

2. 3 リスク評価手法の検討

2. 3. 1 既存のリスク分析手法の概要

(1) 概要

2. 2. 5において、地域特性によって災害毎に生じる被害の発生イベントをリストアップした。それとともに、それぞれの事象の被害進展と連関を樹形図として整理することにより、災害波及構造を一般化した。

一方、災害対策を検討する際には、災害波及構造を想定するだけではなく、被害をリスクとして分析・評価し、評価に応じた優先度付けや対策の内容（投入すべきコスト、ソフト対策かハード対策かなど）を議論することになる。本項では想定された被害のリスクの重要度および影響度を評価する手法について検討を行った。

災害リスクの重要度・影響度の評価を実施するにあたり、まず既存のリスク分析手法から有効性が高いと思われる分析手法を収集するため、まずは全般的なリスク分析手法について、JIS-Q31010※を使用し事例収集を実施した。各手法の適用性を表 2.3.1 に、リスクレベルの設定で適用可能な手法（SA：推奨、A：適用可能）の概要を表 2.3.2(1)～表 2.3.2(4) に示す。

(2) 各リスク分析手法の自然災害適用事例

(1) で整理を行ったリスク分析手法のうち、自然災害への適用事例数等の整理を表 2.3.3 に示す。さらに、自然災害の適用事例があったリスク分析手法について、表 2.3.4 に示す適用事例の記載内容に沿って地域性の考慮・災害外力種・定量的指標・リスクレベル設定の有無について整理し、有効な手法の検討を行った。整理結果を表 2.3.5 に示す。

リスク分析手法については課題に応じ適切に選択されうるものであるが、地域性考慮・災害外力種・定量的指標・リスクレベル設定について適用性があり、リスク発生の可能性および深刻さに関する分析結果から重要性を評価できるリスクマトリクス法が有効な手法と考え、2. 4 で後述するケーススタディおよび2. 5 で後述するツールキットの作成に用いる手法として選定した。表 2.3.6 にリスク分析手法の特徴を示す。

※日本工業標準調査会、JIS リスクマネジメントーリスクアセスメント技法 JIS Q 31010、平成 24 年 4 月 20 日制定

表 2.3.1 各リスク分析手法の適用性

分析手法	結果 (影響度)	発生確率	リスク レベル
ブレインストーミング	NA	NA	NA
構造化又は半構造化インタビュー	NA	NA	NA
デルファイ法	NA	NA	NA
チェックリスト	NA	NA	NA
予備的ハザード分析(PHA)	NA	NA	NA
HAZOPスタディーズ	SA	A	A
ハザード分析及び必須管理点(HACCP)	SA	NA	NA
環境リスクアセスメント	SA	SA	SA
構造化“Whatif”技法(SWIFT)	SA	SA	SA
シナリオ分析	SA	A	A
事業影響度分析(BIA)	SA	A	A
根本原因分析(RCA)	SA	SA	SA
故障モード・影響解析(FMEA)	SA	SA	SA
故障の木解析(FTA)	NA	SA	A
事象の木解析(ETA)	SA	A	A
原因・結果分析	SA	SA	A
原因影響分析	SA	NA	NA
防護層解析(LOPA)	SA	A	A
決定木解析	SA	SA	A
人間信頼性分析(HRA)	SA	SA	SA
ちょう(蝶)ネクタイ分析	A	SA	SA
信頼性重視保全(RCM)	SA	SA	SA
スニーク回路解析(SCA)	NA	NA	NA
マルコフ解析	SA	NA	NA
モンテカルロシミュレーション	NA	NA	NA
ベイズ統計及びベイズネット	SA	NA	NA
FN曲線	SA	SA	A
リスク指標	SA	SA	A
リスクマトリックス	SA	SA	SA
費用／便益分析(CBA)	SA	A	A
多基準意思決定分析(MCDA)	SA	A	SA

SA は推奨, NA は適用不可, A は適用可能を表す。

*ハッチはリスクレベルの設定が適用不可 (NA) となる分析手法

表 2.3.2(1) 各リスク分析手法の概要 (SA:推奨, NA:適用不可, A:適用可能)

分析手法		HAZOP スタディーズ	環境リスク アセスメント	構造化“Wharfit” 技法(SWIFT)	シナリオ分析	事業影響度 分析(BIA)
適用性	リスク 特定	SA	SA	SA	SA	A
	結果 (深刻さ)	SA	SA	SA	SA	SA
	発生確率	A	SA	SA	A	A
	リスク レベル	A	SA	SA	A	A
	リスク 評価	A	SA	SA	A	A
	その他	リスクの原因	リスクの原因・経路	—	結果の検討可	—
情報の 取得 手段	リスク 特定	専門家・実務者 の意見	良質なデータ	参加者の意見 (プロンプトリスト)	意思決定者・ 分析者の意見	ワークショップ等 参加者
	結果 (深刻さ)	”	”	”	”	”
	発生確率	”	”	”	”	”
	リスク レベル	”	”	”	”	”
	リスク 基準設定	”	(不明)	”	(不明)	(不明)
	リスク 評価	”	良質なデータ	”	意思決定者・ 分析者の意見	ワークショップ等 参加者
	リスク 対応	”	”	”	(不明)	”
概要		計画中又は既存の製 品・プロセス・手順・シ ステムの構造化された 系統的な調査を行い、 人・機器・環境・組織の 目的に対するリスクを 特定する技法である (リスク対応策も)。設 定の意図や動作条件 の達成が妨げられるガ イドワードを使用する。	様々な環境ハザードへ の曝露の結果として、 動物・植物・人に生じる リスクのアセスメントを 網羅的に実施する。ハ ザードと影響対象、及 び影響経路の分析し、 危害の考えられる範囲 及び性質の推定を行 う。	ワークショップの参加 者にリスクを特定する ように促すために、一 連の“プロンプト”語又 は語句を用いて系統 的にチームで行う調査 である。システム、プラ ントアイテム、組織又 は手順が、正常な運転 及び行動からの逸脱 によってどのように影 響されるか調査する。	将来どのようになるか についての記述的モデ ル展開を行う分析手法 である。考えられる将 来の進展を検討し、そ の影響を調べることに よって、リスクを特定す るときに使用できる。 変化の発生確率を予 測することはできない が、結果を検討するこ とができ、組織が予測 可能な変化に対応す るために必要となる長 所及び回復力の育成 を手助けする。	主要な中断リスクが組 織の運営にどのように 影響するかを分析し、 運用管理するために必 要な能力を特定及び 定量化し、以下の合意 を得る。 ①主要な事業プロセ ス・機能・組織に関す る資源・相互依存性の 特定・致命度 ②対応・運用管理能力 に対する中断事象の 影響 ③中断の影響を復旧さ せるのに必要な対応・ 運用管理能力
リスクの 評価方法 の概要		例えば、ガイドワードを 当てはめ、調査によっ て好ましくない結果(深 刻さ)が出そうな逸脱 を特定するとともに、ア ンケート等で発生頻度 を把握し、リスクマト リクスにあてはめて評価 を行う。	試験等からハザードに よる曝露の程度一反 応曲線を導き出し深刻 さを把握し、全ての経 路からの影響を総合し たときの特定の結果の 発生確率を推定する。 これらをリスクレベルと して算定し、リスク評価 を行う。	ワークショップでの討議 結果について、リスク、 その原因・結果・想定 する管理策を記述した ものをチームで確認し 記録する。	例えば、既存の情報か ら深刻さや発生確率を 考慮したシナリオを作 成し、目的に合った行 動オプションとなってい るか定性的に評価す る。	例えば、敷設の復旧時 間を指標とした事業継 続性を評価する。
手法の 特徴	発生確率 深刻さ等	定性的	定性的	定性的	定性的	定性的
	リスク レベル (重大性)	不明 (自然災害事例)	不明 (自然災害事例)	不明 (自然災害事例)	非客観的評価 (自然災害事例)	非客観的評価 (自然災害事例)
長所	利便性や 管理の しやすさ			●ワークショップ参加 者の準備するものが少 ない。 ●少労力で、リスク 一覧表・リスク対応計画 を作成可		
	議論等 促進					
短所	利便性や 管理の しやすさ	●詳細な分析には、時 間と費用がかかる。				
	議論等 促進	●設計者の専門知識 に頼りすぎて、問題を 客観視できない事がある。				
	その他		●良質なデータが必要 であるが、一般的に高 レベルの不確かさが付 きまとうことが多い。	●効率的に行うために は、経験があり、有能 なファシリテータが必要。		

表 2.3.2(2) 各リスク分析手法の概要 (SA:推奨, NA:適用不可, A:適用可能)

分析手法		根本原因分析 (RCA)	故障モード・影響解析 (FMEA)	故障の木解析 (FTA)	事象の木解析 (ETA)	原因・結果分析
適用性	リスク特定	NA	SA	A	A	A
	結果 (深刻さ)	SA	SA	NA	SA	SA
	発生確率	SA	SA	SA	A	SA
	リスクレベル	SA	SA	A	A	A
	リスク評価	SA	SA	A	NA	A
	その他	リスクの原因	リスクの原因	リスクの原因・経路	—	リスクの原因
情報の取得手段	リスク特定	NA	対象のシステム・コンポーネント	データベース	データベース (他の分析結果)	データベース (他の分析結果)
	結果 (深刻さ)	データベース 専門家の意見	”	NA	データベース	データベース
	発生確率	”	”	データベース	”	”
	リスクレベル	”	”	”	”	”
	リスク基準設定	(不明)	(不明)	(不明)	(不明)	(不明)
	リスク評価	データベース 専門家の意見	対象のシステム・コンポーネント	データベース	NA	データベース
リスク対応	専門家の意見	”	(不明)	データベース (他の分析結果)	データベース (他の分析結果)	
概要		失敗又は損失から収集した全ての証拠を分析し、解決策の立案・勧告を行う。うまくいかない原因の評価は、はじめに明らかとなる物理的原因から、人に関係する原因を経て、最後に基礎をなすマネジメント又は根本原因へと進める	コンポーネント・システム・プロセスが、どのようにして設計の意図を満たすことに失敗するかを明らかにする技法で、以下を明確にする。 ①故障がシステムに与えるおそれのある影響 ②故障メカニズム③故障を回避する方法・故障のシステムへの影響の軽減方法	調査対象の望ましくない事象の原因となり得る要因を突き止め、分析するための技法。原因となる要素は演繹的に特定し、論理的に関係付け、原因となる要素と頂上事象との論理的関係を描き出した樹形図で図示。望ましくない事象に帰着する、コンポーネントのハードウェア故障、ヒューマンエラー又は他の関連事象を樹形図で明らかにする。	システムの動作・不動作に従って、起因事象に続く事象の相互排他的順序を表す。定性的にも定量的にも適用できる。木のように扇形に広げることによって、追加されるシステム、機能・防壁を考慮しながら、起因事象に対応して悪化・緩和する事象を表すことができる。	原因・結果解析は、FTAとETAとを組み合わせたものである。決定的事象から始めて、発生する可能性がある条件又は起因事象の結果を緩和するように設計したシステムの失敗を表す、はい/いいえ分岐ゲートの組合せによって結果を解析する。条件又は失敗の原因は、FTAによって解析する。
リスクの評価方法の概要		原因を特定するために、FMEAを用いることだが、リスク評価方法はこれに準じる。	例えば、アンケートやデータベースより、発生頻度や深刻さの指標を設定し、指標値の平均を合計してリスクを評価する。	既存の情報に基づく発生確率よりリスクを評価する。	例えば、既存の情報に基づく発生確率と、別途算出した深刻さについて、リスクマトリクスにより、リスクを評価する。	例えば、既存の情報に基づく発生確率と、別途算出した深刻さについて、リスクマトリクスにより、リスクを評価する。
手法の特徴	発生確率 深刻さ等	定性的	定量的	定量的	定量的	定量的
	リスクレベル (重大性)	不明 (自然災害事例)	非客観的評価 (自然災害事例)	非客観的評価 (自然災害事例)	客観的評価 (自然災害事例)	不明 (自然災害事例)
長所	利便性や管理のしやすさ	●結果の文書化	●コンポーネントの故障モード・原因、システムへの影響を特定し、それを分かりやすく表示。	●図式表示のため、システム挙動・要因が簡単に理解できる	●事象の順序を図示できる。	
	議論等促進					
短所	利便性や管理のしやすさ		●適切に管理し、焦点を絞らない限り、調査は時間がかかり、コストがかさむものとなる。			
	議論等促進					
	その他		●単独故障モードの特定だけに使用可能で、複合故障モードの特定には使用できない。			

表 2.3.2(3) 各リスク分析手法の概要 (SA:推奨, NA:適用不可, A:適用可能)

