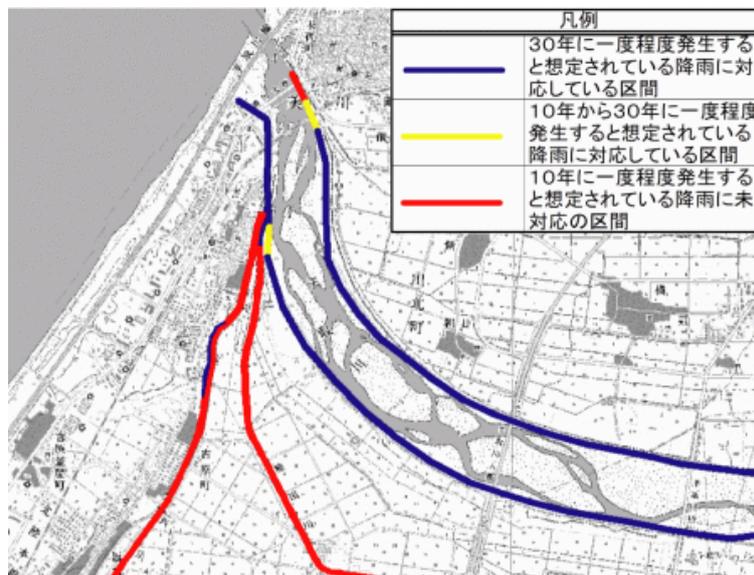


図 2.3-6 中小河川治水安全度評価イメージ

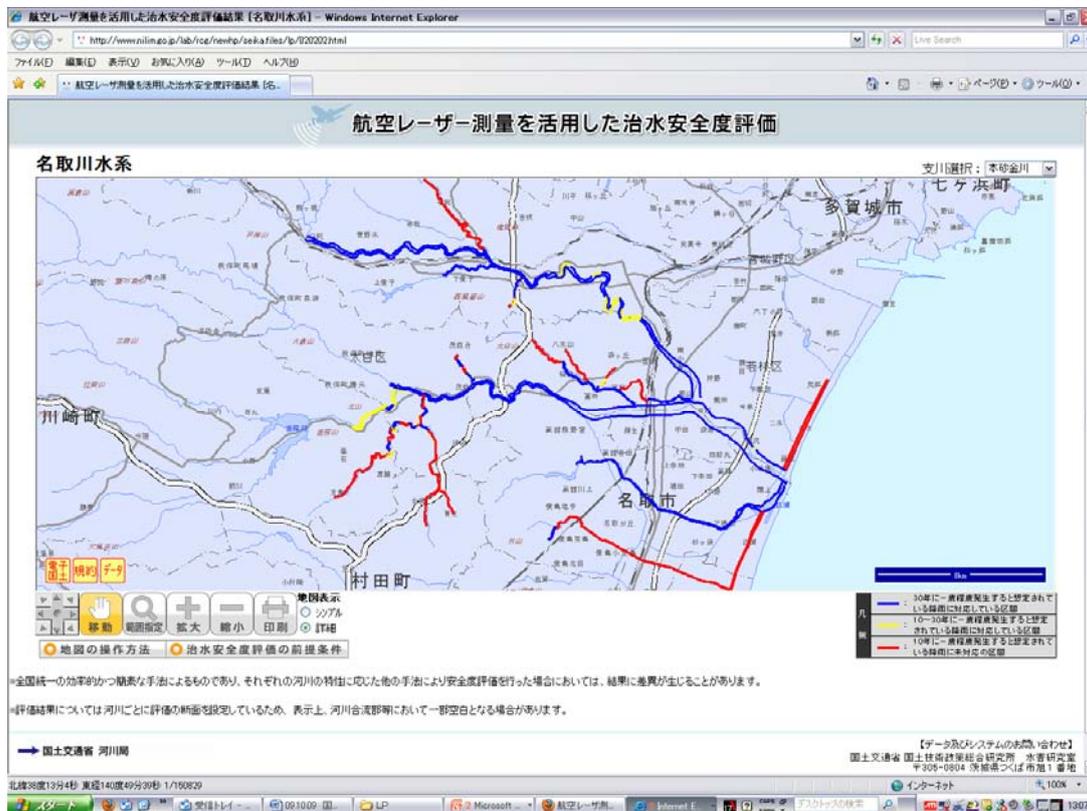
2.3.4 評価結果の公表

評価結果は国総研水害研究室の web ページで公表している。

トップページ (<http://www.nilim.go.jp/lab/rcg/newhp/seika.files/lp/eva.html>) にある「治水安全度評価」のタブから地方・水系を選択した後に目的の水系の評価結果を見ることができるようになっている(図 2.3-7)。なお、背景地図には国土地理院が公開している電子国土を用いている。



公表サイトのトップページ



公表結果のページ例

図 2.3-7 治水安全度評価公表サイト

公表にあたっては、国総研において評価作業を行った結果を都道府県に送付し、妥当性の確認を行っていただいた。なお、自治体においてすでに何らかの形で安全度の評価を適切に行っている場合は、国総研で作業した結果ではなく自治体の評価結果を掲載していることがある。

また安全度評価は 100m ピッチで実施しているが、表示にあたっては L P データの精度や評価結果の見やすさを考慮して 500m ピッチでその区間における最も低い安全度の表示を基本とした。

2.3.5 まとめと今後の課題

本評価を進めるにあたり、本省河川局をはじめ、都道府県、北海道開発局、地方整備局の関係各位に多大なるご協力を頂いた。深く謝意を表する次第である。

なお、水害研究室では、中小河川の治水安全度評価のほか、GIS データを取り込んで入力データの作成・流出計算から氾濫計算までの一連の計算を実施・地図を背景にした解析結果の表示・表示結果の加工等が行える「洪水ハザードマップ作成システム」の開発、本支川や上下流の治水安全度バランスを調査するための技術的手法についてとりまとめた「治水安全度バランス調査マニュアル（案）」の作成等もおこなってきた。

これらの成果が中小河川を含む水系全体の治水安全度に関する客観的で正確な認識の醸成に貢献し、地域における水害や、より実効的な危機管理の実現、さらには住民等の危機管理意識の向上につながっていくことを期待する。

【参考文献】

- 1) 国土交通省河川局：航空レーザ測量による河道及び流域の三次元電子地図作成指針（案）， pp.1-10, 2005.6
- 2) (財)日本測量調査技術協会：《図解》航空測量ハンドブック, pp.59-65, 2004.1
- 3) 今井靖晃，瀬戸島政博，山岸裕，藤原宣夫：解像度の異なる LIDAR データによる都市内樹林の受講計測特性, 測量, Vol.55, No.2, pp.28-32, 2005.2
- 4) 国土交通省河川局監修，(社)日本河川協会編：国土交通省河川砂防技術基準 同解説 計画編, pp.35, 2005.11

2.4 水害被害額の算定手法の検討

2.4.1 はじめに

我が国の国土は、厳しい自然条件下にあり、河川氾濫区域内に人口や資産が集中する社会条件も加わり、洪水による甚大な被害を受けやすい状況にある。このような状況に対処するためには、優先順位の高い事業から効率的に進めていくことが重要であり、一定の規則に従い費用対効果を適切に評価する必要がある。現在、河川改修やダム・遊水池などの治水施設整備を実施する際には、その整備効果について、「治水経済調査マニュアル（案）」¹⁾に準拠した手法で、治水事業による被害軽減額を事業効果として評価し、費用対効果分析を行っている。現行マニュアルの被害項目は、表 2.4-1 に示す通り、直接被害、間接被害に大別されるとともに、様々な項目に分類されるが、具体的な算定方法が示されている項目は、浸水による家屋・家財の被害や事業所の償却・在庫資産等の直接被害や、一部の間接被害に限られており、その他の間接被害については、算定方法が確立されておらず、治水事業効果の適切な評価の観点から課題が残されている。

表 2.4-1 治水経済調査マニュアル（案）の被害項目

分類	区分	細分	内容 ^(注1)
直接被害	一般資産被害	家計	家屋・家財被害
		事業所 ^(注2)	償却・在庫資産被害
		農漁家	償却・在庫資産被害
	農作物被害		農作物の減収
	公共土木施設水害		公共土木施設、公益事業施設、農業用施設の被害
人身被害		人命損傷	
間接被害	営業停止被害	家計	浸水世帯の平時の活動阻害
		事業所 ^(注2)	浸水事業所の生産停止・停滞被害
	応急対策費用	家計	緊急的支出、代替品消費支出
		事業所	緊急的支出、代替品消費支出
		公共	ゴミ処理、避難所開設等の緊急的支出
	交通途絶被害		道路等交通途絶に伴う被害
	ライフライン切断による被害		電気・ガス・水道等の停止に伴う被害
経済的波及被害		浸水事業所の営業停止被害から波及する周辺地域事業所での被害	
精神的被害		浸水世帯の精神的打撃	

(注1) 網掛けの項目については具体的な算定方法が提示されている。

(注2) 公共・公益を含む。

2.4.2 研究目的と研究方法

水害が発生し、浸水被害を受けた事業所は営業停止・停滞を余儀なくされるが、被災した事業所と取引関係にある事業所は、たとえ直接的な浸水被害を受けていなくても、間接的に被害を受けることになり、こうした被害が経済活動過程を通じて広範に波及していくことが考えられる。このような被害項目を経済的波及被害と呼んでいる。経済的波及被害の算定方法については、種々の検討^{2), 3)}がなされているところであるが、その確立には至っていない。

