

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land Infrastructure Management

No.160

March 2004

道路施設に対する地震の防災投資効果に関する研究

日下部毅明・谷屋 秀一・吉澤勇一郎

Study on effects of earthquake disaster prevention investments
for road infrastructures

Takaaki KUSAKABE, Hidekazu TANIYA, Yuichiro YOSHIZAWA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

道路施設に対する地震の防災投資効果に関する研究

日下部毅明*
谷屋 秀一**
吉澤勇一郎***

Study on effects of earthquake disaster prevention investments for road infrastructures

Takaaki KUSAKABE *
Hidekazu TANIYA **
Yuichiro YOSHIZAWA***

概要

本研究は、費用便益分析による道路施設の防災投資効果を評価する手法の提案するために、地震被害による損失評価手法、カタストロフィックリスクについて検討を行った。また、本手法を用いたケーススタディーを実施した。

キーワード：地震防災投資効果、防災計画、地震ハザード、カタストロフィックリスク、耐震設計、費用便益分析

Synopsis

In this note, we discuss method of loss valuation technique to earthquake disaster, and Catastrophe risks, to propose valuation technique with cost benefit analysis of earthquake disaster prevention effect of road infrastructures. With this technique, we carry out case-study.

Key Words : earthquake disaster prevention effect, disaster prevention planning, seismic hazard, catastrophe risks, seismic design, cost benefit analysis

- * 危機管理技術研究センター地震防災研究室長
- ** 同 地震防災研究室 研究官
- *** 政策研究大学院大学 政策研究科 政策専攻 公共政策プログラム

- * Head, Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk Management
- ** Researcher, Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk Management
- *** Public Policy Program, Department of Policy, National Graduate Institute for Policy Studies



目次

第1章 道路施設に対する地震の防災投資効果の評価手法	1
1.1 はじめに	1
1.2 防災投資効果の評価手法の概要	3
1.2.1 総合的・体系的評価の枠組み	3
1.2.2 事業評価の手順	4
第2章 地震動シミュレーション	5
2.1 地震発生モデルの検討	5
2.2 地震動シミュレーション	6
2.2.1 地震動の算出方法	6
2.2.2 震源モデルについて	8
2.2.3 シナリオ地震の選択条件	13
第3章 道路施設の地震損失評価手法の概要	15
3.1 道路施設の地震による損失項目の整理	15
3.2 道路施設の地震による直接損失評価手法	17
3.2.1 道路施設本体の被害額	17
3.2.2 道路施設の損傷に起因する人的被害額	19
3.2.3 道路施設の損傷に起因する物的被害額	21
3.3 道路施設の地震による間接損失評価手法	23
3.3.1 迂回損失を算定する手法の検討	23
3.3.2 迂回による損失	25
3.3.3 消防活動車両の通行障害による被害額	29
3.3.4 救護活動車両の通行障害による被害額	33
3.3.5 その他の間接損失額	34
第4章 カタストロフィックリスク	36
4.1 保険、災害証券市場データによるアプローチ	36
4.1.1 保険市場におけるリスクプレミアム	36
4.1.2 災害証券(Cat Bond)市場におけるリスクプレミアム	37
4.2 まとめ	38
第5章 経済性の評価	40
5.1 総便益の算定	40
5.2 総費用の算定	40
5.3 結果の整理手法	41
5.4 事例解析	41
第6章 結論	49
(巻末付録)	53
・橋梁、盛土の耐震性能に基づいた試設計	53
・単一施設に対する耐震性水準の設定に関する検討	58