分析手法		防護層解析 (LOPA)	決定木解析	人間信頼性分析 (HRA)	蝶ネクタイ分析	信頼性重視保全 (RCM)
適用性	リスク特定	A	NA	SA	NA	SA
	結果 (深刻さ)	SA	SA	SA	A	SA
	発生確率	A	SA	SA	SA	SA
	リスクレベル	A	A	SA	SA	SA
	リスク評価	NA	A	A	A (具体的方法不明)	SA
	その他	リスクの原因	リスクの原因・経路	—	リスクの原因・経路	—
情報の取得手段	リスク特定	リスク基本情報 専門家の意見	NA	調査・評価者 データベース	NA	機器・システムと 故障と結果情報
	結果 (深刻さ)	"	プロジェクト計画・ 結果・事象の情報	調査・評価者	リスク原因・結果・ 管理策の情報	"
	発生確率	"	"	"	"	"
	リスクレベル	"	"	"	"	"
	リスク 基準設定	"	(不明)	(不明)	(不明)	"
	リスク 評価	NA	プロジェクト計画・ 結果・事象の情報	調査・評価者	(不明)	"
リスク 対応	リスク基本情報 専門家の意見	(不明)	"	"	"	
概要		LOPA は、好ましくない事象・シナリオに付随するリスクの、半定量的算定方法である。リスクを抑制・緩和するための、十分な対策があるかどうかを解析する。原因・結果の対を選択し、好ましくない結果をもたらす原因を防ぐ防護層を特定する。防護がリスクを許容水準まで低減する上で適切かどうかを判定するために、大きさの等級計算を実施する。	プロジェクトリスクの管理及びその他の状況で使用し、不確かさがある場合に最善の行動方針の選択を手助けする。図表示は、決定理由の意思疎通も手助けできる。起因事象で始まり、発生する事象・決定結果をモデル化する点でETA に似ている。	システム性能に及ぶ人の影響を取り扱い、システムに対するヒューマンエラーの影響の評価に用いることができる。生産性の妨げとなるエラーを浮き彫りにし、これらのエラー・その他の故障を、操作・運転要員、保全要員によって修復する方法の検討に資する情報を提供。	原因から結果までのリスクの経路を記述し、分析する簡易な図式方法である。事象の原因を分析するFTAの考え方と、結果を分析するETAとを組み合わせ、原因とリスクとの間の防止管理・緩和・復旧策を図示。	あらゆる種類の機器に要求する。運転の安全性・アベイラビリティ・経済性を効率的かつ効果的に達成するように、故障の管理方針を明らかにする方法である。このプロセスを通じて作業の最終結果は、保全作業の実施又は運用の変更のような他の対策の必要性に関する決定である。
リスクの評価方法の概要		既存の情報から好ましくない結果(深刻さ)や頻度を把握し、発端原因の頻度・対策の失敗確率・条件確率を合わせて好ましくない結果の確率を等級別に算定し、リスク許容レベルと比較して評価を行う。	情報に基づき、事象・決定結果の深刻さや、樹形図の分岐における条件付き確率を算出。最善の決定経路は、経路上の全ての条件付き確率の積及び結果値によって算出した最大の期待値で評価する。	経験や知識からエラーを特定し、エラーを他のハードウェア・ソフトウェア・環境の事象と統合し、システム全体の失敗確率を算定する。どのエラーが信頼性やリスクと関連しているかを評価する。	情報に基づき、深刻さや発生確率を設定する。リスクの評価方法については不明。	保全を行わないときの各故障の頻度の推定をし、結果(深刻さ)は故障影響を定義することによって定める。故障頻度と結果を組み合わせたリスクマトリクスによってリスクレベルのカテゴリを定める。
手法の特徴	発生確率 深刻さ等	定量的	定性的 半定量的 定量的	定性的	定性的 半定量的 定量的	定量的
	リスク レベル (重大性)	不明 (自然災害事例)	不明 (自然災害事例)	不明 (自然災害事例)	不明 (自然災害事例)	不明 (自然災害事例)
長所	利便性や 管理の しやすさ		●決定に関する問題について明確な図表示が得られる。		●単純で理解しやすく、問題を明快に図表示できる。	
	議論等 促進					
短所	利便性や 管理の しやすさ					
	議論等 促進					
	その他					

表 2.3.2(4) 各リスク分析手法の概要 (SA:推奨, NA:適用不可, A:適用可能)

分析手法		FN曲線	リスク指標	リスクマトリックス	費用/便益分析 (CBA)	多基準意思決定分析(MCDA)
適用性	リスク特定	A (具体的方法不明)	A	SA	A	A
	結果(深刻さ)	SA	SA	SA	SA	SA
	発生確率	SA	SA	SA	A	A
	リスクレベル	A	A	SA	A	SA
	リスク評価	SA	SA	A	A	A
	その他	—	—	—	—	—
情報の取得手段	リスク特定	(不明)	システム分析・記述結果の情報	結果と発生確率のマトリックス	費用・便益と不確実性情報	分析用選択肢・アンケート結果
	結果(深刻さ)	死者数発生確率やリスク分析結果	〃	〃	〃	〃
	発生確率	〃	〃	〃	〃	〃
	リスクレベル	〃	〃	〃	〃	〃
	リスク基準設定	(不明)	〃	〃	〃	〃
	リスク評価	死者数発生確率やリスク分析結果	〃	〃	〃	〃
	リスク対応	(不明)	(不明)	(不明)	〃	(不明)
概要		指定されたレベルの危害を指定の母集団に引き起こす事象の発生確率を図に表したものである。所定の数の死傷者が出る頻度を指すことが最も多い。FN曲線は、母集団のN人以上の構成員が影響を受ける累積頻度を示す。	順序尺度を用いた採点方式を採用して導出する推定値であり、リスクの半定量的尺度である。リスク指標は、比較できるように類似の基準を用いて、一連のリスクを格付けして使用する。評点は、リスクの各構成要素(リスク源・範囲・影響)に付ける。	リスクレベル又はリスクの等級化を決めるために、結果の定性的又は半定量的等級化と起こりやすさを結合する手段である。マトリックスの形式及びそれに加える定義は、それを使用する状況に依存し、その状況に合った適切な仕組みを用いることが重要である。	最善の、又は最も利益がある選択肢を選択するために、予想総費用と予想総便益を比較検討するリスク評価に用いることができる。対象範囲に含まれる、全ステークホルダに及ぶ全ての費用及び便益の金銭的価値を総計し、費用及び便益が生じる異なる期間ごとに調整する。対応策に付随する正味現在価値がプラスであれば、普通、その対応策は行ったほうがよいことを意味する。	一連の選択肢の総合的価値を客観的かつ分かりやすく評価するために、様々な基準を使用する。一般に、全体の目標は、利用可能な選択肢の選好順序を定めることであり、分析は選択肢と基準とのマトリックスの作成を含む。基準は、順位付けかつ総計して、各選択肢の総合点数を出す。
リスクの評価方法の概要		死者数を横軸、発生確率を縦軸とし、既存の情報と予想されるリスクのグラフを比較し、リスクの評価をする。	情報から、対象システムと整合した深刻さや発生確率といった評点を算出し、これらを組合せた複合指標によりリスクを評価する。	例えば、既存の情報から、深刻さや発生確率を等級的に算出し、リスクマトリックスに当てはめてリスクを評価する。	予想総費用と予想総便益を比較し、正味現在価値の正負によって、対策の有効性を評価する。	アンケート結果から、選択肢(対策対象等)の選好順序を定め、優先順位を評価する。
手法の特徴	発生確率深刻さ等	定量的	半定量的定量的	半定量的定量的	半定量的定量的	半定量的定量的
	リスクレベル(重大性)	不明(自然災害事例)	客観的評価(自然災害事例)	客観的かつ段階的評価(自然災害事例)	客観的かつ相対的順位評価(自然災害事例)	客観的かつ相対的順位評価(自然災害事例)
長所	利便性や管理のしやすさ			●比較的使いやすい。	●意思決定の透明性が得られる。	
	議論等促進					
短所	利便性や管理のしやすさ			●マトリックスは状況に合わせて構成するため、様々な状況に適用できる共通システムの作成が難しい。 ●使い方が主観的で、評価者の違いが出やすい。		
	議論等促進					●偏見等の影響を受ける。
	その他					

表 2.3.3 各リスク分析手法の適用分野の整理

分析手法	自然災害への 適用事例数	自然災害以外の主な適用分野
HAZOP スタディーズ		プラント、情報システム、医療
環境リスクアセスメント		環境
構造化 “Whatif”		医療、環境
シナリオ分析	2	情報システム、環境、エネルギー、金融等
事業影響度分析	2	医療
根本原因分析		情報システム、医療
故障モード・影響解析	1	情報システム、機械
フォルトツリー解析	3	情報システム
イベントツリー解析	10	情報システム
原因・結果分析		医療、情報システム
防護層解析		
決定木解析		情報システム
人間信頼性分析		情報システム
蝶ネクタイ分析		
信頼性重視保全		下水道施設、エネルギー、医療
FN 曲線		機械
リスク指標	23	金融・経済、情報システム
リスクマトリクス	1	機械、情報システム、下水道施設
費用／便益分析	4	施設維持管理、農業、環境
多基準意思決定分析		環境、農業

表 2.3.4 適用事例の記載内容

分析手法	リスク分析手法
文献	事例となる文献
手法の概要	リスク分析手法の概要
利便性	リスクレベルの有無や、議論の深めやすさ
地域特性考慮	都市部・沿岸部・平地部・山間部の考慮有無
災害外力	地震・津波・洪水・火山等の対象とする災害外力
主な対象分野	道路等のインフラ、電気等のライフライン等の分野
対象項目・指標	人的・物的被害、基盤機能支障、生活支障、経済機能支障に関する項目
必要情報	リスク分析を行うにあたって必要となる情報
その他の分析手法適用事例	同じリスク分析手法で、異なる事例がある場合、その概要を記載

表 2.3.5 適用事例の一覧

分析手法	適用事例	利便性 ⁱ	地域特性 ⁱⁱ	災害外力 ⁱⁱⁱ	主な対象分野	対象項目・指標 ^{iv}	必要情報
リスクマトリクス	TRANSIT (2004) ¹⁾	RL 設定有	具体的記述なし	気象災害、地震、津波、火事、斜面崩壊等	道路	死傷者、コスト等	人的被害や経済的被害の規模と発生確率
リスク指標	松下 (2002) ²⁾	RL 設定有	都市部	地震	建物（情報流通ビル）	SRM（経済的被害）	TPC（施設の再調達額）、PML（最大予想損失額）
リスク指標	国交省 (2012) ³⁾	RL 設定不明	流域	洪水	人的、医療、防災拠点施設、交通、ライフライン等	一般資産被害額、人的被害（想定死者数等）、経済被害、重要施設被害	降雨データ、流域・河川・氾濫域に関するデータ、人口・資産・重要施設等に関するデータ
シナリオ分析	加藤 (2006) ⁴⁾	RL 設定不明	都市部	カタストロフィックな災害	交通	運輸行政担当者の行動オプション	社会経済動向等に起因するマクロな不確実性、運輸行政担当者のマネジメント不可能な主体、各主体が他主体に対して期待している事項、マネジメント不可能な主体の認識
事業影響度分析	副島 (2009) ⁵⁾	RL 設定不明	都市部	地震	事業	事業継続性	関係施設・設備の耐震性能に基づく構造的・機能的被害予測結果、周辺のライフラインや交通網の被害によるリソース（物資・人材・情報など）の欠乏、復旧活動の遅延状況
故障モード・影響解析	本田 (2011) ⁶⁾	RL 設定不明	具体的記述なし	火災（建物）	人（消防隊員）	人的被害	発生頻度・検出難易度・事故可能性に関するアンケート結果、重大性に関する事故種のヒヤリハットデータベース
フォルトツリー解析	姥 (2007) ⁷⁾	RL 設定不明	具体的記述なし	地震	医療	電源及び都市ガスに関する機能損失確率	電力・水・ガス・医療ガスの供給経路、各設備機器における最大応答絶対加速度、設計耐力中央値（設備機器のボルト）、最大層間変形角（配管・配線）、末端事象の損傷に関する対数標準偏差
イベントツリー解析＋リスクマトリクス	消防庁 (2013) ⁸⁾	RL 設定有 5	沿岸部	地震・津波	石油コンビナート	放射熱・爆風圧・フラッシュ火災・毒性ガス拡散による死傷者（人的被害）	確率的なリスク評価（施設データ、物性データ、気象データ、漏洩口、影響範囲内の居住者等の情報）、長周期地震動の評価（想定地震の予測波形、タンク種類・諸元、影響範囲内の居住者等の情報）、津波による災害の評価（津波浸水深予測・最大流速データ、タンク等諸元、内容液の比重、被災時の貯蔵率）、大規模災害の評価（施設の構造・強度、防災設備、周辺施設の状況、立地条件）
費用便益分析	朱牟田 (1997) ⁹⁾	RL 設定有（優先度）	具体的記述なし	地震	電力	経済的被害	耐震補強コスト、企業損失コスト
多基準意思決定分析	村地 (2007) ¹⁰⁾	RL 設定有（優先度）	具体的記述なし	地震	建物	建物耐震化の優先度合い	震源モデル、建物諸元

i 利便性：リスクレベル（RL）の設定有無

ii 地域特性：都市部・沿岸部・平地部・山間部等

iii 災害外力：地震・津波・洪水・火山・その他

iv 対象項目：人的・物的被害、基盤機能支障、生活支障、経済機能支障に関する項目

表 2.3.6 自然災害への適用事例のあったリスク分析手法の特徴

	シナリオ分析	事業影響度分析	故障モード・影響解析	フォルトツリー解析	イベントツリー解析	リスク指標	リスクマトリクス	費用／便益分析	多基準意思決定分析
リスク算定方法	様々な不確実性から可能性のあるシナリオを作成し、影響度や起こりやすさ、対策の善し悪しを定性的に評価する。	事業中断に関わる項目の指標を作成し、これを基にリスクを算定する。	標準業務プロセスにおけるエラーモードの危険度指標を作成し、これを基にリスクを算定する。	各事象の確率を特定し、起こりやすさを算定する。	各事象の確率を特定し、起こりやすさを算定する。	リスクに関連する項目で指標を作成し、これを基にリスクを算定する。	影響度と起こりやすさを算出し、影響度と起こりやすさでマトリクスを作成してリスクを算定する。	予想被害額と対策コストを算出し、これらを合計して最小コストから対策優先度を評価する。	リスクに関連する項目に重み付けを行い、これを基にリスクを算定する。
地域性考慮	【△】市町村や任意のエリアを対象とするため、地域特性の分割が困難となる場合がある。	【○】都市部・沿岸部・平地部・山間部に関わらず、一般的に適用可能。	【○】都市部・沿岸部・平地部・山間部に関わらず、一般的に適用可能。	【○】都市部・沿岸部・平地部・山間部に関わらず、一般的に適用可能。	【△】沿岸部。	【○】都市部・沿岸部・平地部・山間部に関わらず、一般的に適用可能。	【○】都市部・沿岸部・平地部・山間部に関わらず、一般的に適用可能。	【○】都市部・沿岸部・平地部・山間部に関わらず、一般的に適用可能。	【○】都市部・沿岸部・平地部・山間部に関わらず、一般的に適用可能。
災害外力種	【○】地震・津波・洪水等に関わらず、一般的に適用可能。	【△】地震。	【△】火災。	【△】地震。	【△】地震・津波。	【○】地震、洪水。	【○】地震・津波・洪水等に関わらず、一般的に適用可能。	【△】地震。	【△】地震。
定量的指標	【△】定性的な指標を用いた手法である。	【○】定量的な指標を用いた手法である。	【○】定量的な指標を用いた手法である。	【○】定量的な指標を用いた手法である。	【○】定量的な指標を用いた手法である。	【○】定量的な指標を用いた手法である。	【○】定量的及び定性的な指標を用いた手法である。	【○】定量的な指標を用いた手法である。	【△】定性的な指標を用いた手法である。
リスクレベル	【△】定性的であるため、評価者による結果のバラつきが懸念される。	【△】リスクレベルの設定事例がなく、基準がはっきりしていないため、十分な客観性がない。	【△】リスクレベルの設定事例がなく、基準がはっきりしていないため、十分な客観性がない。	【△】リスクレベルの設定事例がなく、基準がはっきりしていないため、十分な客観性がない。	【○】リスクレベルの設定事例があり客観性はあるが、確率算出が可能な項目の評価となる。	【○】リスクレベルの設定事例があり客観性はあるが、リスクの有無のみで、段階的評価事例がない。	【◎】リスクレベルが段階的に設定されている事例があり、客観性があるとともに、リスクの程度を把握することが可能。	【○】リスクレベルの設定事例があり客観性はあるが、相対的なリスクの順位付けとなる。	【○】リスクレベルの設定事例があり客観性はあるが、相対的なリスクの順位付けとなる。