そこで、本研究では、近年発生した水害を対象に、被災した事業所の営業停止停滞等による、被災地以外、及び他の経済主体（家計）に帰着される波及被害の推計を試みた。

2.4.3 水害被害額の算定手法

(1) 計量化の対象とした被害

「治水経済調査マニュアル（案）」は、事業所活動に関する被害額算定について、表 2.4-2 の通り示している。

表 2.4-2 治水経済マニュアル（案）で対象とする事業所被害

事業所被害	算定方法
事業所償却・在庫資産被害	事業所償却・在庫資産額に、浸水深別の被害率を乗じることによって資産の直接的な浸水被害額を算定。
営業停止・停滞損失	浸水被害を受ける事業所の従業者数に、営業停止・停滞による損失延べ日数及び1人1日当たりの付加価値額を乗じて算定。
事業所における応急対策費用	浸水被害を受ける事業所数に、代替活動等支出負担単価を乗じ事業所における代替活動等に伴う支出増を算定。

本研究で構築した経済モデルは、表 2.4-3 に示すように、(1)直接的又は間接的に被害を受けた事業所における生産活動の停止・停滞が経済活動過程を波及して、最終的に財消費量の減少として、家計に帰着する被害（家計に帰着する波及被害）、及び(2)生産活動の停止・停滞によって資本が遊休化する被害（事業所にとどまる被害）、を計量化の対象としている。

表 2.4-3 計量化の対象とする被害

営業停止・停滞損失	概要
家計に帰着する波及被害	① 直接的な浸水被害を受けた事業所からの経済波及被害
	② 間接的な浸水被害を受けた事業所からの経済波及被害
事業所にとどまる被害	③ 直接的な浸水被害を受けた事業所で遊休化した資本の金銭価値

家計及び事業所の経済主体から構成される経済システムにおいて、水害により被害が波及するイメージを図 2.4-1 に示す。水害発生前（平常時）には、事業所で生産活動が行われ、生産された製品（財・サービス）は家計によって消費されるか、他の事業所によって原材料として利用されている。ここで水害が発生して、事業所の生産活動が低下すると、ユーザーに対する製品の供給減少が生じ、サプライチェーンを通じて、その影響は伝播していく。

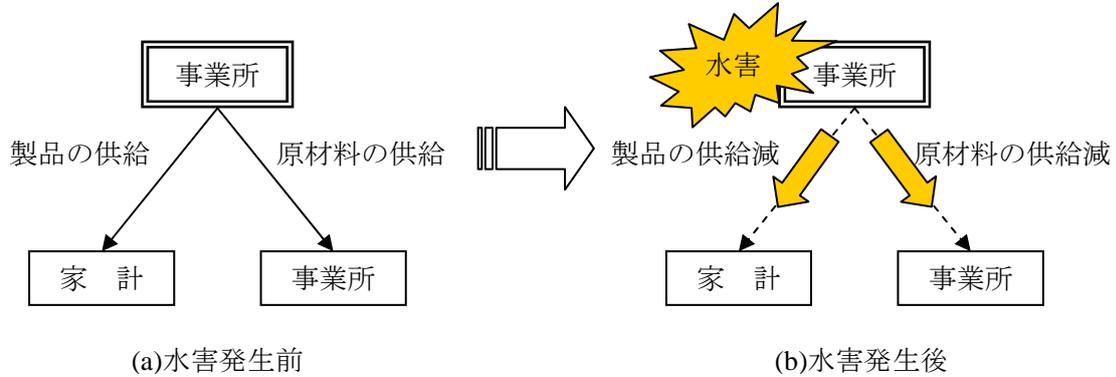
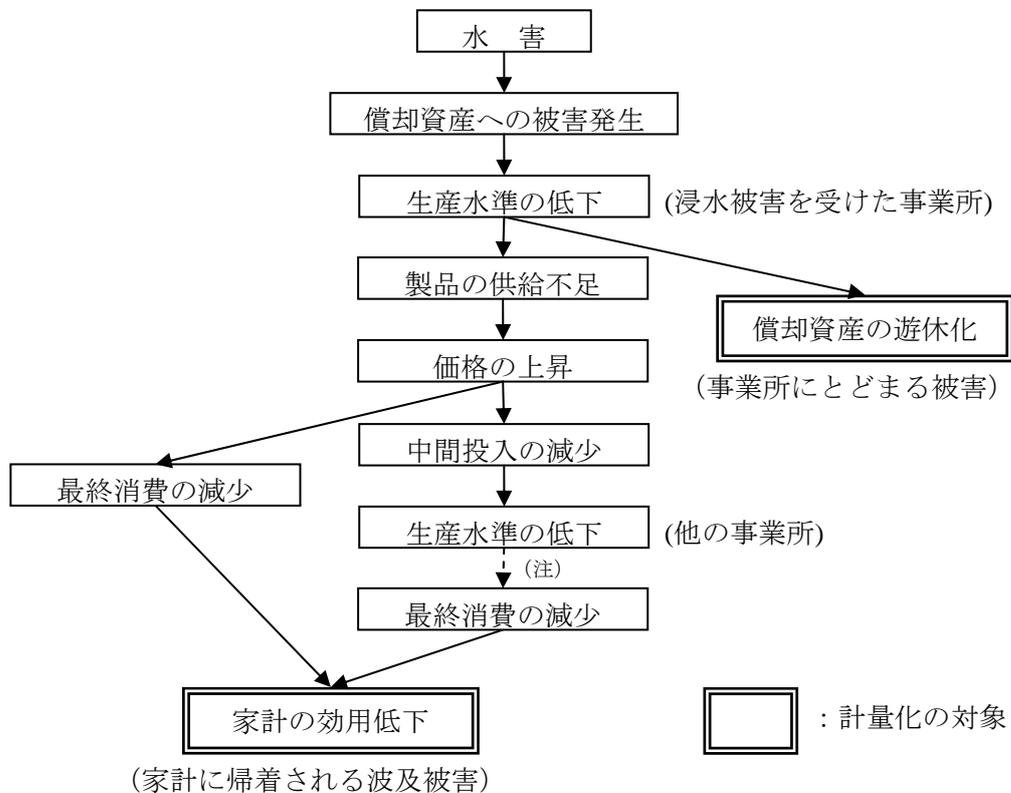


図 2.4-1 水害による被害の波及イメージ

波及被害は、最終的に消費財等の不足として、家計の効用低下に帰着され、モデルでの計量化の対象となる。モデルが扱う被害波及の流れを図 2.4-2 に示す。



(注) 浸水被害を受けた事業所と同様に「製品の供給不足」→「価格の上昇」の過程がある。

図 2.4-2 被害波及の流れ

(2) 使用した経済モデルの基本構造

本研究では、土屋・多々納・岡田(2005)「新潟県中越地震による経済被害の計量化」²⁾が示した「空間的応用一般均衡モデル」を用いた地域経済のモデル化の考え方を採用した。「空間的応用一般均衡モデル」は、「全ての市場でのモノやサービスの取引(売買)の需要と供給が一致(均衡)している」との仮定のもとで、自然災害や公共プロジェクトが経済に与える影響・効果を評価する手法である。

本研究では、水害による産業の資本損傷を資本稼働率の低下として表現して、地域間・産業間の経済的依存関係を通じて、財の価格・生産量、家計効用に与える影響を定式化した。地域・経済主体(家計・企業)の相互依存関係を図 2.4-3 に示す。

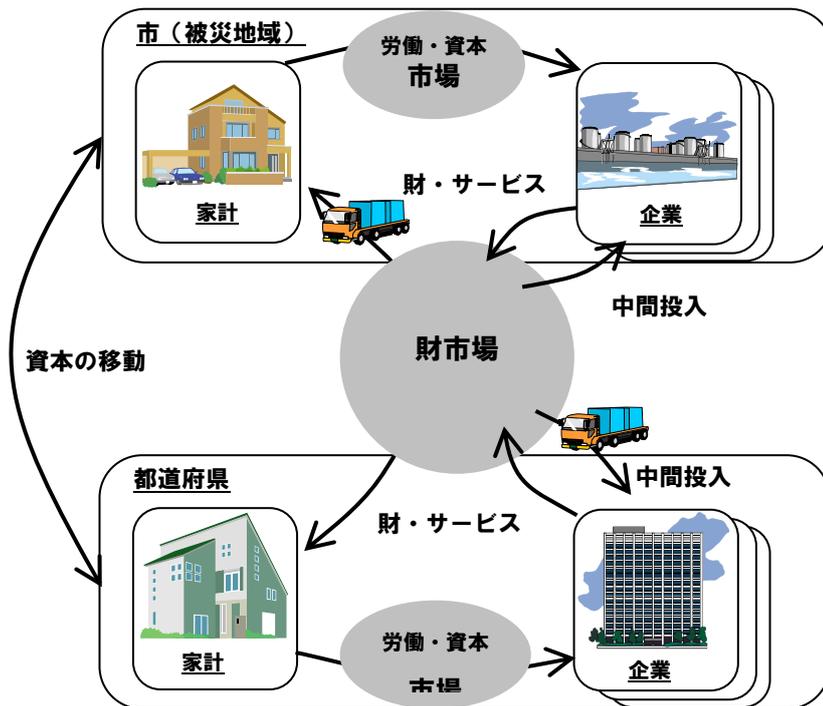


図 2.4-3 経済社会システムのイメージ

2.4.4 まとめと今後の課題

近年水害が発生した諏訪市・延岡市・名古屋市・豊橋市・岡崎市・一宮市の6市、及び名古屋市・豊橋市・岡崎市・一宮市の4市を統合したケースで算定を行った。

償却資産に資本稼働率の低下割合を乗じて算定した「事業所にとどまる被害」に対して、「事業所にとどまる被害」を入力データとして、産業連関表から経済モデルを用いて算定した「家計に帰着する波及被害」の関係は、図 2.4-4 の通りとなった。「家計に帰着する波及被害」は、「事業所にとどまる被害」の約4倍と算定され、「事業所にとどまる被害」に比べて相当に大きくなることが確認された。