第1章 道路施設に対する地震の防災投資効果の評価手法

1.1 はじめに

1995年1月に発生した兵庫県南部地震での直下地震によるこれまでにない強さの地震動、地盤の流動化といった新しい知見に基づき、施設設計の高度化が図られてきた。

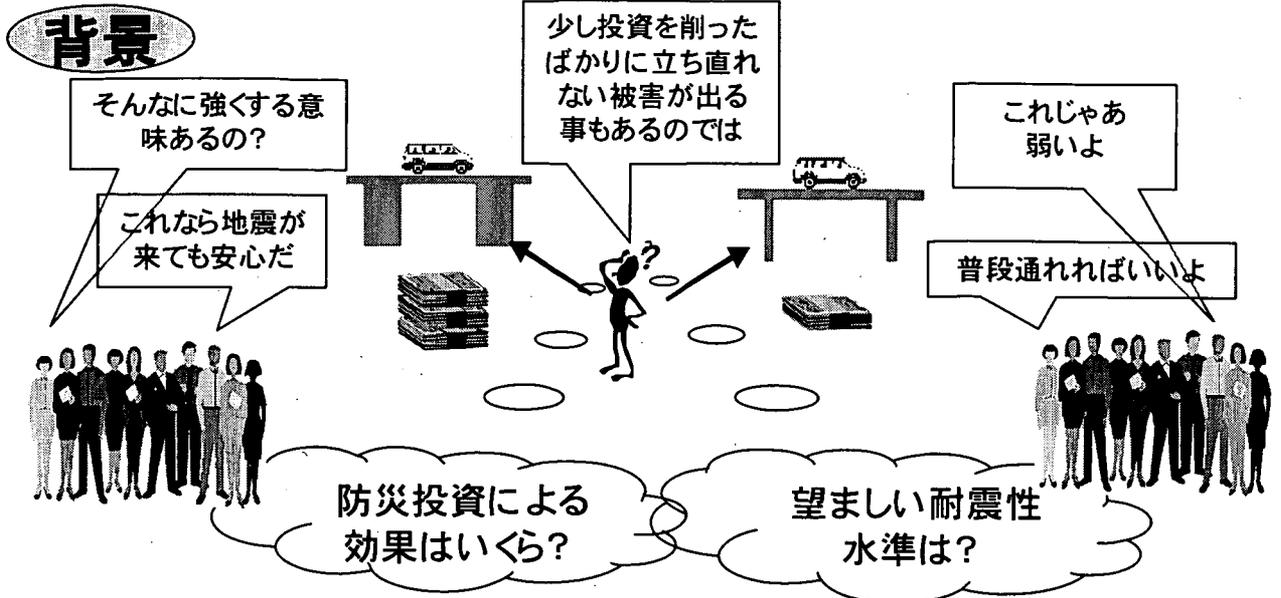
また、この兵庫県南部地震を契機として、施設の耐震性水準、防災投資の考え方そのものにも新たな問題が投げかけられている。たとえば、複数施設間での耐震性水準の整合や施設システムとしての連携、適切な防災投資の規模・あり方について、意見、提言がなされている^{1),2)}。また、防災投資のあり方については、学術分野、特に計画学の分野においても鋭意検討が進められているところであり、防災投資の水準や社会的選択が理論面から検討されている^{3),4)}。

さて、施設等の耐震性能の確保に際しては、それらの耐震性能を向上することにより想定地震に対する被害・損失を最小化するためのリスクマネジメントと、被害が発生した場合を想定してその拡大および影響を抑止するためのクライシスマネジメントの両面からの取り組みが必要である。地震被害をできるだけ軽減するためには、究極的には、その第一原因である施設被害が起こらないように施設を十分強くしておくことである。しかしながら、このようなこと、すなわちリスクをゼロにすることは現実的に極めて困難であり、また合理的でないことは明らかである。また、言うまでもなく、耐震性能を高めるためには多額の費用を要し、今日のように厳しい財政状況下では、防災対策のみに限りなく投資することはできない。限られた予算の中で、数多くの既存施設が必要な耐震性能を確保するように耐震強化する場合、優先付けが必要となるが、このとき判断材料としてのツールが必要となってくる。