◎：適用性が非常に高い、○：適用性が高い、△：適用性がある

2. 3. 2 特徴的な災害リスクの評価

(1) 特徴的な災害リスクの重要度・影響評価

2. 3. 1 で比較したリスク分析手法のうち、自然災害の重要度・影響度評価への適用可能性を有する5つの評価手法案を適用し、重要度・影響を評価した。5つの評価手法案とは(ア) Tamura(2013)¹¹⁾、(イ) Transit(2004)、(ウ) インフラ PFI(2010)¹²⁾、(エ) Tamura(2013)+インフラ PFI(2010)、(オ) Transit(2004)+インフラ PFI(2010)であり、各方法の概要は2. 3. 2 (4) に記載している。また、評価は特徴的な災害リスク(合計32のリスク)を対象とした。ここで、特徴的な災害リスクとは、以下の観点を考慮して抽出したものである。

- 物的被害と支障を組合せて1つのリスクとした。
- 支障の種類が多い道路分野を対象とし、被害の影響が大きいと考えられる落橋、盛土・切土被害、道路寸断(断層変位)を対象とした。
- 生活支障は影響の大きい死亡や重傷等の人的被害を対象とした。
- 経済的支障は、評価手法案で取扱いのある復旧費用と迂回損失を対象とした。

合計32のリスクを抽出した結果を表2.3.7に示す。また、特徴的な災害リスクの評価フローを図2.3.1に示す。

表 2.3.7 特徴的な災害リスク

物的被害	支障
落橋 リスク数：6	救急・救助活動遅延による死傷者の増加(生活支障) 火災による人的被害拡大(生活支障) 緊急物資の不足(生活支障) 飲料水・生活用水の不足(生活支障) 復旧費用(経済的支障) 迂回損失(経済的支障)
盛土被害 リスク数：6	救急・救助活動遅延による死傷者の増加(生活支障) 火災による人的被害拡大(生活支障) 緊急物資の不足(生活支障) 飲料水・生活用水の不足(生活支障) 復旧費用(経済的支障) 迂回損失(経済的支障)
切土被害 リスク数：6	救急・救助活動遅延による死傷者の増加(生活支障) 火災による人的被害拡大(生活支障) 緊急物資の不足(生活支障) 飲料水・生活用水の不足(生活支障) 復旧費用(経済的支障) 迂回損失(経済的支障)

盛土・切土 被害多数 リスク数：6	救急・救助活動遅延による死傷者の増加（生活支障） 火災による人的被害拡大（生活支障） 緊急物資の不足（生活支障） 飲料水・生活用水の不足（生活支障） 復旧費用（経済的支障） 迂回損失（経済的支障）
道路寸断 (断層変位) リスク数：8	救急・救助活動遅延による死傷者の増加（生活支障） 火災による人的被害拡大（生活支障） 緊急物資の不足（生活支障） 飲料水・生活用水の不足（生活支障） 外来患者の受入制限・不可（生活支障） 医薬品の不足（生活支障） 復旧費用（経済的支障） 迂回損失（経済的支障）

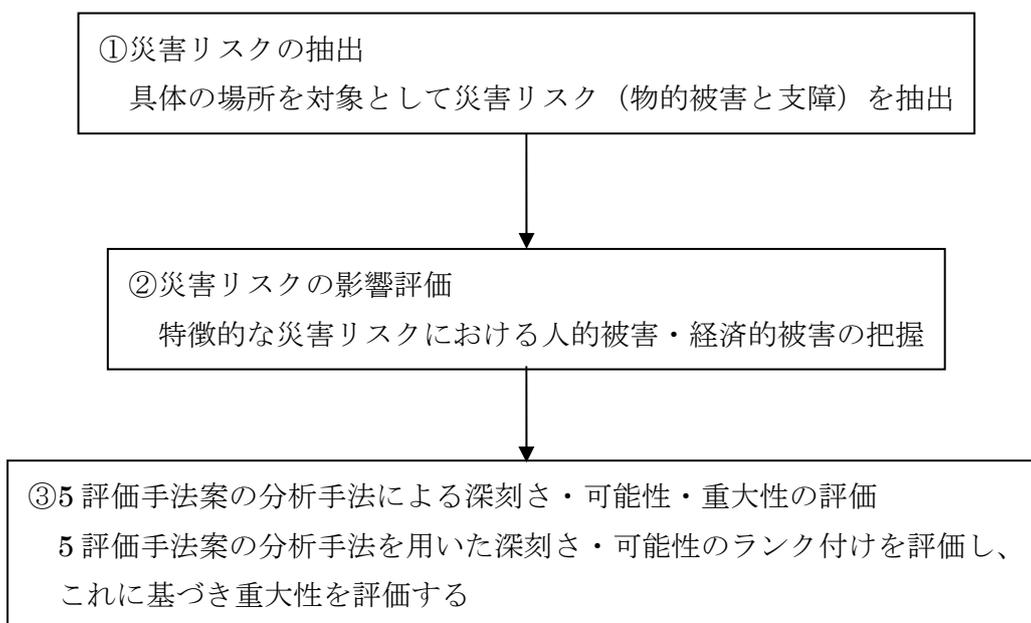


図 2.3.1 特徴的な災害リスクの評価フロー

(2) 災害リスクの抽出

南海トラフ地震による深刻な被害が想定され、様々な災害リスクの検討が可能なA国道事務所の管内において、特徴的な災害リスクの発生が見込まれるエリアに着目し、災害リスクの抽出を行った。対象エリアを図2.3.2に、その特徴を表2.3.8に示す。

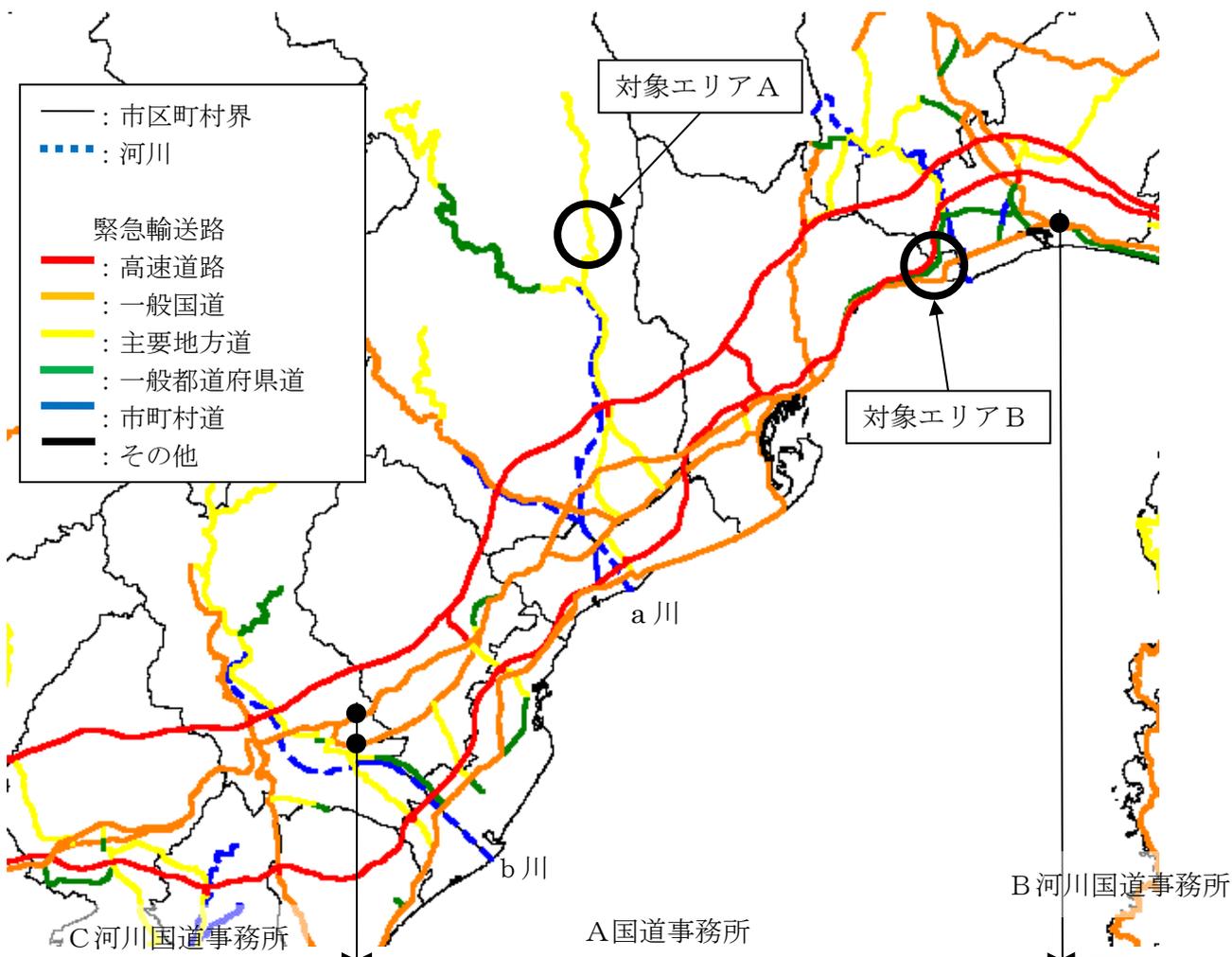


図 2.3.2 対象エリアの位置図

表 2.3.8 対象エリアの特徴

対象エリア	特徴
A	道路施設として橋・盛土・切土斜面があり、生活支障に関連する集落や学校等がある。
B	断層変位による道路寸断が想定され、生活支障に関連する学校・病院等がある。

1) 対象エリアA

対象エリアAの物的被害（道路施設被害）と学校等の位置を図2.3.3に示す。

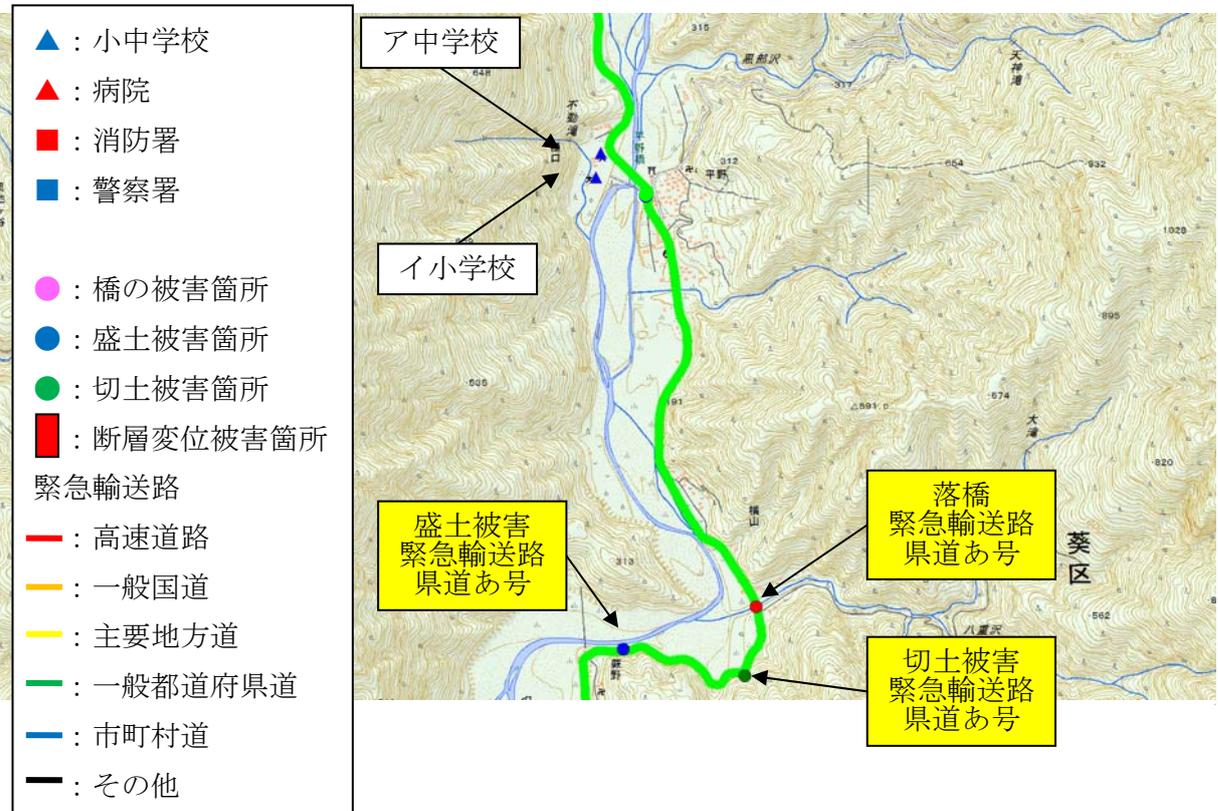


図 2.3.3 物的被害と学校等の位置（対象エリアA）

ここでは、落橋、盛土被害、切土被害、盛土・切土の多数被害が発生し、それぞれによって緊急輸送路が通行不可能になると想定した。物的被害と支障を組み合わせた災害リスクとその説明を表2.3.9に示す。