今後は、こうした試算結果と水害統計調査等の結果を比較することにより、経済モデルや算定方法の信頼性の向上を図り、治水事業効果の適切な評価への反映に努めていく必要がある。

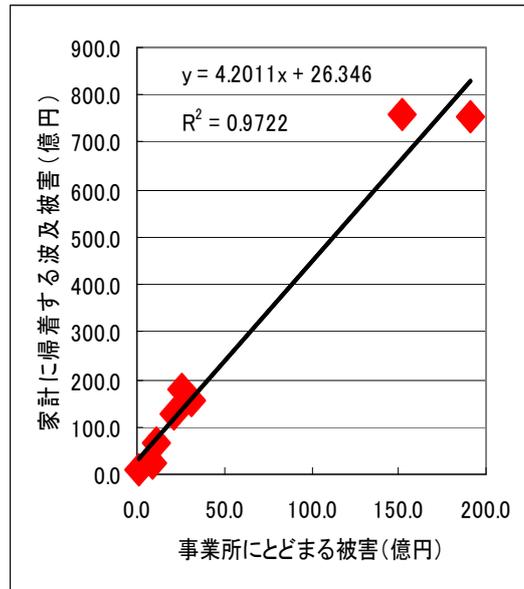


図 2.4-4 「事務所被害と家計波及被害」の関係性（4市統合含む）

【参考文献】

- 1) 国土交通省河川局：「治水経済調査マニュアル（案）」，2005
- 2) 土屋哲，多々納裕一，岡田憲夫：「新潟県中越地震による経済被害の計量化」，京都大学防災研究所年報，第48号B，2005
- 3) 石川良文，片田敏孝，木村秀治，佐藤尚：水害による地域経済への影響の事後分析，土木計画学研究・講演集第29巻，2004

2.5 地震・津波複合災害に対する統一的な被災リスク評価手法の検討

2.5.1 はじめに

地震・津波被害の軽減には、被害想定を実施し、その結果に基づいて対策計画を立案・実行することが有効であるが、公共土木施設の被災を考慮した地震・津波被害の想定手法は確立されていなかった。本節では、海岸・港湾・河川・道路の各施設を対象とした被害想定手法、ならびに被害想定結果の活用方針を検討した結果の概要を示す。なお、この結果は文献1)にマニュアル（案）として公表されている。

2.5.2 研究目的と研究方法

中央防災会議や地方自治体によって今後発生が予想される大規模地震に対する被害想定が実施されている。被害想定が実施されている地震は内陸直下の地震と海溝型の地震とに分けられるが、海溝型の浅い地震は、強い揺れの後に津波が来襲する特徴がある。上記の被害想定では、これら揺れと津波に対して建物被害や人的被害を想定しているが、被害を防ぐ、または緊急輸送を担うための施設である公共土木施設の被害を想定する手法については、総合的に地震・津波対策を計画する際に参考となる指針が存在しなかった。そこで、公共土木施設の地震・津波被害想定を実施するにあたって、被害を想定すべき施設、被害の想定手法を検討した。一部施設の被害想定については参照すべき基準書を示し、評価手法の詳細は基準書などに従うこととしたうえで、公共土木施設の被災を考慮した地震・津波被害の想定手法をとりまとめた（図 2.5-1）。

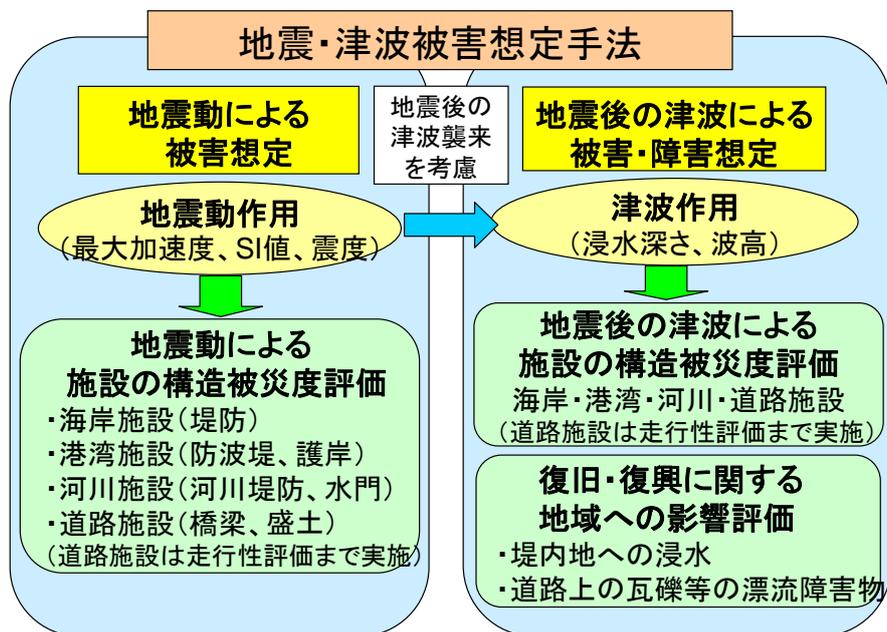


図 2.5-1 公共土木施設の地震・津波被害想定手法の概要

2.5.3 海岸施設の被害想定

海岸施設（本稿では海岸保全施設を略して表記）の被害想定で対象とする項目は、地震動及び津波による施設機能の低下であり、浸水防止機能を有する海岸施設の代表的なものである海岸堤防を対象とした（表 2.5-1）。

表 2.5-1 被災リスク評価の対象施設と評価手法の概要（海岸施設）

対象施設等	評価手法の概要
海岸堤防	地震：動的・静的 FEM 解析により変形を評価 津波（倒壊）：波圧と土圧を算定し堤体の安定性を照査 津波（洗掘）：越流量等から洗掘量を推定 津波（被覆工の流出）：越流に対する被覆工の必要質量を照査

海岸施設は、海岸堤防が海岸背後の人命・資産を高潮、津波及び波浪から防護するなど、浸水を防止する機能を有している。地震動による海岸堤防の沈下は、津波による背後地の被害を増大させる可能性があり、機能低下の典型例である。よって、想定地震のもとで所要の機能を確保できる耐震性能を照査することとする。津波による海水の侵入を防止する機能に着目すると、天端高の維持に関わる沈下を照査する必要がある。

被害想定において対象とする地震動は、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」²⁾に従って、通常の施設については、施設の供用期間中に1～2度発生する確率を有する地震動（レベル1地震動）、背後地の重要性等により高い耐震性能が必要とされる海岸施設については、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動（レベル2地震動）とする。また、各施設の構造特性に応じた適切な耐震解析法に基づいて耐震性能を照査することとするが、構造物の変形状況をより精緻に予測できる動的 FEM 解析(例えば FLIP)や静的 FEM 解析(例えば ALID)を用いることが望ましい。

一方、一般的に地震後の津波は数波に渡り、後続の波が第一波より高いこともある。このため、津波による海岸施設の被災は、海岸施設の浸水防止機能を低下させ、その後に来襲する津波による背後地の被害を増大させる可能性がある。よって、想定津波に対する施設の安全性能を照査する必要がある。

1983年日本海中部地震(M7.7)および1994年北海道南西沖地震(M7.8)の被災事例を整理すると、津波による海岸堤防の被災形態は、①堤体・上部工の倒壊、②堤体基礎洗掘、③被覆工の流出に分類される。

①は、図 2.5-2 のように津波の波力が堤体・上部工に作用することにより、堤体の転倒・滑動や上部工の亀裂・倒壊が生じるものである。これについては、堤体に作用する波圧と土圧を算定し、堤体の安定性を照査することができる。なお、津波の波圧・波力の算定式は多数提案されているが、構造物の位置、ソリトン分裂の有無などを考慮して適切な算定式を選択する必要がある。たとえば、孤立波を作用させた水路実験（写真 2.5-1）では、図 2.5-3 のように、砕波しながら孤立波が堤防模型に作用する場合に、静水面（ $z/H=0$ ）よりやや上方において既存の算定式を上回る波圧が測定されている³⁾。

②は、図 2.5-4 のように越流により構造物近傍の地盤が洗掘されるものであり、波力の増大などを通じて①や③に繋がる可能性がある。局所的な現象である洗掘を推定するには津波の流動を詳細に想定する必要があるが、越流量などから洗掘量を推定する方法⁴⁾もある。

③は、地震動により被覆工の目地が開くことなどにより、越流により被覆工が流出するものである。その照査には、越流に対する被覆工の必要質量を求めるイスバッシュの式⁵⁾など、被覆工の位置や形状等に応じて適切な算定方法を採用する必要がある。