ここで、我々の生活の中でも、最もなじみの深い公共土木施設の一つである道路施設に着目してみる。道路においては、それぞれの道路施設の耐震強化とともに、種々の道路施設が組み合わされたネットワーク特性を考慮して、一部区間が被害を受けてもネットワーク全体として機能が大きく低下しないように、耐震対策を合理的に進めていくための計画的なアプローチが必要である。このためには、まずネットワークが有する耐震性能を明確にすることが重要であり、ネットワークとしての耐震性能を定量的な指標で表現するための方法論の構築が必要である。道路のネットワークとしての評価が難しい理由として、様々な構造特性・地震時挙動特性を有する施設から構成され統一的な被害予測^{5),6)}が困難なこと、道路被害による波及的な影響は当該地域や施設利用者の状況に大きく影響を受けること等が挙げられる。地震時の交通状況や経済的損失等の波及過程には未解明な点も多く残されており、災害経験を通じて知見を蓄積するとともに、それらの知見を用いてより説明性が高い指標を用いた方法論の確立が重要と考えられる。

そこで、本研究では、種々の道路施設が組み合わされたネットワーク特性を考慮し、地震時の経済的損失等を含めた、社会経済的視点から見て可能な限り客観的で、科学的な評価手法を提案する。最終的には、耐震補強優先度の決定、施設の防災投資のアカウンタビリティの向上および社会的要請を反映した耐震設計基準の高度化に貢献できることを目的とする。