表 2.3.9 抽出した災害リスク（対象エリアA）

物的被害	支障	説明
落橋	緊急物資の不足	落橋、盛土被害、切土被害、盛土・切土の多数被害で緊急輸送路が通行不可能となり、避難所（ア中学校・イ小学校）への、緊急物資の運搬が停止し、避難者の緊急物資不足が想定される。
盛土被害		
切土被害		
被害多数		
落橋	飲料水・生活用水の不足	落橋、盛土被害、切土被害、盛土・切土の多数被害で緊急輸送路が通行不可能となり、施設復旧が遅れ、給水車の遅延が発生し、生活者や避難者の飲料水・生活用水の不足が想定される。
盛土被害		
切土被害		
被害多数		
落橋	救急・救助活動遅延による死傷者の増加	落橋、盛土被害、切土被害、盛土・切土の多数被害で緊急輸送路が通行不可能となり、病院への搬送等の救急・救助活動の遅延が発生し、死傷者の増加が想定される。
盛土被害		
切土被害		
被害多数		
落橋	火災による人的被害拡大	落橋、盛土被害、切土被害、盛土・切土の多数被害で緊急輸送路が通行不可能となり、消火活動の遅れが発生し、火災による人的被害拡大が想定される。
盛土被害		
切土被害		
被害多数		
落橋	経済的支障（復旧費用）	落橋、盛土被害、切土被害、盛土・切土の多数被害で緊急輸送路が通行不可能となり、これらの復旧費用が想定される。
盛土被害		
切土被害		
被害多数		
落橋	経済的支障（迂回損失）	落橋、盛土被害、切土被害、盛土・切土の多数被害で緊急輸送路が通行不可能となり、迂回損失の発生が想定される。
盛土被害		
切土被害		
被害多数		

2) 対象エリアB

対象エリアBの物的被害（道路施設被害）と学校等の位置を図 2.3.4 に示す。

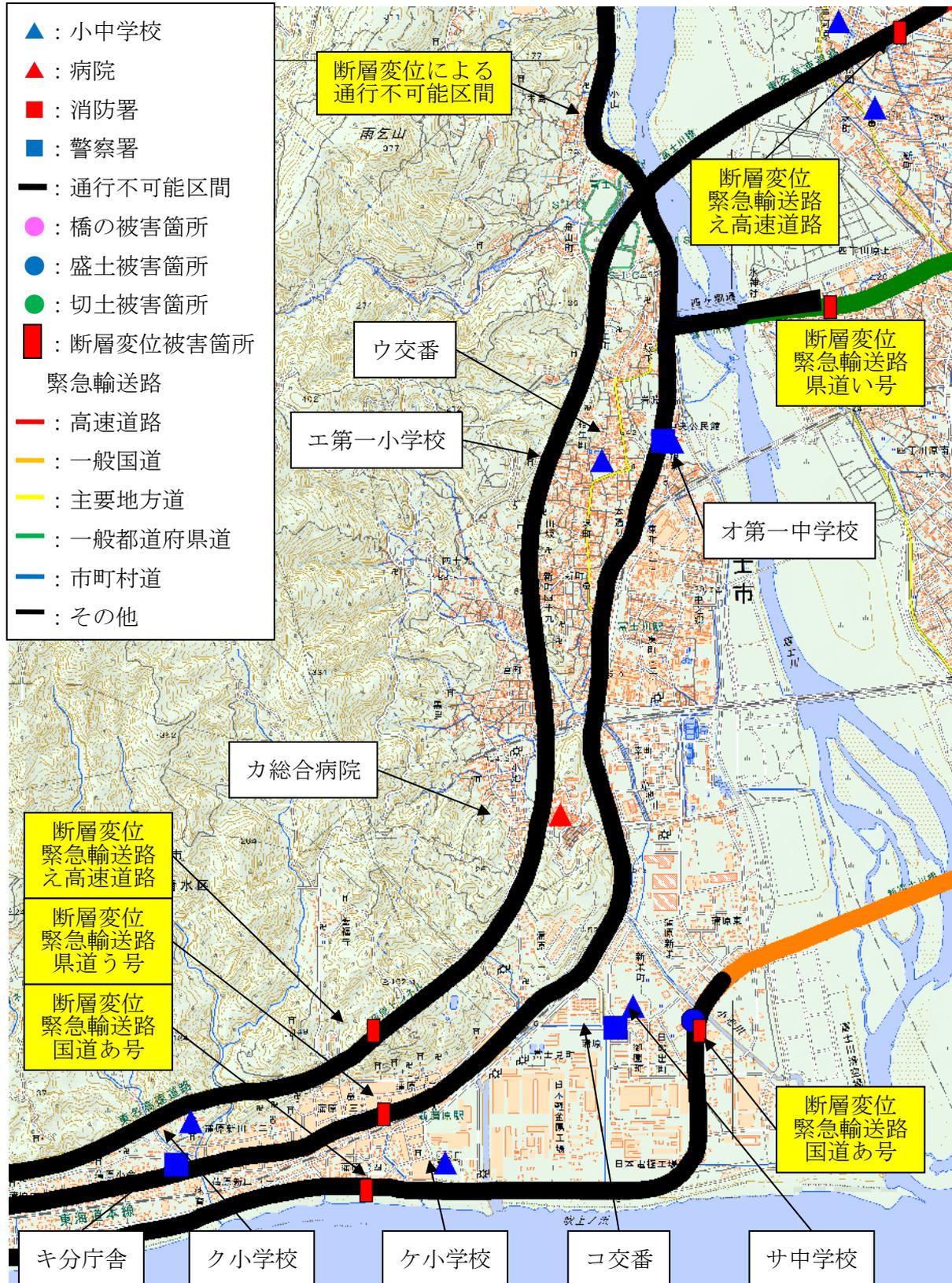


図 2.3.4 対象エリアBの被害想定

ここでは、断層変位による道路寸断が発生し、緊急輸送路が通行不可能になると想定した。物的被害と支障を組み合わせた災害リスクとその説明を表 2. 3. 10 に示す。

表 2. 3. 10 抽出した災害リスク（対象エリア B）

物的被害	支障	説明
断層変位による道路寸断	緊急物資の不足	断層変位による道路寸断で緊急輸送路が通行不可能となり、避難所（小学校 3 箇所・中学校 2 箇所）への緊急物資の運搬が停止し、避難者の緊急物資不足が想定される。
	飲料水・生活用水の不足	断層変位による道路寸断で緊急輸送路が通行不可能となり、施設復旧が遅れ、給水車の遅延が発生し、生活者や避難者の飲料水・生活用水の不足が想定される。
	外来患者の受入制限（受入不可）	断層変位による道路寸断で緊急輸送路が通行不可能となり、共立蒲原総合病院の入院患者等の搬送が遅延し、外来患者の受入制限（受入不可）が想定される。
	医薬品の不足	断層変位による道路寸断で緊急輸送路が通行不可能となり、共立蒲原総合病院への医薬品の搬送が遅延し、医薬品の不足が想定される。
	救急活動遅延による死傷者の増加	断層変位による道路寸断で緊急輸送路が通行不可能となり、え高速道路、国道お号、県道う号や細街路等の被害に関連して、救急活動の遅延が発生し、死傷者の増加が想定される。
	火災による人的被害拡大	断層変位による道路寸断で緊急輸送路が通行不可能となり、国道お号、県道う号や細街路等の被害に関連して、消火活動の遅れが発生し、火災による人的被害拡大が想定される。
	経済的支障（復旧費用）	断層変位による道路寸断で緊急輸送路が通行不可能となり、復旧費用が想定される。
	経済的支障（迂回損失）	断層変位による道路寸断で緊急輸送路が通行不可能となり、迂回損失の発生が想定される。

(3) 災害リスクの影響評価

特徴的な災害リスクを対象に、人的被害・経済的被害の把握を行った。なお、人的被害は定量的評価が困難であるため主観的に評価し、経済的被害のうち迂回損失は後述の通りネットワークを考慮して評価した。

1) 人的被害の把握

各災害リスクの人的被害を把握するにあたり、物的被害の復旧期間と支障の影響開始期間を比較して支障の発生有無を確認し、人的被害の発生の有無および被害の内容を考察した（表 2.3.11(1)～(3)）。物的被害の復旧期間は表 2.3.12 を、支障の影響開始期間は表 2.3.13 を参照した。

次の(4)では人的被害として重傷者の発生を費用として評価するため、物資の不足等で病気になる人や症状が悪化する人も、ここでは「重傷者」と称する。

なお、盛土・切土の多数被害については、盛土・切土被害（亀裂・陥没等）が6箇所、切土被害（崩壊）が1箇所と想定した。

表 2.3.11(1) 人的被害の考察結果

物的被害	支障	支障の発生有無	人的被害
落橋	緊急物資 の不足	落橋の復旧期間は1週間以上、避難所の備蓄量が1週間とし、 <u>支障が発生する</u> とした。	緊急物資が不足すると、水や食料を十分に取るのでできない人が想定され、 <u>多数の重傷者</u> が発生するとした。
盛土被害		盛土被害の復旧期間は数時間、避難所の備蓄量が1週間とし、 <u>支障は発生しない</u> とした。	緊急物資は不足せず、 <u>人的被害はない</u> とした。
切土被害		切土被害の復旧期間は3日、避難所の備蓄量が1週間とし、 <u>支障は発生しない</u> とした。	緊急物資は不足せず、 <u>人的被害はない</u> とした。
被害多数		盛土・切土の多数被害の復旧期間は4日間程度要し、避難所の備蓄量が1週間とし、 <u>支障は発生しない</u> とした。	緊急物資は不足せず、 <u>人的被害はない</u> とした。
断層変位による道路寸断		断層変位による道路寸断の復旧期間は、落橋と同様1週間以上、避難所の備蓄量が1週間とし、 <u>支障が発生する</u> とした。	緊急物資が不足すると、水や食料を十分に取るのでできない人が想定され、 <u>多数の重傷者</u> が発生するとした。

表 2.3.11(2) 人的被害の考察結果

物的被害	支障	支障の発生有無	人的被害
落橋	飲料水・生活用水の不足	落橋の復旧期間は1週間以上、家庭の備蓄量が1週間とし、 <u>支障が発生する</u> とした。	飲料水を十分にとることのできない人が想定され、 <u>多数の重傷者</u> が発生するとした。
盛土被害		盛土被害の復旧期間は数時間、家庭の備蓄量が1週間とし、 <u>支障は発生しない</u> とした。	飲料水は不足せず、 <u>人的被害はない</u> とした。
切土被害		切土被害の復旧期間は3日、家庭の備蓄量が1週間とし、 <u>支障は発生しない</u> とした。	飲料水は不足せず、 <u>人的被害はない</u> とした。
被害多数		盛土・切土の多数被害の復旧期間は4日間程度、家庭の備蓄量が1週間とし、 <u>支障は発生しない</u> とした。	飲料水は不足せず、 <u>人的被害はない</u> とした。
断層変位による道路寸断		断層変位による道路寸断	断層変位による道路寸断の復旧期間は、落橋と同様1週間以上、家庭の備蓄量が1週間とし、 <u>支障が発生する</u> とした。
	断層変位による道路寸断の復旧期間は、落橋と同様1週間以上、72時間以内に治療が受けられないと、死者の発生可能性が高まるため、 <u>支障が発生する</u> とした。		復旧前に治療が受けられないことが想定され、 <u>死者が発生</u> するとした。
	断層変位による道路寸断の復旧期間は、落橋と同様1週間以上、72時間以内に治療が受けられないと、死者の発生可能性が高まるため、 <u>支障が発生する</u> とした。		復旧前に治療が受けられないことが想定され、 <u>死者が発生</u> するとした。

表 2.3.11(3) 人的被害の考察結果

物的被害	支障	支障の発生有無	人的被害
落橋	救急活動遅延による死傷者の増加	落橋の復旧期間は1週間以上、72時間以内に治療が受けられないと、死者の発生可能性が高まるため、 <u>支障が発生する</u> とした。	復旧前に治療が受けられないことが想定され、 <u>死者が発生する</u> とした。
盛土被害		盛土被害の復旧期間は数時間、72時間以内に治療が受けるとし、 <u>支障は発生しない</u> とした。	救急活動に影響はなく、 <u>人的被害はない</u> とした。
切土被害		切土被害の復旧期間は3日、72時間以内に治療が受けるとし、 <u>支障は発生しない</u> とした。	救急活動に影響はなく、 <u>人的被害はない</u> とした。
被害多数		盛土・切土の多数被害の復旧期間は4日間程度、72時間以内に治療が受けられないと、死者の発生可能性が高まるため、 <u>支障が発生する</u> とした。	復旧前に治療が受けられないことが想定され、 <u>死者が発生する</u> とした。
断層変位による道路寸断		断層変位による道路寸断の復旧期間は、落橋と同様1週間以上、72時間以内に治療が受けられないと、死者の発生可能性が高まるため、 <u>支障が発生する</u> とした。	復旧前に治療が受けられないことが想定され、 <u>死者が発生する</u> とした。
落橋	火災による人的被害拡大	落橋の復旧期間は1週間以上、数時間のうちに治療が行われないと死亡する可能性があるため、 <u>支障が発生する</u> とした。	復旧前に治療が受けられないことが想定され、 <u>死者が発生する</u> とした。
盛土被害		盛土被害の復旧期間は数時間、数時間のうちに治療が行われないと死亡する可能性があるため、 <u>支障が発生する</u> とした。	復旧前に治療が受けられないことが想定され、 <u>死者が発生する</u> とした。
切土被害		切土被害の復旧期間は3日、数時間のうちに治療が行われないと死亡する可能性があるため、 <u>支障が発生する</u> とした。	復旧前に治療が受けられないことが想定され、 <u>死者が発生する</u> とした。
被害多数		盛土・切土の多数被害の復旧期間は4日間程度、数時間のうちに治療が行われないと死亡する可能性があるため、 <u>支障が発生する</u> とした。	復旧前に治療が受けられないことが想定され、 <u>死者が発生する</u> とした。
断層変位による道路寸断		断層変位による道路寸断の復旧期間は、落橋と同様1週間以上、数時間のうちに治療が行われないと死亡する可能性があるため、 <u>支障が発生する</u> とした。	復旧前に治療が受けられないことが想定され、 <u>死者が発生する</u> とした。