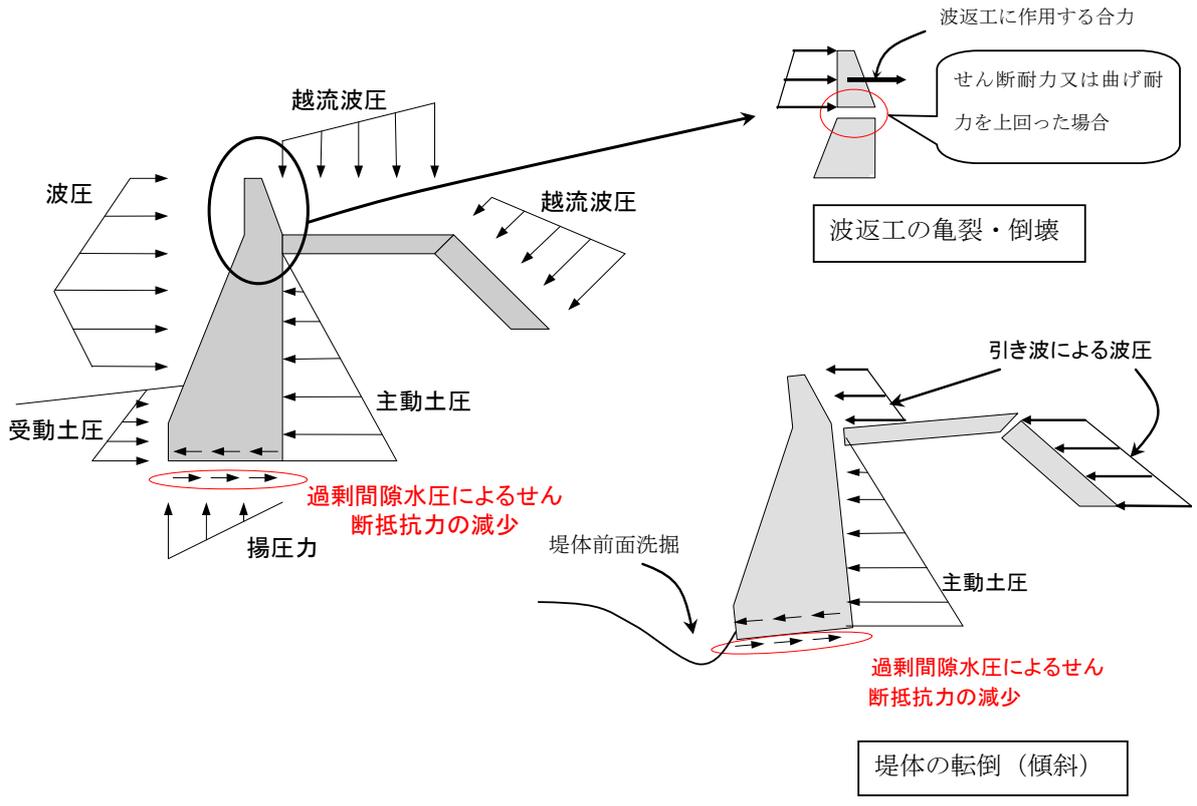


図 2.5-2 海岸堤防に作用する荷重

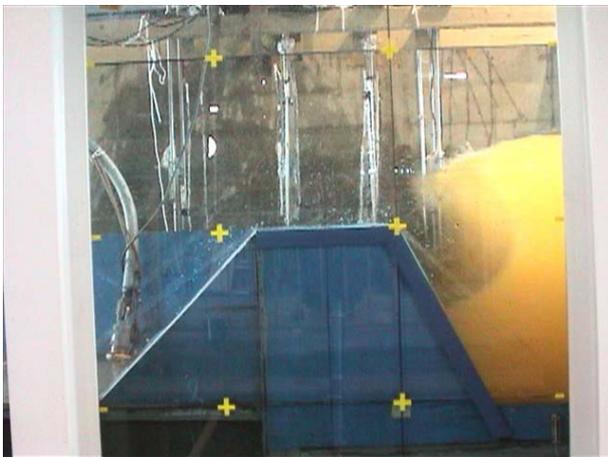


写真 2.5-1 砕波しながら堤防に衝突する孤立波

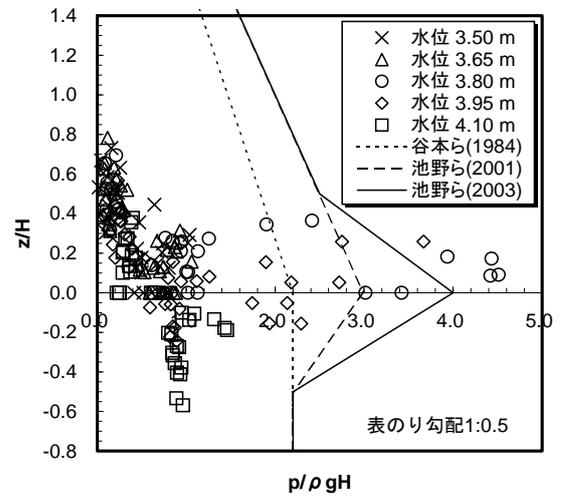


図 2.5-3 波圧の鉛直分布 (表のり勾配 1:0.5)

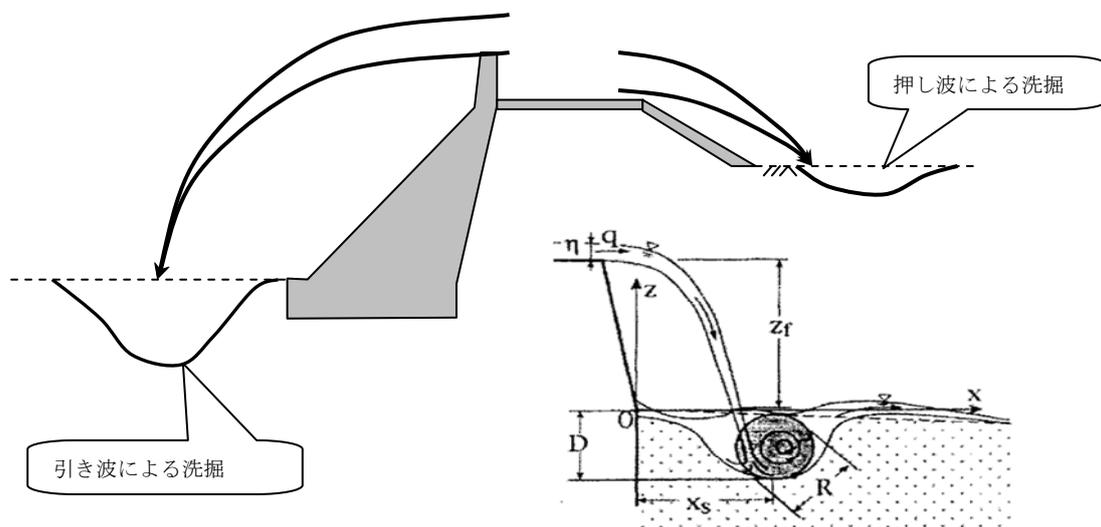


図 2.5-4 津波による構造物周辺の洗掘

2.5.4 港湾施設の被害想定

地震，津波による港湾施設の被害想定に関するこれまでの研究成果をレビューし，地震に対する被害想定手法，津波に対する被害想定手法に分けてそれぞれ体系化を図った．地震に対する被害想定手法については，これまでの関連研究がかなり進んでいることもあり，まとまった形での体系化がほぼ確立された形になっているが，津波に対する被害想定手法については，関連研究が途上のものも多く，必ずしも完全な形での体系化が実現できた段階にあるわけではない．そのため，津波波力に対する防波堤の安定，被覆石の散乱，消波工の移動・散乱，護岸の変形については類似の研究成果を津波の場合に適用する形で被害想定手法とみなすこととしている．また，近年，津波漂流物に関する被害想定手法についての研究が各方面において精力的に行われてきており，本分野について最新の研究成果を踏まえたものを取りまとめた（表 2.5-2）．

以下，被害想定の対象とする項目を4つ設定し，各項目について説明する．

表 2.5-2 被災リスク評価の対象施設と評価手法の概要（港湾施設）

対象施設等	評価手法の概要
防波堤	津波波圧を評価し滑動・転倒・支持力不足について検討
護岸	時刻歴応答解析により変形量を評価
漂流物	津波数値シミュレーション及び個別要素法による漂流物の形状表現・衝突評価を組み合わせる評価

※地震による被災評価は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」⁵⁾に従う

(1) 港湾施設の地震動による被害

港湾施設の地震動による被害は，2007年に改正された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」⁵⁾に従って想定することとする．地震動による港湾施設の被害予測手法については，静的解析手法（震度法，応答変位法等），動的解析手法（応答スペクトル法，時刻歴応答解析法）に分類できる．本研究では，各種港湾施設に対して，これらの地震被害予測手法の適用性を検討し，その結果，震度法については重力式構造物，矢板式構造物，盛土に適用可能であり，保有水平耐力法については直杭式栈橋に

適用可能であることなどが分かった。こうした結果を、実際の被害想定に用いる際の参考とすることが望まれる。

(2) 地震動・津波による防波堤の被災

地震動については、設置水深が深く設計波高が小さい場合に、波浪に関する変動状態において定まる堤体の断面諸元とレベル1地震動の関係より耐震性能照査の必要性を判断し、必要性ありと判断された場合、耐震性能照査を行うこととしている。なお、滑動・転倒に関して照査が必要とされた場合の性能照査方法は、港湾基準にもとづき行う。

津波による防波堤の被災は、波浪を対象とする変状と近似していると考え、津波による被災として特に問題となるものについての被害想定手法を以下の1)~3)のように評価した。

1) 防波堤の津波に対する安定

滑動による堤体の変位・転倒による堤体の変位・マウンド支持力不足による堤体の変位についての検討は、既存の成果である谷本らの津波波圧式を用いる。

2) 防波堤の被覆石の散乱

本検討では、流れに対する被覆材の安定質量のイスマッシュの式により、使用被覆石の重量が安定質量以下の場合、散乱が発生すると考えられる。

3) 防波堤の消波工の移動・散乱

消波工の散乱については、津波に対する評価式が存在しないため、ソリトン分裂津波による異型ブロック堤に関する散乱実験結果⁶⁾を参考にするのが望ましい。これによれば、津波による破壊力は従来の波浪によるものと比べて格段に大きく、消波ブロックの移動・散乱が生じる危険性があることが示唆されている。