表 2.3.12 標準的な復旧期間

被害形態		復旧期間		事例
		最短	最長	
切土 盛土 等	崩壊	3日以上	1年以上	伊豆大島近海地震 長野県西部地震 新潟県中越地震
	亀裂・陥没 段差・隆起	3時間	1ヶ月	宮城県沖地震 兵庫県南部地震 新潟県中越地震
	落石・斜面崩壊	3時間	1年以上	宮城県沖地震 新潟県中越地震
橋梁	落橋	1週間以上	1年以上	新潟地震 宮城県沖地震 兵庫県南部地震
	上部工の破損・ 傾斜・移動	3日	1年以上	兵庫県南部地震
	支承部の損傷	1日	1ヶ月	宮城県沖地震 兵庫県南部地震 福岡県西方沖地震
	橋脚・橋台・基 礎の損傷	3日	1ヶ月	宮城県沖地震 兵庫県南部地震
	橋梁取付部の段 差	3時間	1日以上	新潟地震 宮城県沖地震
トン ネル	覆工コンクリー トの崩落	1ヶ月以上	1ヶ月以上	新潟県中越地震 和南津トンネル
付帯 施設	信号機等の被害	1日以上	3日以上	宮城県沖地震 兵庫県南部地震
占用 沿道 施設	占用施設の被害	3時間	3ヶ月	兵庫県南部地震
	沿道建築物から の落下物	1日	1週間	宮城県沖地震
	沿道建築物の倒 壊	3日	1ヶ月	兵庫県南部地震
	塀・積石の倒壊	1日	1日	宮城県沖地震
	電柱・立木の傾 斜・倒壊	1日	1日	宮城県沖地震
	道路上への桁落 下	1週間	1ヶ月	兵庫県南部地震
その 他	津波による浸水	3日以上	1ヶ月	新潟地震
	市街地火災	1日	3日以上	兵庫県南部地震
	津波漂流物	1日	11日	東日本大震災 ^{13) 14) 15)}

* 東日本大震災の事例を除いて、道路震災対策便覧（震前対策編）¹⁶⁾の図-2.3.1より被害形態毎の復旧期間を記載

表 2.3.13 支障の影響開始期間と影響の内容

支障	説明	影響開始期間の分類	影響の内容
外来患者の受け入れ不可	72時間 以内に治療が受けられないと、 死者 の発生可能性が高まる	3日	死亡
医療品の不足	72時間 以内に治療が進められないと、 死者 の発生可能性が高まる		
介護サービス能力の低下	寝たきりの要介護者の場合、 72時間 以内に食事等の介護がうけられないと 死亡 する可能性がある ⁱ⁾		
救急・救助活動の遅延による死傷者増加	72時間 以内に治療が受けられないと、 死者 の発生可能性が高まる		
火災による人的被害の拡大	火災で重傷を負った被害者は、 数時間 のうちに治療が行われないと 死亡 する可能性あり ⁱⁱ⁾	当日	死亡
食料品の不足	家庭等での 備蓄期間 （例えば1週間）までに復旧が間に合わないと、 重傷者 が発生する可能性がある。	1週間	重傷
日用品の不足	家庭等での 備蓄期間 （例えば1週間）までに復旧が間に合わないと、普段の生活をおくることができず、 重傷者 が発生の可能性あり ⁱⁱⁱ⁾		
緊急物資の不足	避難所等での 備蓄期間 （例えば1週間）までに復旧が間に合わないと、 重傷者 が発生する可能性がある		
飲料水等の不足	家庭等での 備蓄期間 （例えば1週間）までに復旧が間に合わないと、 重傷者 が発生する可能性がある	3日	重傷
トイレの不足	発災後 2～3日 までに仮設トイレの需要が増大し、トイレが不足すると、衛生環境の悪化により精神的ダメージを受け、 重病者 の発生が危惧される ^{iv)}		
ごみ処分の遅延	発災後 2～3日 から悪臭などの問題が発生するおそれがあり、衛生環境の悪化により精神的ダメージを受け、 重病者 の発生が危惧される ^{v)}		

i 「平成24年版防衛白書」によれば、発災から72時間が人命救助においてきわめて重要と考えられており、72時間を超えると死者発生の可能性が高まると考えられる。

ii 一般的に、緊急車両の現場到着時間は5～10分、消火活動は数十分～数時間かかる。

iii 中央防災会議の「南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要」より、夏季の避難所、仮設住宅における暑さ対策で、対応すべき場所が膨大となり、人的・物的資源の両面から対応が遅れ、高齢者・乳幼児を中心に熱中症や脱水症状、食中毒が発生する。

iv 「A県第4次地震被害想定」によると、駿河トラフ・南海トラフ沿いで発生する地震の被害状況のイメージで、発災後2～3日までに仮設トイレの需要が増大し、既設トイレが通常どおり使えるようになるのは1ヶ月以上かかるとされている。この間、衛生環境の悪化により精神的ダメージを受け、重病者の発生が危惧される。

v A県第4次地震被害想定によると、駿河トラフ・南海トラフ沿いで発生する地震の被害状況のイメージで、発災後からまち中に回収しきれないごみを取り残されたり、生活ごみが不法に捨てられたりするおそれがあり、悪臭などの問題が発生するおそれがある。

2) 経済的被害

経済的被害は、前節で選定した評価手法案で取扱いのある復旧費用と迂回損失を対象とした。

(a) 復旧費用

落橋、盛土被害、切土被害、断層変位による道路寸断の復旧費用を表 2.3.14 に示す。

表 2.3.14 道路施設被害の復旧費用

道路施設被害	復旧費用	説明
落橋	2.5 億円／桁	<p>落橋の復旧費用は橋桁と支承の交換費用および仮橋設置費用とした。</p> <p>橋桁と支承の交換費用として、庄司(1997)¹⁷⁾の橋梁被災度 As・A における BOX 桁の RC 床版再構築・主桁再構築・伸縮部交換・免震沓交換の合計 (2.4 億円) とした。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ RC 床版再構築：880m²×4.2 万/m²=3700 万円 ・ 主桁再構築：264tf×71.2 万/tf=18800 万円 ・ 伸縮部交換：700 万円 ・ 免震沓交換：4 箇所×120 万円=480 万円 <p>仮橋設置費用は 1000 万円とした。</p>
切土被害 (崩壊)	1.8 億円／箇所	切土被害 (崩壊) の復旧費用は、近藤(2005) ¹⁸⁾ における法面崩壊の被災金額 (査定決定額) を箇所数で割った値とした。
盛土等被害 (亀裂・陥没等)	23 百万円／箇所	盛土等被害 (亀裂・陥没等) の復旧費用は、近藤(2005)における路面亀裂の被災金額 (査定決定額) を箇所数で割った値とした。
道路寸断 (断層変位)	2.5 億円／桁	落橋と同じとした。

(b) 迂回損失

迂回損失は、国土交通省の費用便益分析マニュアル¹⁹⁾の走行時間短縮便益と走行経費減少便益を参考に算出した。算出方針を以下に示した。

- 通常経路と迂回経路の費用の差を算出
- 交通需要は通常時と災害時で変化しないと仮定
- 通常経路の交通量分の迂回損失のみ算定
- 道路交通センサスのタイプ別交通量を使用
- 迂回経路が無い場合は迂回損失の算出は行わず、「迂回経路なし」とする

①通常経路と迂回経路の設定

対象エリアAとBの通常経路と迂回経路の概要を表2.3.15と図2.3.5に示す。

表 2.3.15 通常経路と迂回経路の概要

対象エリア	経路	路線等	距離
A	通常	県道あ号	—
	迂回	なし	—
B	通常	1 IC－2 IC (え高速道路)	27.4km
	迂回	① 1 IC－3 IC (か道路・無料区間)	3.5km
		② 3 IC－4 JCT－2 IC (え東名～お高速道路)	32.9km

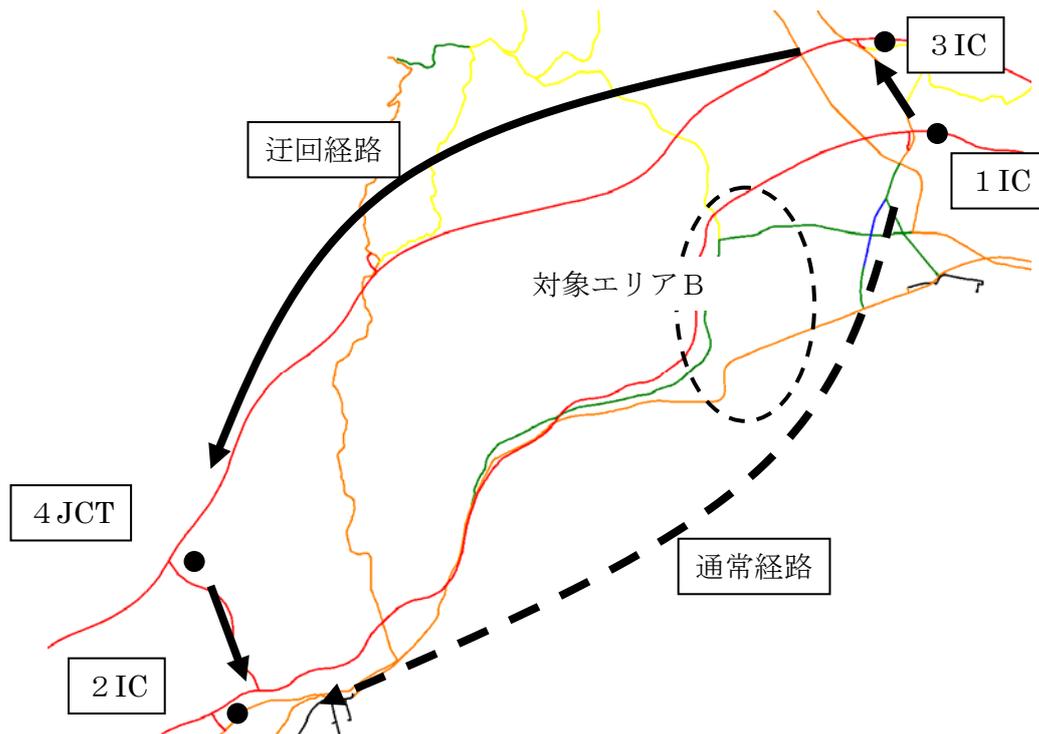


図 2.3.5 迂回経路の概要

② 走行時間増加損失

走行時間増加損失は、走行時間短縮便益を参考に以下の算定式より算出した。

$$\text{走行時間増加損失} = \text{BT}_D - \text{BT}_N$$

BT_D : 迂回経路の走行時間費用 (円/年)

BT_N : 通常経路の走行時間費用 (円/年)

$$\text{BT} = \text{Q} \times \text{T} \times \alpha \times 365$$

BT : 走行時間費用 (円/年)

Q : 車種毎の交通量 (台/日)

T : 走行時間 (分)

α : 車種毎の時間価値原単位 (円/分・台)

1週間で復旧したと仮定し、その間の対象エリアBにおける走行時間費用を算出した(表 2.3.16)。用いたデータの説明を表 2.3.17 に示す。対象エリアBの走行時間増加損失は **1.1 億円** (=0.45+3.62-3.01) となった。

表 2.3.16 走行時間増加損失の算定（対象エリア B）

	交通量(台/日)		距離 (km)	旅行速度 (km/h)	走行時間 (分)	時間価値原単位		走行時間費用(億円)		
	小型	大型				小型	大型	小型	大型	合計
通常経路	18,075	18,165	27.4	76.1	21.60	45.78	64.18	1.25	1.76	3.01
迂回経路-①	18,075	18,165	3.5	64.5	3.26	45.78	64.18	0.19	0.27	0.45
迂回経路-②	18,075	18,165	32.9	76.1	25.94	45.78	64.18	1.50	2.12	3.62

表 2.3.17 使用データの説明（対象エリア B）

分類		値	説明
交通量 (台/日)	小型	18,075	通常経路の交通量として、道路交通センサス（H22） ²⁰⁾ の富士 IC～清水 IC の 24 時間平均交通量に、H25 の東名の交通量比率 52.4%（=43.5/83 千台/日） ²¹⁾ を乗じた。
	大型	18,165	
旅行速度 (km/h)	通常	76.1	道路交通センサス・H22 の富士 IC～清水 IC における昼間 12 時間平均旅行速度を使用。
	迂回-①	64.5	道路交通センサス・H22 の国道 139 号（富士 IC～富士市・富士宮市境）における昼間 12 時間平均旅行速度を使用。
	迂回-②	76.1	通常経路と同様。
時間価値 原単位 (円/分・ 台)	小型	45.78	費用便益分析マニュアルの車種別の時間価値原単位のうち、乗用車類を使用。
	大型	64.18	費用便益分析マニュアルの車種別の時間価値原単位のうち、普通貨物車を使用。

③走行経費増加損失

走行経費増加損失は、走行経費減少便益を参考に以下の算定式より算出した。

$$\text{走行経費増加損失} = BR_D - BR_N$$

BR_D : 迂回経路の走行経費（円/年）

BR_N : 通常経路の走行経費（円/年）

$$BR = Q \times L \times \beta \times 365$$

BR : 走行経費（円/年）

Q : 車種毎の交通量（台/日）

L : リンクの延長（km）

β : 車種毎の走行経費原単位（円/台・km）

1 週間で復旧したと仮定し、その間の対象エリア B における走行経費を算出した（表 2.3.18）。用いたデータの説明を表 2.3.19 に示す。対象エリア B の走行経費増加損失は 0.5 億円（=0.23+1.61-1.34）となった。

表 2.3.18 走行時間増加損失の算定（対象エリア B）

	交通量(台/日)		距離 (km)	走行経費原単位		走行時間費用(億円)		
	小型	大型		小型	大型	小型	大型	合計
通常経路	18,075	18,165	27.4	10.03	28.52	0.35	0.99	1.34
迂回経路-①	18,075	18,165	3.5	16.92	33.75	0.07	0.15	0.23
迂回経路-②	18,075	18,165	32.9	10.03	28.52	0.42	1.19	1.61

表 2.3.19 使用データの説明（対象エリア B）

分類		値	説明
交通量 (台/日)	小型	18,075	通常経路の交通量として、道路交通センサス（H22）の富士 IC～清水 IC の 24 時間平均交通量に、H25 の東名の交通量比率 52.4% を乗じた（同走行時間増加損失）。
	大型	18,165	
時間価値 原単位 (円/分・ 台)	高速 小型	10.03	通常経路および迂回経路-②については、費用便益分析マニュアルの車種別の走行経費原単位のうち、高速・地域高規格の乗用車類（75km/h）を使用。
	高速 大型	28.52	通常経路および迂回経路-②については、費用便益分析マニュアルの車種別の走行経費原単位のうち、高速・地域高規格の普通貨物（75km/h）を使用。
	一般道 小型	16.92	迂回経路-①については、費用便益分析マニュアルの車種別の走行経費原単位のうち、一般道（平地）の乗用車類（60km/h）を使用。
	一般道 大型	33.75	迂回経路-①については、費用便益分析マニュアルの車種別の走行経費原単位のうち、一般道（平地）の普通貨物（40km/h）を使用。