(3) 地震動・津波による護岸の変形

護岸の傾斜をはじめとする構造物の変形量について、定量的な照査を行うためには、時刻歴応答解析法を用いる必要がある。時刻歴応答解析手法は、有効応力解析法と全応力解析法に分類することができ、解析プログラムがそれぞれについて存在する。これらを地震時の過剰間隙水圧の発生程度等にに応じて使い分ける必要がある。なお、全応力解析法は、その地点の土被り圧等の応力に比べて過剰間隙水圧が無視できる程度の場合に適用されるのが通常である。

津波による護岸の被害は、波力による被害、前面洗掘の被害、背面洗掘の被害に分類できる。このうち、背面洗掘の被害については、護岸背後地盤洗掘の検討、津波戻り流れによる抗力を作用荷重とするケーソン壁体上部工の安定に関する検討結果⁷⁾が参考になる。

(4) 漂流物の評価

港湾に津波が来襲した際の漂流物の挙動を適切に再現できる漂流シミュレーション手法を用いて漂流域の推定を行う。漂流物の外力としては、平面2次元津波解析結果を用い、漂流物に関する運動方程式を解くことにより、漂流物の挙動を計算することができる。

また、漂流物の衝突力を算定する方法には、木材を対象漂流物とする松富らの研究⁸⁾や、コンテナを対象とする水谷らの研究⁹⁾など、様々な既往研究が存在する。国総研では、平面二次元津波数値シミュレーション及び個別要素法による漂流物の形状表現・衝突評価を組み合わせた解析法を提案している(図2.5-5)¹⁰⁾。

実際に構造物の安全性照査を行う際には、これら各種算定手法について試算した結果等から、平均的な値を採用する等、適宜判断する必要がある。

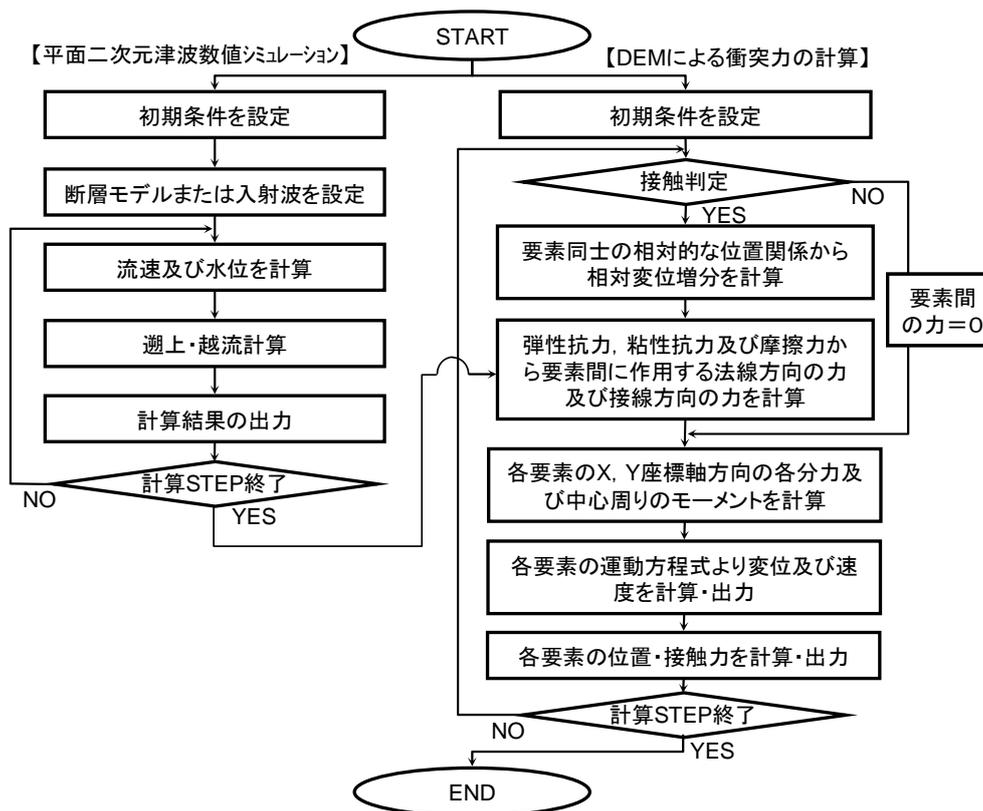


図 2.5-5 漂流物計算過程を示すフロー

2.5.5 河川施設の被害想定

液状化に伴う河川堤防の沈下量評価及び、堰、水門、樋門、樋管などの河川管理施設の地震動による被災評価については「河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説」¹¹⁾の方法に則って検討することを基本とする。また、津波による被災評価については以下のような検討を行った（表 2.5-3）。

表 2.5-3 被災リスク評価の対象施設と評価手法の概要（河川施設）

対象施設等	評価手法の概要
水門、樋門等	津波波力を算定 ¹²⁾ し応力照査
越流区間	（液状化による沈下後の堤防天端高）＜（津波時の河道内の水位）となる区間を評価
津波が堤内地に逆流する施設	津波の到達時間や、閉操作完了までの所要時間、遠隔操作の有無等を整理して評価
堤内地の浸水	津波の河川遡上シミュレーションにより評価

※地震による被災評価は「河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説」¹¹⁾に従う

(1) 津波による水門、樋門等のゲート部損傷

一般的に水門や樋門は上流からの水圧に耐えられるように設計されており、下流側からの水圧については検討されていない。水門や樋門等の河川構造物は津波の進行方向と平行にゲートが設置されているが、河道の湾曲や河川敷の状況などに応じて斜めから津波を受けることが考えられる。よってこれら施設も応力照査の実施対象とすることが望ましい。

津波波力の算定方法は「アルミニウム合金製水門設計製作指針案」¹²⁾等において提案されている。なお、津波の進行方向に対して平行な位置に配置されている水門については、衝撃力が直接作用することは考えにくい。津波の遡上状況や施設の設置状況に応じて斜めに衝突することが想定される。よって安全側(波力が作用する側)を想定して、津波がある角度から衝突するものと考え、衝撃圧を算定することも考えられる。衝突角度は適宜現地の状況等によって設定することが望ましい。

(2) 津波の越流区間

液状化による沈下後の堤防天端高と津波の河川遡上シミュレーションによる河道内の水位を比較し、津波が越流する堤防区間を把握する。津波の河川遡上シミュレーション手法については、「津波河川遡上解析の手引き(案)」¹³⁾に示されている手法を基本とする。

(3) 津波が堤内地に逆流する施設(水門、樋門など)の特定

水門、樋門等については地震動による被害が発生しなければ、状況によっては、閉操作を完了させ、堤内地への津波の流入を防ぐことが可能である。津波の河川遡上シミュレーションから得られる各所における津波の到達時間や、閉操作完了までの所要時間、遠隔操作の有無など、表 2.5-4 に示すような項目を一覧表に整理することで、津波が堤内地に流入する施設を把握することが可能である。

表 2.5-4 整理項目例

・河川名	・種別(樋門、水門など)	・ゲート構造
・管体等の大きさ	・操作状況(委託・遠隔等)	・敷高
・背後地地盤高	・想定津波高	・操作所要時間
・津波到達時間	・操作方針	

(4) 津波の河川遡上による堤内地の浸水

津波の河川遡上による堤内地の浸水想定を行う際には、上記の地震動による河川構造物に被害状況、水門・樋門等の閉操作の可否等を考慮して、適切に条件設定を行うことで、シミュレーションの精度を向上させる。シミュレーション手法については、前述の「津波の河川遡上解析の手引き(案)」¹³⁾が参考となる。

水門・樋門等の開口部からの水の流入量、河川堤防の越流量については次に示す手法で計算することができる。

①水門・樋門等の開口部からの水の流入量

最小計算格子幅よりも狭く、開口部の高さも限定されているような水門・樋門・樋管からの堤内地への流出入について「氾濫シミュレーション・マニュアル(案)」¹⁴⁾に施設の前面と背面の水位差を用いて流量を算定する方法が示されており、その他に施設開口部の幅に応じて通過流量を制限するなどの方法が考えられる。いずれの方法を用いる場合においても、施設の開口部の断面積など施設諸元を考慮したモデル化を行う必要がある。また、堤外側にフラップゲートが設置されている施設については、津波来襲時にゲートが自動で閉鎖されるため津波が施設を逆流することはないと考え、モデル化の対象から除外できると考えられる。

②河川堤防の越流量

河道内の水位が堤防天端高を超えた場合、越流状態に応じて堤単位長さ当たりの越流量を本間の公

式¹⁵⁾を用いて算出することができる¹⁶⁾。

2.5.6 道路施設の被害想定

(1) 道路通行障害の予測手法の検討

道路は地震・津波災害時にも、沿岸部からの避難や救助等の緊急活動、ライフラインの復旧活動等を支える交通基盤として機能することが期待されている。しかしながら、全ての道路施設に直ちに補強等の対策を実施することは困難であるし、道路施設そのものは被災を免れたとしても浸水等により通行障害が発生する可能性がある。したがって、これら種々の可能性を考慮した上で、地震発生からどの程度の時間、どの区間に通行障害が生じる可能性があるかを予め把握しておくことが望ましい。

ここでは、地震・津波発生時の道路通行障害の予測に適用可能な手法を整理した¹⁷⁾。地震・津波時には、種々の要因で道路通行障害が発生する可能性があるが、ここでの対象は、橋梁と盛土の地震動・津波波力による被災、浸水と道路上への漂流物(家屋倒壊による瓦礫、漁船)の影響とした(表 2.5-5)。このうち、橋梁と盛土の地震動による被災および盛土の津波による被災については、既往の研究で提案されている手法^{18),19),20)}が適用可能であるが、道路橋の津波被災度については実用的な評価手法がないため、模型実験の結果等をもとに新しく提案した。道路の浸水区間は、推定されている最大浸水深が路面高(=路面の標高-周辺地盤の標高)より大きい区間として評価できる。また、漂流物についても新しく評価手順を検討した。