（4）深刻さ・可能性・重大性の評価

ここでは、リスクの深刻さ・可能性・重大性の評価について、5 つの評価手法案を適用し、各評価手法案が適する項目について重要度・影響を評価した。以下、評価手法案の概要を 1) ～ 5) に示す。

（ア）Tamura(2013)

災害リスクの深刻さに関して、道路やその利用者に関する、人的被害、復旧コスト、経済損失の評価

（イ）Transit(2004)

災害リスクの深刻さに関して、高速道路管理を目的として、危機と好機を対象とした、人的被害、マスコミの評価、環境、利害関係者の評価、費用、時間の評価

(ウ) インフラ PFI(2010)：災害リスクの深刻さに関して、道路事業の計画段階において、事業の費用等への影響の評価

(エ) Tamura(2013)+インフラ PFI(2010)

(ア) の復旧費用および経済損失の閾値について (ウ) の評価手法を適用する。

(オ) Transit(2004)+インフラ PFI(2010)

(イ) における費用ランクの閾値について (ウ) の評価手法を適用する。

1) 評価手法案 (ア)：Tamura(2013)

(a) 評価方法の概要

Tamura(2013)では、災害リスクの深刻さに関して、道路やその利用者に関する、人的被害、復旧コスト、経済損失（迂回コスト）を評価し、これらの評点の合計値を算出する。人的被害や復旧コストについては、対策による好機も評価対象とする。人的被害・復旧費用・経済損失のランク・評点を表 2.3.20 に示す。

表 2.3.20 深刻さのランク・評点 (Tamura, 2013)

リスク	影響	評点	人的被害 (死者数)	復旧コスト	経済損失
危機	大	10	≥1人	≥150百万円	≥150百万円 もしくは 迂回路なし
	中	5	<1人	50~150百万円	50~150百万円
	小	1		<50百万円	<50百万円
無し	無し	0	0	0	0
好機	小	1		<50百万円	
	中	5	<1人	50~150百万円	
	大	10	≥1人	≥150百万円	

可能性に関しては、年間の発生確率で評価をする。地震はプレート活動の平均再帰期間、豪雨は道路閉鎖の基準雨量の超過確率を参考にする。可能性のランク・評点を表 2.3.21 に示す。

表 2.3.21 可能性のランク・評点 (Tamura, 2013)

可能性	年間発生確率	評点
高	≥50%	10
中	10~50%	5
低	≤10%	1

重大性に関しては、影響の大きさと起こりやすさの評点を掛けあわせてリスク値を算出する。

(b) 評価結果

2. 3. 2 (3) 災害リスクの影響評価で把握した人的被害・経済的被害を、表 2. 3. 20 に基づいて深刻さの評価を行った。また、盛土被害（亀裂・陥没等）については、迂回損失の深刻さについては、「無・0」を設定した。

表 2. 3. 22 深刻さの評価：評価手法案（ア）

番号	物的被害	支障	人的被害		復旧コスト		経済損失		評点合計
			影響	評点	影響	評点	影響	評点	
1	落橋	緊急物資の不足	中	5	大	10	大	10	25
2	盛土被害	緊急物資の不足	無	0	小	1	無	0	1
3	切土被害	緊急物資の不足	無	0	大	10	大	10	20
4	被害多数	緊急物資の不足	無	0	大	10	大	10	20
5	道路寸断	緊急物資の不足	中	5	大	10	大	10	25
6	落橋	飲料水・生活用水の不足	中	5	大	10	大	10	25
7	盛土被害	飲料水・生活用水の不足	無	0	小	1	無	0	1
8	切土被害	飲料水・生活用水の不足	無	0	大	10	大	10	20
9	被害多数	飲料水・生活用水の不足	無	0	大	10	大	10	20
10	道路寸断	飲料水・生活用水の不足	中	5	大	10	大	10	25
11	道路寸断	外来患者の受入制限（受入不可）	大	10	大	10	大	10	30
12	道路寸断	医薬品の不足	大	10	大	10	大	10	30
13	落橋	救急活動遅延による死傷者増加	大	10	大	10	大	10	30
14	盛土被害	救急活動遅延による死傷者増加	無	0	小	1	無	0	1
15	切土被害	救急活動遅延による死傷者増加	無	0	大	10	大	10	20

16	被害多数	救急活動遅延による死傷者増加	大	10	大	10	大	10	30
17	道路寸断	救急活動遅延による死傷者増加	大	10	大	10	大	10	30
18	落橋	火災による人的被害拡大	大	10	大	10	大	10	30
19	盛土被害	火災による人的被害拡大	大	10	小	1	無	0	11
20	切土被害	火災による人的被害拡大	大	10	大	10	大	10	30
21	被害多数	火災による人的被害拡大	大	10	大	10	大	10	30
22	道路寸断	火災による人的被害拡大	大	10	大	10	大	10	30

可能性の評価を表 2.3.21 に基づき行った。評価結果を表 2.3.23 に示す。

表 2.3.23 可能性の評価：評価手法案（ア）

物的被害	可能性	評点	説明
落橋	低	1	落橋を引き起こすような地震・津波は 10 年に 1 度も発生しないため、可能性は「低」とした。
盛土被害	高	10	盛土被害（亀裂・陥没等）は毎年発生しているため、可能性は「高」とした。
切土被害	中	5	切土被害（崩壊）は数十年に 1 度の豪雨で発生すると考え、可能性は「中」とした。
被害多数	中	5	多数の盛土・切土被害は数十年に 1 度の豪雨で発生すると考え、可能性は「中」とした。
道路寸断	低	1	道路寸断を引き起こすような断層変位は 10 年に 1 度も発生しないため、可能性は「低」とした。

深刻さ（表 2.3.22）と可能性（表 2.3.23）の評価結果より、重大性の評価を行った。評価結果とリスク値を表 2.3.24 に示す。

表 2.3.24 重大性の評価：評価手法案（ア）

番号	物的被害	支障	深刻さ	可能性	リスク値
1	落橋	緊急物資の不足	25	1	25
2	盛土被害	緊急物資の不足	1	10	10
3	切土被害	緊急物資の不足	20	5	100
4	被害多数	緊急物資の不足	20	5	100
5	道路寸断	緊急物資の不足	25	1	25
6	落橋	飲料水・生活用水の不足	25	1	25
7	盛土被害	飲料水・生活用水の不足	1	10	10
8	切土被害	飲料水・生活用水の不足	20	5	100
9	被害多数	飲料水・生活用水の不足	20	5	100
10	道路寸断	飲料水・生活用水の不足	25	1	25
11	道路寸断	外来患者の受入制限 (受入不可)	30	1	30
12	道路寸断	医薬品の不足	30	1	30
13	落橋	救急活動遅延による 死傷者の増加	30	1	30
14	盛土被害	救急活動遅延による 死傷者の増加	1	10	10
15	切土被害	救急活動遅延による 死傷者の増加	20	5	100
16	被害多数	救急活動遅延による 死傷者の増加	30	5	150
17	道路寸断	救急活動遅延による 死傷者の増加	30	1	30
18	落橋	火災による人的被害 拡大	30	1	30
19	盛土被害	火災による人的被害 拡大	11	10	110
20	切土被害	火災による人的被害 拡大	30	5	150
21	被害多数	火災による人的被害 拡大	30	5	150
22	道路寸断	火災による人的被害 拡大	30	1	30

2) 評価手法案 (イ) : Transit(2004)

(a) 評価方法の概要

Transit(2004)では、災害リスクの深刻さに関して、高速道路管理を目的として、危機と好機を対象とした、人的被害、マスコミの評価、環境、利害関係者の評価、費用、時間について評価を行う。人的被害・費用のランク・評点を表 2.3.25 に示す。

表 2.3.25 深刻さのランク・評点 (Transit, 2004)

	深刻さ	評点	人的被害	費用
危機	非常に大	100	多数の死者	+10億円
	大	70	数人の死者	+1~10億円
	中	40	多数の重傷者	+1000万~1億円
	小	10	数人の重傷者	+100~1000万円
	無視できる	1	重傷者ほぼ無し	+0~100万円
好機	無視できる	-1	負傷者の防止	-0~100万円
	小	-10	重傷者(少数)の防止	-100~1000万円
	中	-40	重傷者(多数)の防止	-1000万~1億円
	大	-70	死亡者(数名)の防止	-1~10億円
	非常に大	-100	死亡者(多数)の防止	-10億円

可能性に関しては、起こりやすさ(資産改善のような短期の活動)や頻度(アセットマネジメントやビジネスの長期の活動)から評価を行う。可能性のランク・評点を表 2.3.26 に示す。

表 2.3.26 可能性のランク・評点 (Transit, 2004)

可能性	確率	頻度	記述	評点
多	>50%	1年に1度以上	危機が発生する。もしくは、危機に関する知識が非常に貧弱な状態	5
普通	20~50%	1~5年に1度	危機が発生するかもしれない。危機に関する知識が貧弱な状態	4
少	10~20%	5~10年に1度	危機が希に発生する。危機に関する知識が中庸な状態	3
希	1~10%	10~50年に1度	危機が極めて希に発生する。危機に関する知識が良好な状態	2
希少	<1%	50年に1度以下	危機が例外的な状況で発生する可能性がある。危機に関する知識が非常に良好な状態	1

重大性に関しては、深刻さと可能性の評点を掛けあわせてリスク値を算出する。

(b) 評価結果

2. 3. 2 (3) 災害リスクの影響評価で把握した人的被害・経済的被害を、表 2.3.25 に基づいて深刻さの評価を行った。なお、対象エリア A で迂回経路が無い場合の迂回損失の深刻さについては、「大・70」を設定した。また、盛土被害（亀裂・陥没等）については、迂回損失の深刻さについては、「無視・1」を設定した。

表 2.3.27 深刻さの評価：評価手法案（イ）

番号	物的被害	支障		深刻さ	
				影響	評点
1	落橋	人的被害	緊急物資の不足	中	40
2	盛土被害	人的被害	緊急物資の不足	無視	1
3	切土被害	人的被害	緊急物資の不足	無視	1
4	被害多数	人的被害	緊急物資の不足	無視	1
5	道路寸断	人的被害	緊急物資の不足	中	40
6	落橋	人的被害	飲料水・生活水の不足	中	40
7	盛土被害	人的被害	飲料水・生活水の不足	無視	1
8	切土被害	人的被害	飲料水・生活水の不足	無視	1
9	被害多数	人的被害	飲料水・生活水の不足	無視	1
10	道路寸断	人的被害	飲料水・生活水の不足	中	40
11	道路寸断	人的被害	外来患者の受入制限（受入不可）	大	70
12	道路寸断	人的被害	医薬品の不足	大	70
13	落橋	人的被害	救急活動遅延による死傷者の増加	大	70
14	盛土被害	人的被害	救急活動遅延による死傷者の増加	無視	1
15	切土被害	人的被害	救急活動遅延による死傷者の増加	無視	1
16	被害多数	人的被害	救急活動遅延による死傷者の増加	大	70
17	道路寸断	人的被害	救急活動遅延による死傷者の増加	大	70
18	落橋	人的被害	火災による人的被害拡大	大	70
19	盛土被害	人的被害	火災による人的被害拡大	大	70
20	切土被害	人的被害	火災による人的被害拡大	大	70
21	被害多数	人的被害	火災による人的被害拡大	大	70
22	道路寸断	人的被害	火災による人的被害拡大	大	70
23	落橋	経済的被害	復旧費用	大	70
24	盛土被害	経済的被害	復旧費用	中	40
25	切土被害	経済的被害	復旧費用	大	70
26	被害多数	経済的被害	復旧費用	大	70
27	道路寸断	経済的被害	復旧費用	大	70
28	落橋	経済的被害	迂回損失	大	70
29	盛土被害	経済的被害	迂回損失	無視	1
30	切土被害	経済的被害	迂回損失	大	70
31	被害多数	経済的被害	迂回損失	大	70
32	道路寸断	経済的被害	迂回損失	大	70

可能性の評価を表 2.3.26 に基づき行った。評価結果を表 2.3.28 に示す。

表 2.3.28 可能性の評価：評価手法案（イ）

物的被害	可能性	評点	説明
落橋	希少	1	落橋を引き起こすような地震・津波は 50 年に 1 度も発生しないため、可能性は「希少」とした。
盛土被害	多	5	盛土被害（亀裂・陥没等）は毎年発生しているため、可能性は「多」とした。
切土被害	希	2	切土被害（崩壊）は数十年に 1 度の豪雨で発生すると考え、可能性は「希」とした。
被害多数	希	2	多数の盛土・切土被害は数十年に 1 度の豪雨で発生すると考え、可能性は「希」とした。
道路寸断	希少	1	道路寸断を引き起こすような断層変位は 10 年に 1 度も発生しないため、可能性は「希少」とした。

深刻さ（表 2.3.27）と可能性（表 2.3.28）の評価結果より、重大性の評価を行った。評価結果とリスク値を表 2.3.29 に示す。

表 2.3.29 重大性の評価：評価手法案（イ）

番号	物的被害	支障	深刻さ	可能性	リスク値
1	落橋	緊急物資の不足	40	1	40
2	盛土被害	緊急物資の不足	1	5	5
3	切土被害	緊急物資の不足	1	2	2
4	被害多数	緊急物資の不足	1	2	2
5	道路寸断	緊急物資の不足	40	1	40
6	落橋	飲料水・生活水の不足	40	1	40
7	盛土被害	飲料水・生活水の不足	1	5	5
8	切土被害	飲料水・生活水の不足	1	2	2
9	被害多数	飲料水・生活水の不足	1	2	2
10	道路寸断	飲料水・生活水の不足	40	1	40
11	断層変位	外来患者の受入制限（受入不可）	70	1	70
12	断層変位	医薬品の不足	70	1	70
13	落橋	救急活動遅延による死傷者の増加	70	1	70
14	盛土被害	救急活動遅延による死傷者の増加	1	5	5
15	切土被害	救急活動遅延による死傷者の増加	1	2	2
16	被害多数	救急活動遅延による死傷者の増加	70	2	140
17	道路寸断	救急活動遅延による死傷者の増加	70	1	70
18	落橋	火災による人的被害拡大	70	1	70
19	盛土被害	火災による人的被害拡大	70	5	350