表 2.5-5 被災リスク評価の対象施設と評価手法の概要(道路施設)

対象施設等	評価手法の概要
橋梁	地震：地震動強さと構造諸元から簡易フロー ¹⁸⁾ に基づき評価 津波：津波高さから構造諸元から簡易フローに基づき評価
盛土	地震：道路防災総点検の評価点数と換算水平震度から沈下量を推定 ¹⁹⁾ 津波：越流水深と盛土高から整理された被災基準 ²⁰⁾ により評価
浸水区間	(最大浸水深) > (路面の標高-周辺地盤の標高)の区間として評価
漂流物	最大浸水深と各種統計調査データから手順に基づき評価

(2) 道路橋の津波被災度評価

まず水路と橋桁模型(縮尺 1/18)を用いた実験(写真 2.5-2)を行い、津波を模擬した孤立波が橋桁模型に衝突する際の波力を計測した²¹⁾。実験で得られた波力の時刻歴は、水平成分、上下成分ともに、波が衝突した直後にかなり大きい衝撃波力が作用し、その後、ほぼ定常であるが漸減する抗力が作用していた。検討の結果、衝撃波力は波が橋桁模型の付近で砕波するか否かに大きく影響されること、橋桁の流失可能性の評価には津波による道路橋の被災度評価には、水平抗力を考慮する必要があること、水平抗力は港湾基準の式⁵⁾により安全側の評価が可能であること(図 2.5-6)などが分かった²¹⁾。

この結果を参考に、図 2.5-7 に示すような道路橋の津波被災度評価フローを作成した。これは以下のような考えに基づくものである。

①橋桁を越流すれば支承が損傷すると評価する。ただし、平成8年以降の道路橋示方書を適用したものについては、兵庫県南部地震相当の地震力を考慮して耐震設計され、相当大きな耐力を有しているこ

とから、津波の衝突に対しても十分な耐力を有しているものとする。

② 支承が損傷する場合、橋桁が流失するか否かの判定を行う。津波衝突時に橋桁に作用する水平抗力（港湾基準の式で評価²¹⁾）が摩擦力（橋桁の水中重量×摩擦係数）よりも大きい場合、橋桁が流失する可能性がある」と判定する。

③ 橋桁が流失する可能性がある場合、橋軸直角方向変位制限装置あるいは落橋防止構造の有無で被災度を判定する。これは、2004年スマトラ島沖地震による津波の際にバンダアチェ市周辺で見られた、橋桁の橋軸直角方向への移動を防ぐ拘束機構が橋桁の流失を防止した事例²²⁾を考慮したものである。

フローにしたがって評価した被災度から、地震被災度評価¹⁸⁾と同様に、図 2.5-8 に従って道路橋の走行性 a, b, c を判定する。ただし、背面土判定シートとして図 2.5-9 を用いる点が地震とは異なる。走行性の定義は以下の通りである。

- a: 構造的に問題があるため短期間での通行は不可能
- b: 構造的に問題なく1~2日程度の段差修正で通行可
- c: 無補修あるいは軽微な段差補修で通行可



写真 2.5-2 水路実験において橋桁模型に衝突する孤立波

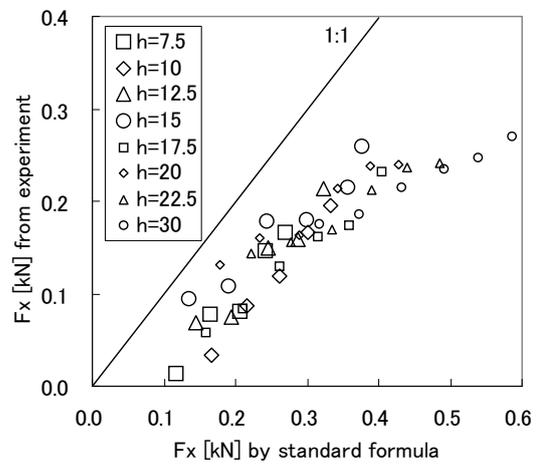


図 2.5-6 計測された波力と港湾基準式から推定される波力の比較 (h は水深[cm])

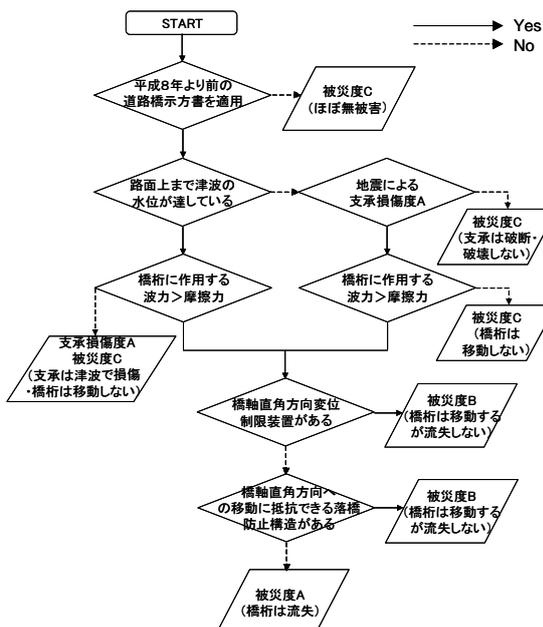


図 2.5-7 桁橋形式の道路橋の津波被災度評価フロー

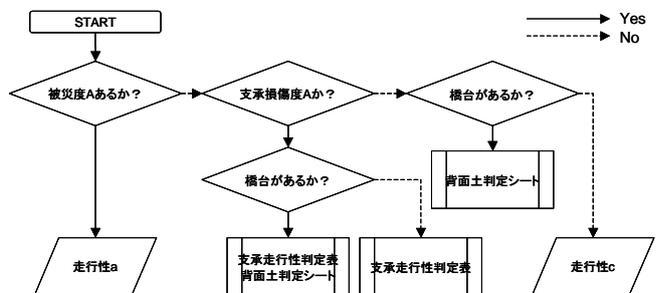


図 2.5-8 道路橋の走行性の判定フロー¹⁸⁾

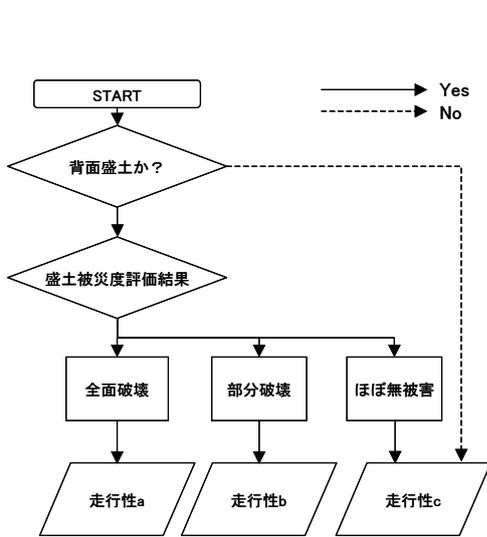


図 2.5-9 津波走行性判定に用いる
背面土判定シート

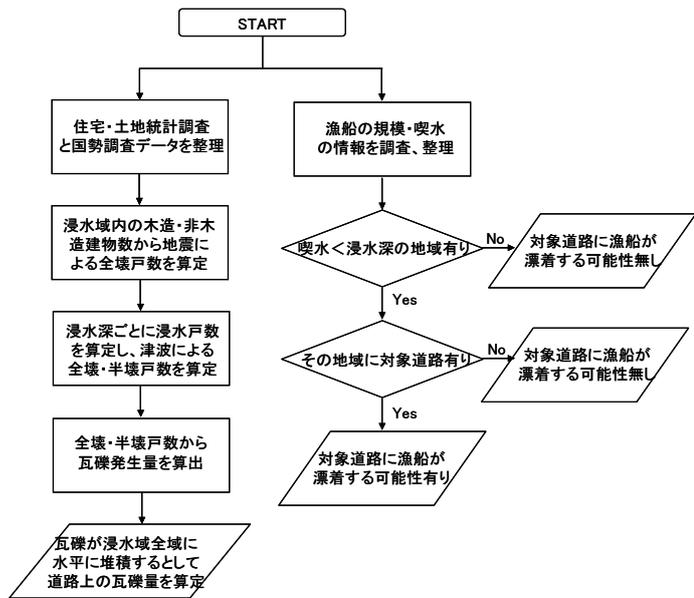


図 2.5-10 漂流物（家屋倒壊の瓦礫，漁船）の評価フロー

(3) 漂流物の評価

漂流物としては、1993年北海道南西沖地震(M7.8)による津波の被害実態を参考に家屋倒壊による瓦礫と漁船を考慮し、図 2.5-10 のフローで道路上に堆積する瓦礫量と漁船が漂着する可能性を評価することとした。道路上に堆積する瓦礫量は、次の手順で算定する。

- ① 浸水域内の木造・非木造建物数を計測震度ごと、浸水深ごとに算出
- ② 計測震度と建物被害率の関係から木造・非木造それぞれの地震による全壊棟数を算出
- ③ 地震による全壊棟数を除いた木造建物を対象に、津波による全壊・半壊棟数を算出
- ④ 地震と津波による全壊・半壊棟数を合わせた建物被害棟数と1棟あたり床面積から被害面積を算出し、面積当たり瓦礫重量から瓦礫重量を算出、さらに瓦礫体積に換算
- ⑤ 発生した瓦礫は浸水域全域に水平に同じ厚さで堆積するとして、道路上の瓦礫量を算定（ただし道路上に堆積する瓦礫の高さはその地点の最大浸水深を上回らない）