20	切土被害	火災による人的被害拡大	70	2	140
21	被害多数	火災による人的被害拡大	70	2	140
22	道路寸断	火災による人的被害拡大	70	1	70
23	落橋	復旧費用	70	1	70
24	盛土被害	復旧費用	40	5	200
25	切土被害	復旧費用	70	2	140
26	被害多数	復旧費用	70	2	140
27	道路寸断	復旧費用	70	1	70
28	落橋	迂回損失	70	1	70
29	盛土被害	迂回損失	1	5	5
30	切土被害	迂回損失	70	2	140
31	被害多数	迂回損失	70	2	140
32	道路寸断	迂回損失	70	1	70

3) 評価手法案 (ウ) : インフラ PFI(2010)

(a) 評価方法の概要

インフラ PFI(2010)では、災害リスクの深刻さに関して、道路事業の計画段階において、事業の費用等への影響について評価を行う。費用への影響のランクを表 2.3.30 に示す。ここでは、ある国道事務所の事業費に対する割合でランク付けを行う。

表 2.3.30 深刻さのランク・評点 (インフラ PFI, 2010)

ランク	費用への影響	費用への影響 (事業費の割合*)	評点
高い	50百万円以上 (事業費の5%以上)	2.5億円以上 (事業費の5%以上)	3
中程度	10~50百万円 (事業費の2.5~5%)	1.3~2.5億円 (事業費の2.5~5%)	2
低い	10百万円未満 (事業費の2.5%未満)	1.3億円未満 (事業費の2.5%未満)	1

可能性に関しては、リスクが実際に影響を与えるものに発展するか否かの発生確率を評価する。可能性のランクを表 2.3.31 に示した。

表 2.3.31 可能性のランク・評点 (インフラ PFI, 2010)

可能性	年間発生確率	評点
高い	20%以上	3
中程度	10~20%	2
低い	0~10%	1

重大性に関しては、事業を行うにあたって、より危険度の高いリスクから対策を考えていく必要がある。そのため、発生確率と影響度の2つの要素を考慮した「リスクランキングマトリックス」をもとにリスクの順位付けを行う。

(b) 評価結果

2.3.2(3) 災害リスクの影響評価で把握した経済的被害を、表2.3.30に基づいて深刻さの評価を行った。なお、対象エリアAで迂回経路が無い場合の深刻さについては、「中程度」を設定した。また、盛土被害（亀裂・陥没等）については、迂回損失の深刻さについては、「低い」を設定した。

表 2.3.32 深刻さの評価：評価手法案（ウ）

番号	物的被害	支障	深刻さ	
1	落橋	復旧費用	高い	3
2	盛土被害	復旧費用	低い	1
3	切土被害	復旧費用	中程度	2
4	被害多数	復旧費用	高い	3
5	道路寸断	復旧費用	高い	3
6	落橋	迂回損失	高い	3
7	盛土被害	迂回損失	低い	1
8	切土被害	迂回損失	高い	3
9	被害多数	迂回損失	高い	3
10	道路寸断	迂回損失	中程度	2

可能性の評価を表2.3.31に基づき行った。評価結果を表2.3.33に示す。

表 2.3.33 可能性の評価：評価手法案（ウ）

物的被害	可能性	評点	説明
落橋	低い	1	落橋を引き起こすような地震・津波は10年に1度も発生しないため、可能性は「低い」とした。
盛土被害	高い	3	盛土被害（亀裂・陥没等）は毎年発生しているため、

物的被害	可能性	評点	説明
			可能性は「高い」とした。
切土被害	低い	1	切土被害（崩壊）は数十年に1度の豪雨で発生すると考え、可能性は「低い」とした。
被害多数	低い	1	多数の盛土・切土被害は数十年に1度の豪雨で発生すると考え、可能性は「低い」とした。
道路寸断	低い	1	道路寸断を引き起こすような断層変位は10年に1度も発生しないため、可能性は「低い」とした。

深刻さ（表 2.3.32）と可能性（表 2.3.33）の評価結果より、重大性の評価を行った。評価結果とリスク値を表 2.3.34 に示す。

表 2.3.34 重大性の評価：評価手法案（ウ）

番号	物的被害	支障	深刻さ	可能性	点数
1	落橋	復旧費用	3	1	3
2	盛土被害	復旧費用	1	3	3
3	切土被害	復旧費用	2	1	2
4	被害多数	復旧費用	3	1	3
5	道路寸断	復旧費用	3	1	3
6	落橋	迂回損失	3	1	3
7	盛土被害	迂回損失	1	3	3
8	切土被害	迂回損失	3	1	3
9	被害多数	迂回損失	3	1	3
10	道路寸断	迂回損失	2	1	2

4) 評価手法案（エ）：Tamura(2013)+インフラ PFI(2010)

(a) 評価方法の概要

Tamura (2013)における、復旧費用および経済損失のランクの閾値について、インフラ PFI (2010)の評価手法を適用する。ここでは、ある国道事務所の事業費に対す

る割合でランク付けを行う。人的被害・復旧費用・経済損失のランク・評点を表 2.3.35 に示した。

表 2.3.35 深刻さのランク・評点 (評価手法案 (エ))

リスク	影響	人的被害 (死者数)	復旧コスト (事業費の割合*)	経済損失	評点
危機	大	≥1人	2.5億円以上 (事業費の5%以上)	2.5億円以上 (事業費の5%以上) もしくは 迂回路なし	10
	中	<1人	1.3~2.5億円以上 (事業費の2.5~5%)	1.3~2.5億円以上 (事業費の2.5~5%)	5
	小		1.3億円未満 (事業費の2.5%未満)	1.3億円未満 (事業費の2.5%未満)	1
無し	無し	0	0	0	0
好機	小		1.3億円未満 (事業費の2.5%未満)		1
	中	<1人	1.3~2.5億円以上 (事業費の2.5~5%)		5
	大	≥1人	2.5億円以上 (事業費の5%以上)		10

可能性に関しては、年間の発生確率で評価をする。地震はプレート活動の平均再帰期間、豪雨は道路閉鎖の基準雨量の超過確率を参考にする。可能性のランク・評点を表 2.3.36 に示した。

表 2.3.36 可能性のランク・評点 (評価手法案 (エ))

可能性	年間発生確率	評点
高	≥50%	10
中	10~50%	5
低	≤10%	1

重大性に関しては、影響の大きさと起こりやすさの評点を掛けあわせてリスク値を算出する。

(b) 評価結果

2. 3. 2 (3) 災害リスクの影響評価で把握した人的被害・経済的被害を、表 2. 3. 35 に基づいて深刻さの評価を行った(表 2. 3. 37)。また、盛土被害(亀裂・陥没等)については、迂回損失の深刻さについては、「無・0」を設定した。

表 2. 3. 37 深刻さの評価：評価手法案(エ)

番号	物的被害	支障	人的被害		復旧コスト		経済損失		評点合計
			影響	評点	影響	評点	影響	評点	
1	落橋	緊急物資の不足	中	5	大	10	大	10	25
2	盛土被害	緊急物資の不足	無	0	小	1	無	0	1
3	切土被害	緊急物資の不足	無	0	中	5	大	10	15
4	被害多数	緊急物資の不足	無	0	大	10	大	10	20
5	道路寸断	緊急物資の不足	中	5	大	10	中	5	20
6	落橋	飲料水・生活用水の不足	中	5	大	10	大	10	25
7	盛土被害	飲料水・生活用水の不足	無	0	小	1	無	0	1
8	切土被害	飲料水・生活用水の不足	無	0	中	5	大	10	15
9	被害多数	飲料水・生活用水の不足	無	0	大	10	大	10	20
10	道路寸断	飲料水・生活用水の不足	中	5	大	10	中	5	20
11	道路寸断	外来患者の受入制限(受入不可)	大	10	大	10	大	10	30
12	道路寸断	医薬品の不足	大	10	大	10	大	10	30
13	落橋	救急活動遅延による死傷者の増加	大	10	大	10	大	10	30
14	盛土被害	救急活動遅延による死傷者の増加	無	0	小	1	無	0	1
15	切土被害	救急活動遅延による死傷者の増加	無	0	中	5	大	10	15
16	被害多数	救急活動遅延による死傷者の増加	大	10	大	10	大	10	30
17	道路寸断	救急活動遅延による死傷者の増加	大	10	大	10	中	5	25
18	落橋	火災による人的被害拡大	大	10	大	10	大	10	30
19	盛土被害	火災による人的被害拡大	大	10	小	1	無	0	11

20	切土被害	火災による人的被害拡大	大	10	中	5	大	10	25
21	被害多数	火災による人的被害拡大	大	10	大	10	大	10	30
22	道路寸断	火災による人的被害拡大	大	10	大	10	中	5	25

可能性の評価を表 2.3.36 に基づき行った。評価結果を表 2.3.38 に示す。

表 2.3.38 可能性の評価：評価手法案（エ）

物的被害	可能性	評点	説明
落橋	低	1	落橋を引き起こすような地震・津波は 10 年に 1 度も発生しないため、可能性は「低」とした。
盛土被害	高	10	盛土被害（亀裂・陥没等）は毎年発生しているため、可能性は「高」とした。
切土被害	中	5	切土被害（崩壊）は数十年に 1 度の豪雨で発生すると考え、可能性は「中」とした。
被害多数	中	5	多数の盛土・切土被害は数十年に 1 度の豪雨で発生すると考え、可能性は「中」とした。
道路寸断	低	1	道路寸断を引き起こすような断層変位は 10 年に 1 度も発生しないため、可能性は「低」とした。

深刻さ（表 2.3.37）と可能性（表 2.3.38）の評価結果より、重大性の評価を行った。評価結果とリスク値を表 2.3.39 に示す。

表 2.3.39 重大性の評価：評価手法案（エ）

番号	物的被害	支障	深刻さ	可能性	リスク値
1	落橋	緊急物資の不足	25	1	25
2	盛土被害	緊急物資の不足	1	10	10
3	切土被害	緊急物資の不足	15	5	75
4	被害多数	緊急物資の不足	20	5	100
5	道路寸断	緊急物資の不足	20	1	20
6	落橋	飲料水・生活用水の不足	25	1	25
7	盛土被害	飲料水・生活用水の不足	1	10	10
8	切土被害	飲料水・生活用水の不足	15	5	75

9	被害多数	飲料水・生活用水の不足	20	5	100
10	道路寸断	飲料水・生活用水の不足	20	1	20
11	道路寸断	外来患者の受入制限（受入不可）	30	1	30
12	道路寸断	医薬品の不足	30	1	30
13	落橋	救急活動遅延による死傷者の増加	30	1	30
14	盛土被害	救急活動遅延による死傷者の増加	1	10	10
15	切土被害	救急活動遅延による死傷者の増加	15	5	75
16	被害多数	救急活動遅延による死傷者の増加	30	5	150
17	道路寸断	救急活動遅延による死傷者の増加	25	1	25
18	落橋	火災による人的被害拡大	30	1	30
19	盛土被害	火災による人的被害拡大	11	10	110
20	切土被害	火災による人的被害拡大	25	5	125
21	被害多数	火災による人的被害拡大	30	5	150
22	道路寸断	火災による人的被害拡大	25	1	25

5) 評価手法案 (オ) : Transit(2004) + インフラ PFI(2010)

(a) 評価方法の概要

Transit(2004)における、費用のランクの閾値について、インフラ PFI(2010)の評価手法を適用する。ここでは、ある国道事務所の事業費に対する割合でランク付けを行う。人的被害・費用のランク・評点を表 2.3.40 に示す。

表 2.3.40 深刻さのランク・評点 (評価手法案 (オ))

	深刻さ	人的被害	費用 (事業費の割合*)	評点
危機	非常に大	多数の死者		100
	大	数人の死者	2.5億円以上 (事業費の5%以上)	70
	中	多数の重傷者	1.3~2.5億円以上 (事業費の2.5~5%)	40
	小	数人の重傷者	1.3億円未満 (事業費の2.5%未満)	10
	無視できる	重傷者ほぼ無し		1
好機	無視できる	負傷者の防止		-1
	小	重傷者(少数)の防止	1.3億円未満 (事業費の2.5%未満)	-10
	中	重傷者(多数)の防止	1.3~2.5億円以上 (事業費の2.5~5%)	-40
	大	死亡者(数名)の防止	2.5億円以上 (事業費の5%以上)	-70
	非常に大	死亡者(多数)の防止		-100

可能性に関しては、起こりやすさ(資産改善のような短期の活動)や頻度(アセットマネジメントやビジネスの長期の活動)から評価を行う。可能性のランク・評点を表 2.3.41 に示した。

表 2.3.41 可能性のランク・評点 (評価手法案 (オ))

可能性	確率	頻度	記述	評点
多	>50%	1年に1度以上	危機が発生する。もしくは、危機に関する知識が非常に貧弱な状態	5
普通	20~50%	1~5年に1度	危機が発生するかもしれない。危機に関する知識が貧弱な状態	4
少	10~20%	5~10年に1度	危機が希に発生する。危機に関する知識が中庸な状態	3
希	1~10%	10~50年に1度	危機が極めて希に発生する。危機に関する知識が良好な状態	2
希少	<1%	50年に1度以下	危機が例外的な状況で発生する可能性がある。危機に関する知識が非常に良好な状態	1

重大性に関しては、深刻さと可能性の評点を掛けあわせてリスク値を算出する。

(b) 評価結果

2. 3. 2 (3) 災害リスクの影響評価で把握した人的被害・経済的被害を、表 2. 3. 40 に基づいて深刻さの評価を行った(表 2. 3. 42)。なお、対象エリア A で迂回経路が無い場合の迂回損失の深刻さについては、「大・70」を設定した。また、盛土被害(亀裂・陥没等)については、迂回損失の深刻さについては、「無視・1」を設定した。

表 2. 3. 42 深刻さの評価：評価手法案 (オ)