漁船の漂着可能性については、漁船の規模と喫水を調査し、喫水よりも浸水深が大きく、対象とする道路が存在する地域では、その道路に漁船が漂着する可能性があるとして評価する。個々の漁船の喫水について情報が得られない場合には、漁船の規模から推定される喫水の最小値を用いる。

2.5.7 被害想定結果の活用方法

(1) 被害想定適用例

地震・津波による公共土木施設の被害や浸水域の想定結果を表示した被害想定マップを作成することにより、地域ごとの地理的条件等を考慮した上で、地震・津波対策計画を具体的に関係機関が連携して検討することができるようになる。また、災害時の重要拠点や公共機関の位置もマップに示すことにより、ハード対策(公共土木施設の整備・補強)だけではなく、ソフト対策(情報提供や初動体制の改善等)による被害の軽減策を検討することができる。

例として、想定南海地震とその津波を対象に、高知県香南市・南国市周辺、および須崎市周辺の被害想定マップを試作した結果を図 2.5-11 と図 2.5-12 に示す。ここで、南海地震発生時の地震動強さと

津波浸水深の分布は、高知県が 1854 年安政南海地震 (M8.4) 相当の地震を想定して実施した調査の結果^{23),24)}を用いている。各施設の被災や浸水域等の評価結果に加えて、地震・津波対策計画を立案する上で参考となる津波到達時間、浸水域、庁舎や病院の位置、橋梁の補強状況や既存の手法^{25),26)}で評価した建物及び人的被害数などを記載したものとなっている。このほか、海岸堤防などの津波防御施設については、補強や新規建設といった対策を実施する前と実施した後のマップを作成し、浸水域や背後地の被害を比較することにより、対策実施の判断の参考とすることができる。

(2) 活用方法

このようなマップを作成することにより、防災訓練の実施、情報提供、避難路・避難場所、効率的な緊急・復旧活動のための事前の計画、被害の軽減に特に有効な津波防御施設や優先的に補強すべき施設などを具体的に検討することができるようになる。海岸堤防などの津波防御施設については、補強や新規建設といった対策を実施する前と実施した後のマップを作成し、浸水域や背後地の被害を比較することにより、対策実施の判断の参考とすることができる。

これらの項目からなる地震・津波対策検討フローを図 2.5-13 に示すが、このうち情報提供、水門・陸閘の操作計画及び整備（自動化や遠隔操作化）計画や避難路を検討するにあたっては、揺れを感じた直後から津波が到達するまでの時間的余裕を考慮する必要がある。またこれらの前提として、対応にあたる関係者の安全確保や参集の可否を検討しておかなければならない。

たとえば、本研究成果をもとに、岩佐²⁷⁾は高知県東部の国道 55 号を対象として、2.5.6 の手法による南海地震・津波発生時を想定した道路通行障害の予測結果に加えて、斜面災害発生リスクや沿道建物の倒壊リスク等を考慮した上で、被災後 3 日以内に交通機能を復旧するために必要な土工機械、運搬機械、機械オペレータの必要量を沿岸 9 市町村別に概算している。その結果と現状の機械保有量とオペレータ数を比較した上で、南国市以外の 8 市町村ではこれら復旧資源が不足している一方で、比較的余裕のある南国市は隣接する高知市の復旧活動の支援に当たることができる可能性が高いことを指摘している。

このような地域ごとの復旧資源の不足状況を改善していくためには、道路施設の補強を着実に進めていくとともに、自治体（復旧資源の調達のため）、住民や漁協（漂流物の撤去を円滑にするため）、建設会社（通信障害時の自律的な復旧活動のため）等と事前に対処方法に関する協定を結んでおくことも必要となる。

岩佐による研究²⁷⁾を参考に被害想定に基づく分析のイメージを示したものが表 2.5-6 であるが、現時点では復旧作業量や復旧能力の数値化に課題もあるものの、定量的分析により地域ごとの特徴を見だし、戦略的に弱点を克服していくことで復旧能力が向上するものと期待される。

被害想定はこのように被災時の状況をイメージし、具体的な対策計画の立案を支援することができるツールとして不可欠のものである。一方、被害想定はあくまでも具体的な検討を始めるための出発点であり、実際に想定したとおりの状況になることはまずあり得ない。対策計画の立案にあたっては、想定外の事態が発生することも考慮しつつ、柔軟に検討する必要があることを忘れてはならない。

(3) 被害想定結果の共有

地震・津波対策計画の検討にあたっては、公共土木施設の被害想定結果等を関係機関で共有し、同一の被害想定に基づいて適切な対応を検討することも重要である。例えば公共土木施設では、海岸・河川施設の被害想定結果や対策状況は想定浸水域に影響するため、港湾・道路施設の機能障害につな

がる。また、港湾施設からの漂流物、道路施設の被災による点検・復旧活動への影響なども、対策計画の検討に際して考慮する必要がある（図 2.5-14）。したがって、関係機関がそれぞれの被害想定結果や地震・津波対策状況等について情報交換を密接に行うことで、総合的に効果の高い対策計画が立案できるようになる。具体的には、関係機関それぞれの役割分担等も含め、対策計画を防災会議等で議論しておくことが望ましい。

また、防災事業についても、事業の構想段階から住民との合意を図る取り組みが行われてきているところである。対策計画の考え方や効果を確認する意味でも、被害想定を適宜実施しておくことにより、事業の円滑な実施が期待されるとともに、住民等への行政の説明責任の向上に資するものと考えられる。

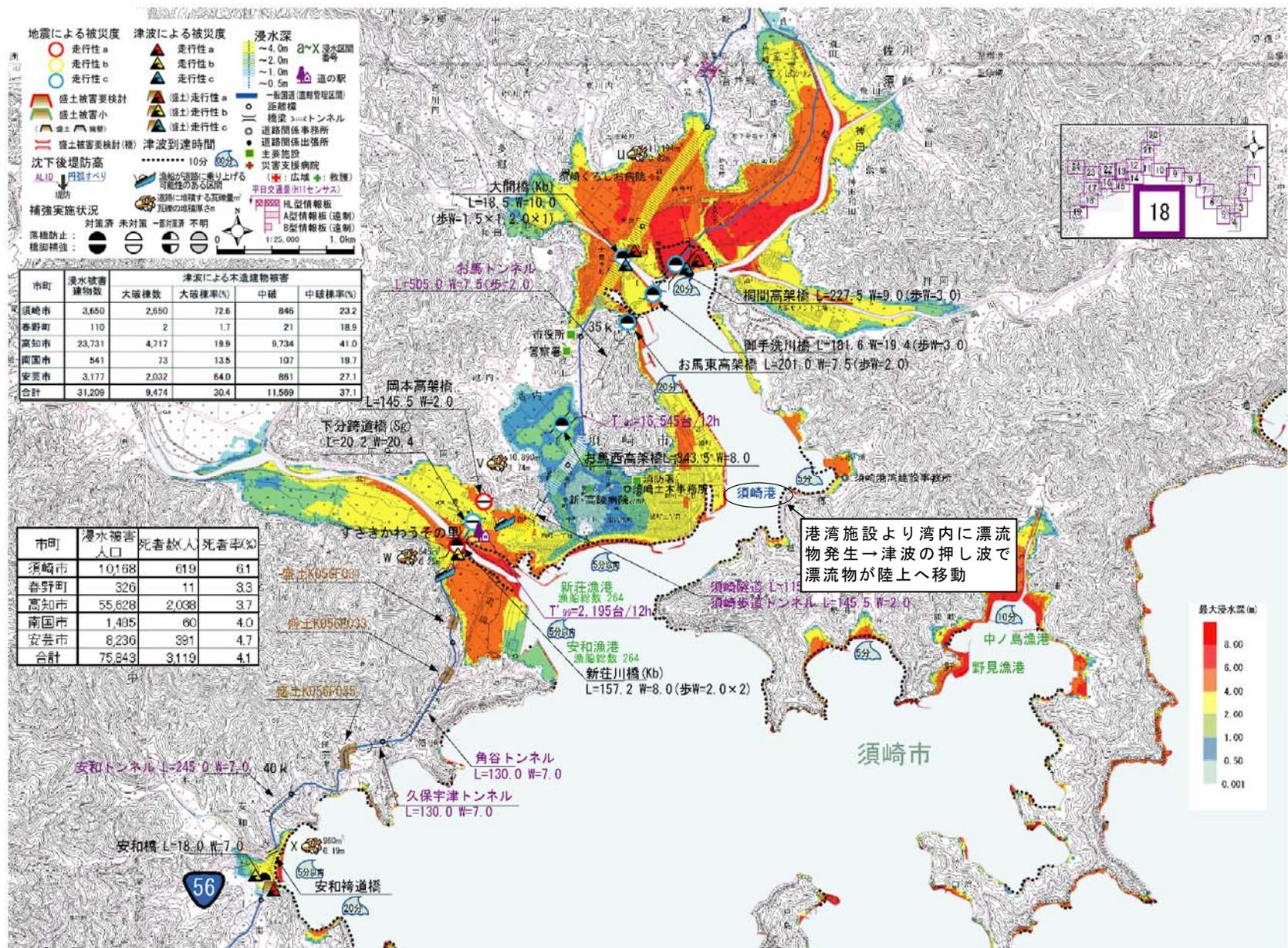


図 2.5-12 地震・津波被害想定マップの例 (高知県須崎市周辺)

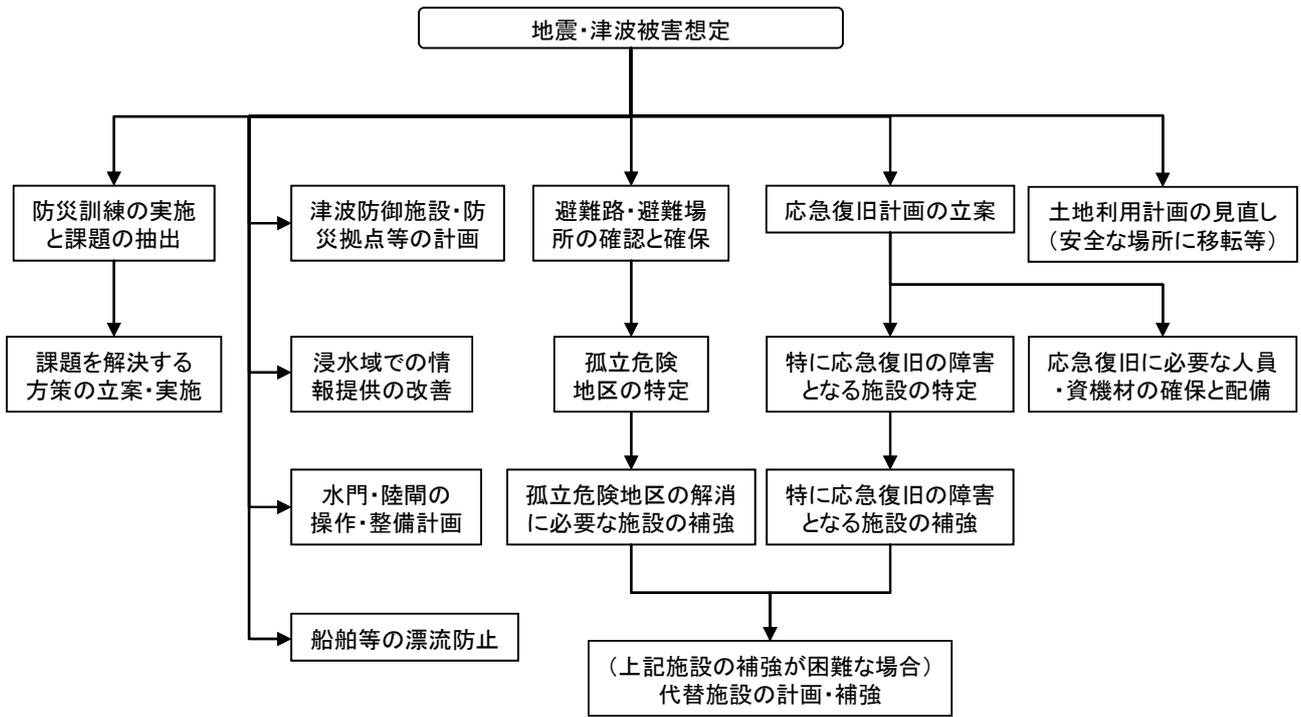


図 2.5-13 被害想定に基づく地震・津波対策検討フロー

表 2.5-6 復旧日数，復旧資源の不足量および対応策の分析イメージ

	作業量 R	復旧能力 $C = \min(C_1, C_2)$		復旧日数 R/C	復旧資源の不足量		対応策等
		資機材 C_1	オペレータ C_2		資機材	オペレータ	
A市	10	65	20	<1	-	-	復旧資源に余裕がある. 近隣市の応援が可能.
B市	30	3	15	10	27	15	復旧資源が不足. 近隣市との応援協定の締結を検討.
C市	60	80	10	6	-	50	オペレータが不足. 応援協定の締結を検討. 特にオペレータの育成・確保が必要.
...							

R: 各自治体の被害想定結果から総合的な復旧作業量を定量化した値

C: $R=1$ の作業が 1 日のできる能力を $C=1$ として復旧能力を定量化した値

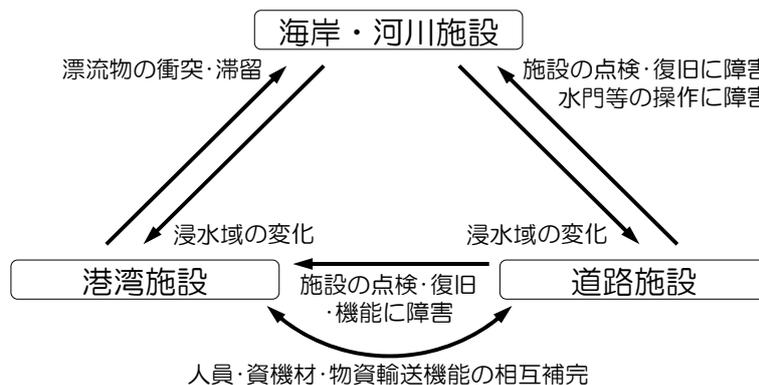


図 2.5-14 対策計画の検討で考慮すべき公共土木施設の相互影響

2.5.8 まとめと今後の課題

本研究では、海岸・港湾・河川・道路施設を対象に、地震・津波複合災害に対する統一的な被災リスク評価手法を提案した。また、リスク評価結果をもとに被害想定マップを試作するとともに、対策計画の立案にどう活用すべきかを提案した。研究成果は紀南河川国道事務所、土佐国道事務所および九州地方整備局における東南海・南海地震津波対策計画の立案に活用されている。

今後は、提案手法の検証を進めるとともに、精度向上のためのデータ蓄積や手法の高度化を図っていく必要がある。

謝辞

高知県総務部危機管理課には想定南海地震の地震動および津波推定結果の数値データを、四国地方整備局と高知河川国道事務所、土佐国道事務所には所管施設に関するデータをご提供いただいた。土佐国道事務所には道路施設の被害想定を実施する上で種々ご指導とご協力をいただいた。また、日本大学の首藤先生には、津波による消波ブロックの被害想定について貴重なご意見を賜った。あわせて深く謝意を表する次第である。

【参考文献】

- 1) 地震防災研究室，海岸研究室，沿岸防災研究室，水害研究室：公共土木施設の地震・津波被害想定マニュアル（案），国土技術政策総合研究所資料，第485号，2008。
- 2) 海岸保全施設技術研究会編：海岸保全施設の技術上の基準・同解説，2004
- 3) 加藤史訓，稲垣茂樹，福濱方哉：津波により海岸堤防に作用する波力に関する大型模型実験．海岸工学論文集，第52巻，pp.756-760，2005。
- 4) 野口賢二，佐藤慎司，田中茂信：津波遡上による護岸越波および前面洗掘の大規模模型実験，海岸工学論文集，第44巻，pp.296-300，1997。
- 5) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2007。
- 6) 富樫宏由・平山康志・杉山正弘：ソリトン分裂遡上津波による消波ブロック堤の破壊機構，海岸工学論文集，第34巻，pp.517-521，1987。
- 7) Okamoto, O., Oda, K. and Kumagai, K.: Study on scour by tsunamis —example of port and harbor structures—, ICSE-4, 2008.
- 8) 松富英夫・池田弘樹：大規模実験に基づく流木衝突力の評価法，海岸工学論文集，第43巻，pp.781-785，1996。
- 9) 水谷法美・高木祐介・白石和睦・宮島正悟・富田孝史：エプロン上のコンテナに作用する津波力と漂流衝突力に関する研究，海岸工学論文集，第52巻，pp.741-745，2005。
- 10) 熊谷兼太郎・小田勝也・藤井直樹：津波によるコンテナの漂流・衝突シミュレーションと衝突力の評価，海岸工学論文集，第54巻，2007。
- 11) 国土交通省河川局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説，2007。
- 12) 軽金属協会土木重構造物委員会：アルミニウム合金製水門設計製作指案，1979。
- 13) 国土技術研究センター：津波の河川遡上解析の手引き（案），2007。
- 14) 土木研究所：氾濫シミュレーション・マニュアル（案）—シミュレーションの手引き及び新モデルの検証—，1996。
- 15) 本間仁：低溢流堰堤の越流係数，土木学会誌，第26巻，6号，pp.635～645，9号，pp.849～862，1940。

- 16) 土木学会原子力土木委員会津波評価部会：原子力発電所の津波評価技術，2002.
- 17) 片岡正次郎，鶴田舞，長屋和宏，日下部毅明，小路泰広：道路施設の地震・津波被害想定と対策検討への活用方針，土木学会地震工学論文集，Vol. 29, pp. 918-925, 2007.
- 18) 小林寛，運上茂樹：大地震時における道路橋の被災度推定手法，土木技術資料，Vol. 47, No. 12, pp. 48-53, 2005.
- 19) 土木研究所：道路盛土の簡易耐震性評価法（案），2003.
- 20) 首藤伸夫：津波による海岸堤防・護岸の被災－昭和8年三陸大津波から昭和35年チリ津波まで－，津波工学研究報告，Vol. 16, pp. 1-37, 1999.
- 21) 片岡正次郎，日下部毅明，長屋和宏：津波衝突時に橋桁に作用する波力，第12回日本地震工学シンポジウム論文集，pp. 154-157, 2006.
- 22) Unjoh, S.: Damage to transportation facilities, The damage induced by Sumatra earthquake and associated tsunami of December 26, 2004, pp.66-76, 2005.
- 23) 高知県：第2次高知県地震対策基礎調査，2004.
- 24) 高知県：高知県津波防災アセスメント補完調査報告書，2005.
- 25) 中央防災会議「東南海，南海地震等に関する専門調査会」：第10回参考資料，http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/10/sankou_siryou.pdf, 2003.
- 26) 中央防災会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」：第17回参考資料1，<http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaikou/17/siryou1.pdf>, 2006.
- 27) 岩佐隆：南海地震に対する高知県東部地域の交通機能復旧のあり方について，高知工科大学大学院修士論文，2008.