番号	物的被害	支障		深刻さ	
				影響	評点
1	落橋	人的被害	緊急物資の不足	中	40
2	盛土被害	人的被害	緊急物資の不足	無視	1
3	切土被害	人的被害	緊急物資の不足	無視	1
4	被害多数	人的被害	緊急物資の不足	無視	1
5	道路寸断	人的被害	緊急物資の不足	中	40
6	落橋	人的被害	飲料水・生活水の不足	中	40
7	盛土被害	人的被害	飲料水・生活水の不足	無視	1
8	切土被害	人的被害	飲料水・生活水の不足	無視	1
9	被害多数	人的被害	飲料水・生活水の不足	無視	1
10	道路寸断	人的被害	飲料水・生活水の不足	中	40
11	道路寸断	人的被害	外来患者の受入制限(受入不可)	大	70
12	道路寸断	人的被害	医薬品の不足	大	70
13	落橋	人的被害	救急活動遅延による死傷者の増加	大	70
14	盛土被害	人的被害	救急活動遅延による死傷者の増加	無視	1
15	切土被害	人的被害	救急活動遅延による死傷者の増加	無視	1
16	被害多数	人的被害	救急活動遅延による死傷者の増加	大	70
17	道路寸断	人的被害	救急活動遅延による死傷者の増加	大	70
18	落橋	人的被害	火災による人的被害拡大	大	70
19	盛土被害	人的被害	火災による人的被害拡大	大	70
20	切土被害	人的被害	火災による人的被害拡大	大	70
21	被害多数	人的被害	火災による人的被害拡大	大	70
22	道路寸断	人的被害	火災による人的被害拡大	大	70
23	落橋	経済的被害	復旧費用	大	70
24	盛土被害	経済的被害	復旧費用	小	10
25	切土被害	経済的被害	復旧費用	中	40
26	被害多数	経済的被害	復旧費用	大	70
27	道路寸断	経済的被害	復旧費用	大	70
28	落橋	経済的被害	迂回損失	大	70
29	盛土被害	経済的被害	迂回損失	無視	1

30	切土被害	経済的被害	迂回損失	大	70
31	被害多数	経済的被害	迂回損失	大	70
32	道路寸断	経済的被害	迂回損失	中	40

可能性の評価を表 2.3.41 に基づき行った。評価結果を表 2.3.43 に示す。

表 2.3.43 可能性の評価：評価手法案（オ）

物的被害	可能性	評点	説明
落橋	希少	1	落橋を引き起こすような地震・津波は 50 年に 1 度も発生しないため、可能性は「希少」とした。
盛土被害	多	5	盛土被害（亀裂・陥没等）は毎年発生しているため、可能性は「多」とした。
切土被害	希	2	切土被害（崩壊）は数十年に 1 度の豪雨で発生すると考え、可能性は「希」とした。
被害多数	希	2	多数の盛土・切土被害は数十年に 1 度の豪雨で発生すると考え、可能性は「希」とした。
道路寸断	希少	1	道路寸断を引き起こすような断層変位は 10 年に 1 度も発生しないため、可能性は「希少」とした。

深刻さ（表 2.3.42）と可能性（表 2.3.43）の評価結果より、重大性の評価を行った。評価結果とリスク値を表 2.3.44 に示す。

表 2.3.44 重大性の評価：評価手法案（オ）

番号	物的被害	支障	深刻さ	可能性	リスク値
1	落橋	緊急物資の不足	40	1	40
2	盛土被害	緊急物資の不足	1	5	5
3	切土被害	緊急物資の不足	1	2	2
4	被害多数	緊急物資の不足	1	2	2
5	道路寸断	緊急物資の不足	40	1	40
6	落橋	飲料水・生活水の不足	40	1	40
7	盛土被害	飲料水・生活水の不足	1	5	5
8	切土被害	飲料水・生活水の不足	1	2	2
9	被害多数	飲料水・生活水の不足	1	2	2
10	道路寸断	飲料水・生活水の不足	40	1	40
11	道路寸断	外来患者の受入制限（受入不可）	70	1	70
12	道路寸断	医薬品の不足	70	1	70
13	落橋	救急活動遅延による死傷者の増加	70	1	70
14	盛土被害	救急活動遅延による死傷者の増加	1	5	5
15	切土被害	救急活動遅延による死傷者の増加	1	2	2

16	被害多数	救急活動遅延による死傷者の増加	70	2	140
17	道路寸断	救急活動遅延による死傷者の増加	70	1	70
18	落橋	火災による人的被害拡大	70	1	70
19	盛土被害	火災による人的被害拡大	70	5	350
20	切土被害	火災による人的被害拡大	70	2	140
21	被害多数	火災による人的被害拡大	70	2	140
22	道路寸断	火災による人的被害拡大	70	1	70
23	落橋	復旧費用	70	1	70
24	盛土被害	復旧費用	10	5	50
25	切土被害	復旧費用	40	2	80
26	被害多数	復旧費用	70	2	140
27	道路寸断	復旧費用	70	1	70
28	落橋	迂回損失	70	1	70
29	盛土被害	迂回損失	1	5	5
30	切土被害	迂回損失	70	2	140
31	被害多数	迂回損失	70	2	140
32	道路寸断	迂回損失	40	1	40

2. 3. 3 評価手法のまとめ

5 評価手法案の評価結果について、リスク値に基づき「高リスク」「中リスク」「低リスク」に分類し、それぞれに該当する支障を整理した（表 2.3.45）。高リスクは取りうるリスク値の上位 3 分の 1、低リスクは下位 3 分の 1、その間を中リスクとして設定した。整理結果のまとめを以下に記載した。

- 高リスクにおいて、評価手法案（ウ）では人的被害を扱っていないため、該当する支障がなかった。
- 評価手法案（ア）・（イ）・（エ）・（オ）において、火災による人的被害拡大については、高リスクと評価された。また、評価手法案（ア）・（エ）においては、救急活動遅延による死傷者の増加も高リスクと評価された。
- 評価手法案（ア）・（イ）・（エ）・（オ）において、外来患者の受入制限や医薬品の不足については、中リスクと評価された。
- 上記以外のリスクについては、概ね中リスク～低リスクと評価された。

また、5 評価手法案についての整理および評価結果に基づき、評価手法の特徴の整理を行った（表 2.3.46）。整理にあたっては、評価結果の妥当性等・被害の評価方法・ランク基準・評価結果の活用に着目した。

これらの観点から総合的に判断すると、「評価手法案（オ）：Transit(2004)＋インフラ PFI(2010)」が適用性の高い評価手法案と考えられる。従って、ケーススタディは、評価手法案（オ）を用いて実施した。

表 2.3.45 5 評価手法案の評価結果の整理

リスク値		評価 手法案	支障
高 リ ス ク	110 以上	(ア)	高リスク値があったのは、救急活動遅延による死傷者の増加、火災による人的被害拡大である。
	200 以上	(イ)	高リスク値があったのは、火災による人的被害拡大、復旧費用である。
	6 以上	(ウ)	なし
	110 以上	(エ)	高リスク値があったのは、救急活動遅延による死傷者の増加、火災による人的被害拡大である。
	200 以上	(オ)	高リスク値があったのは、火災による人的被害拡大である。
中 リ ス ク	30～100	(ア)	中リスク値があったのは、緊急物資の不足、飲料水の不足、外来患者の受入制限、医薬品の不足、救急活動遅延による死傷者の増加、火災による人的被害拡大である。
	40～160	(イ)	中リスク値があったのは、緊急物資の不足、飲料水の不足、外来患者の受入制限、医薬品の不足、救急活動遅延による死傷者の増加、火災による人的被害拡大、復旧費用、迂回損失である。
	3～4	(ウ)	中リスク値があったのは、復旧費用、迂回損失である。
	30～100	(エ)	中リスク値があったのは、緊急物資の不足、飲料水の不足、外来患者の受入制限、医薬品の不足、救急活動遅延による死傷者の増加、火災による人的被害拡大である。
	40～160	(オ)	中リスク値があったのは、緊急物資の不足、飲料水の不足、外来患者の受入制限、医薬品の不足、救急活動遅延による死傷者の増加、火災による人的被害拡大、復旧費用、迂回損失である。
低 リ ス ク	25 以下	(ア)	低リスク値があったのは、緊急物資の不足、飲料水の不足、救急活動遅延による死傷者の増加である。
	30 以下	(イ)	低リスク値があったのは、緊急物資の不足、飲料水の不足、救急活動遅延による死傷者の増加、迂回損失である。
	2 以下	(ウ)	低リスク値があったのは、復旧費用、迂回損失である。
	25 以下	(エ)	低リスク値があったのは、緊急物資の不足、飲料水の不足、救急活動遅延による死傷者の増加、火災による人的被害拡大である。
	30 以下	(オ)	低リスク値があったのは、緊急物資の不足、飲料水の不足、救急活動遅延による死傷者の増加、迂回損失である。

表 2.3.46 評価手法案の特徴の整理

	評価手法案 (ア)	評価手法案 (イ)	評価手法案 (ウ)	評価手法案 (エ)	評価手法案 (オ)
評価結果の 妥当性等	○ 物的被害や支障の内容に応じて、適切な評価を行うことができた。 但し、経済性の深刻さのランクについて、対象とする組織の規模が変わる場合、適用が不適切になる場合がある。	○ 物的被害や支障の内容に応じて、適切な評価を行うことができた。 但し、経済性の深刻さのランクについて、対象とする組織の規模が変わる場合、適用が不適切になる場合がある。	△ 重大性の評価では点数がかたまってしまい、優先度の高い物的被害や支障を把握することが難しかった。	◎ 物的被害や支障の内容に応じて、適切な評価を行うことができた。	◎ 物的被害や支障の内容に応じて、適切な評価を行うことができた。
被害の評価手法	○ 人的被害・経済的被害の評価が可能。	○ 人的被害・経済的被害の評価が可能。	△ 経済的被害の評価が可能。	○ 人的被害・経済的被害の評価が可能。	○ 人的被害・経済的被害の評価が可能。
ランク基準	○ 日本の高速道路を想定した被害のランク付けが可能。	○ 高速道路等を想定した被害のランク付けが可能。	◎ 事業費の割合に応じた被害のランク付けが可能。	◎ 事業費の割合に応じた被害のランク付けが可能。	◎ 事業費の割合に応じた被害のランク付けが可能。
評価結果の活用	○ 対策優先順位の評価が可能。	◎ 具体的な対策の方向性の評価が可能。	△ リスクの相対的な比較が可能。	○ 対策優先順位の評価が可能。	◎ 具体的な対策の方向性の評価が可能。

評価手法案 (ア) : Tamura (2013)

評価手法案 (イ) : Transit (2004)

評価手法案 (ウ) : インフラ PFI (2010)

評価手法案 (エ) : Tamura (2013) + インフラ PFI (2010)

評価手法案 (オ) : Transit (2004) + インフラ PFI (2010)

◎ : 適用性が非常に高い、○ : 適用性が高い、△ : 適用性がある

参考文献

- 1) TRANSIT NEW ZEALAND: Risk Management Process Manual, 2004.
- 2) 松下 剛史・吉田 献一・奥田賢持・梅田眞吾・辻井泰人・村尾幸彦:情報流通ビルの地震リスクマネジメント, 学術講演梗概集. 構造系 (B-2), 日本建築学会, 2002 年 8 月, pp. 71-72.
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局:水害の被害指標分析の手引 (H25 試行版), 2013 年 7 月.
- 4) 加藤浩徳・城山英明・中川善典:関係主体間の相互関係に着目した広域交通計画におけるシナリオ分析手法の提案, 社会技術研究論文集 (4), 2006 年, pp. 94-106.
- 5) 副島紀代・目黒公郎:事業継続性の評価に基づく効果的な地震対策の選定手法, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 65 巻 1 号, 2009 年, pp. 629-636.
- 6) 本田航・糸井川栄一・梅本通孝:信頼性解析技法を用いた消防活動時の事故未然防止に関する研究—残火処理を対象に—, 日本火災学会論文集 61(1), 2011 年, pp. 1-10.
- 7) 姥聡実・加藤史郎・中澤祥二・平野健太:地震時の医療施設における機能維持に関する調査研究 (維持管理手法, 建築経済・住宅問題), 学術講演梗概集. F-1, 都市計画, 建築経済・住宅問題 (2007), 2007 年, pp. 1193-1194.
- 8) 消防庁消防庁特殊災害室:石油コンビナートの防災アセスメント指針, 2013 年 3 月.
- 9) 朱牟田善治・当麻純一・石田勝彦:費用便益分析による変電設備の耐震補強計画法, 地震工学研究発表会講演論文集 (24), 1997 年, pp. 1309-1312.
- 10) 村地由子・高橋雄司・浅野美次・中川太郎・谷垣正治:限界耐力計算法を利用した地震リスク分析に基づく既存建物の耐震改修優先順位の検討: その 1. 手法および事例研究の概要 (地震リスク:耐震改修への応用, 構造 I), 学術講演梗概集. B-1, 構造 I, 荷重・信頼性, 応用力学・構造解析, 基礎構造, シェル・立体構造・膜構造 (2007), 2007 年, pp. 79-80.
- 11) Tamura, K. :Development of a practical road disaster management system based on risk management techniques, Journal of JSCE, Vol.1, pp569-582, 2013
- 12) 社団法人土木学会建設マネジメント委員会インフラ PFI 研究小委員会:道路事業におけるリスクマネジメントマニュアル (Ver. 1.0)
- 13) 東北地方整備局道路部:東北地方太平洋沖地震により被災した主な道路関係施設の復旧状況 (平成 23 年 4 月 6 日現在),
http://www.thr.mlit.go.jp/road/jisinkannrenjouhou_110311/fukkyuu/110406_fukkyuu.pdf
- 14) 仙台河川国道事務所:平成 23 年東日本大震災応急復旧状況 (道路), 平成 24 年 10 月 1 日現在,
http://www.thr.mlit.go.jp/sendai/saigai/121001_douro_fukkyuu_jyoukyou.pdf
- 15) 「東日本大震災と道路」パネル展示,
http://www.thr.mlit.go.jp/road/jisinkannrenjouhou_110311/panel/
- 16) 道路震災対策便覧 (震前対策編) 平成 18 年度改訂版, 社団法人日本道路協会
- 17) 庄司学・藤野陽三・阿部雅人:高架道路橋システムにおける地震時損傷配分の最適化の試み, 土木学会論文集 No. 563, I-39, pp79-94, 1997. 4.

- 18) 近藤友成:新潟県中越大震災の道路被害の概要と復旧・復興の取り組み, 北陸地方整備局管内技術研究会, 2005. 9.
- 19) 国土交通省道路局都市・地域整備局:費用便益分析マニュアル,
http://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/bin-ekiH20_11.pdf
- 20) 平成 22 年度道路交通センサス, <http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/>
- 21) 新東名(静岡県)インパクト調整会議:平均交通量の変化,
<http://www.shintomei-shizuoka.net/oneyear/01.pdf>