図1-1に本研究における概念図を示す。



国民の安全への意識も考えた科学的アプローチが必要

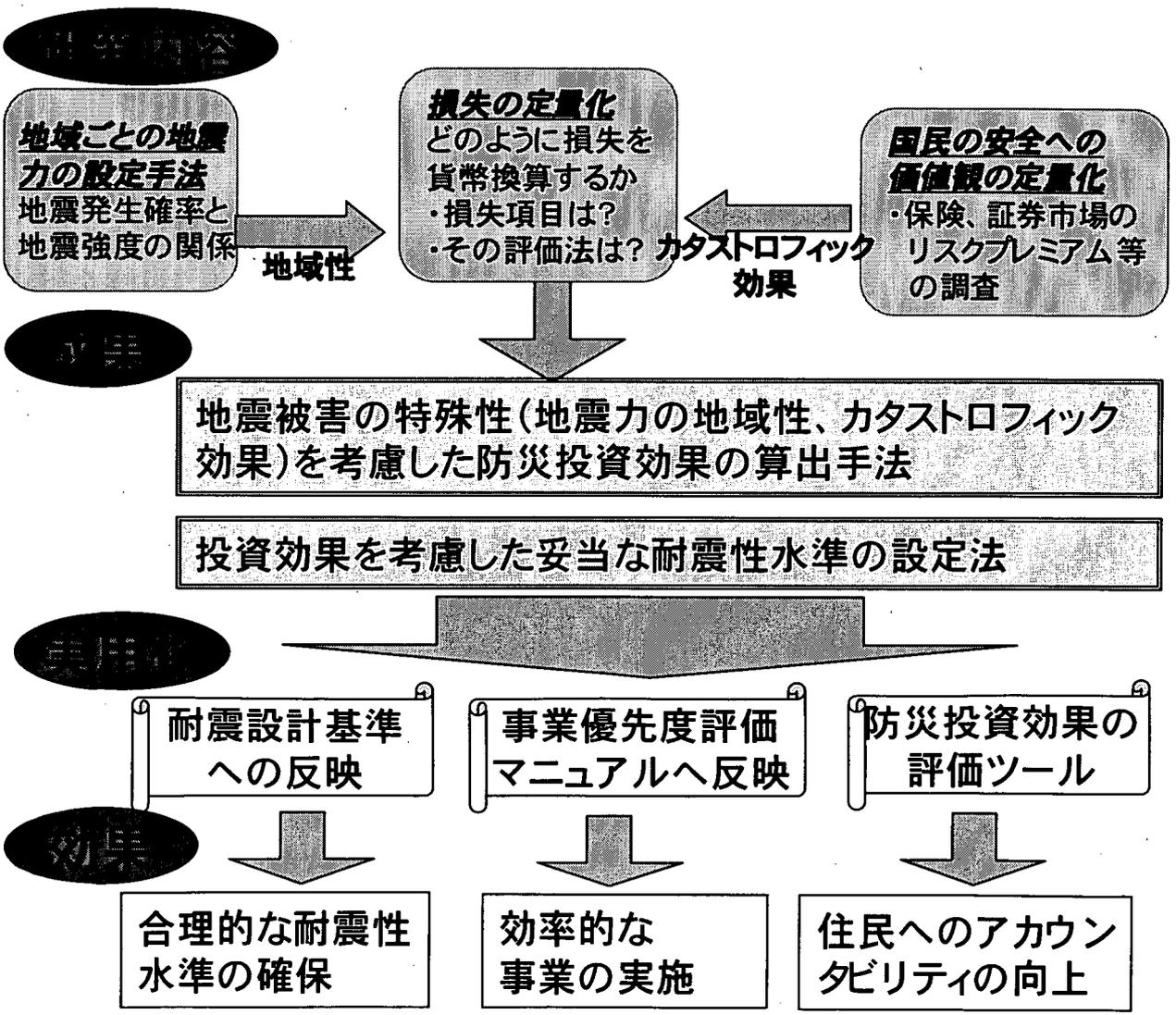


図 1-1 防災投資効果の研究の概念整理図

1.2 防災投資効果の評価手法の概要

1.2.1 総合的・体系的評価の枠組み

道路施設の地震防災事業評価は、事業の必要性、緊急性、経済性などの観点から、総合的・体系的に行われるものであり、その枠組みを図 1-2 に示す。

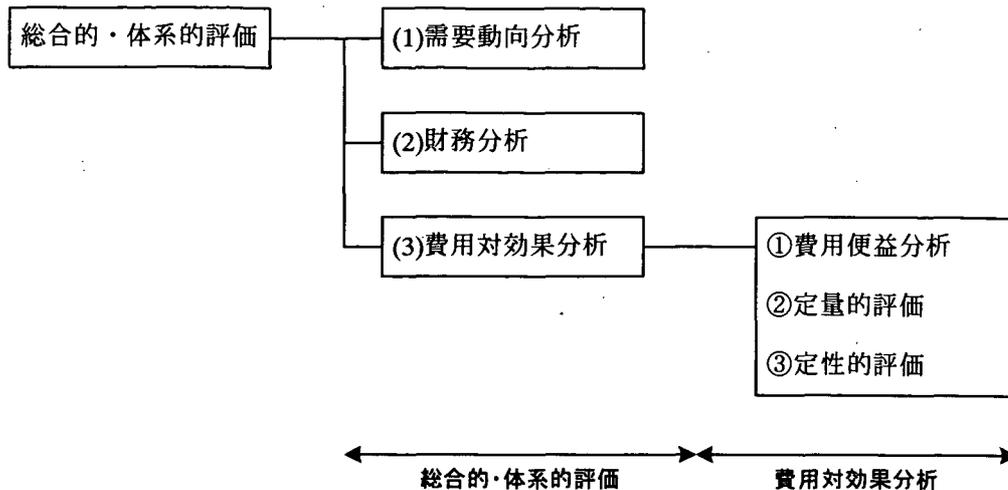


図 1-2 道路防災事業における枠組み

(1) 需要動向分析

道路防災事業における需要動向分析とは、地震災害に対して資産等を防護すること等の防災の需要、道路を保全し、道路機能、道路利用者の安全性・快適性を向上・維持・改善すること等への需要を確認することである。

(2) 財務分析

財務分析とは、事業者にとっての収入と支出を計測し、それを比較することで対策実施の妥当性を検討する一連の分析である。道路防災投資事業では、事業の性質から財務分析による妥当性の評価が適切であるとは必ずしも言い切れない。

(3) 費用対効果分析による評価

事業に必要な建設費、維持管理費・再投資等の費用に対する便益の効果を経済的な効率性という観点から分析し、当該道路防災事業の実施の妥当性を評価するものである。ここで、効果は以下のように分類される。

- ①費用便益分析 : 貨幣価値換算が可能で、費用便益分析の対象となる効果
- ②定量的評価 : 直接的には貨幣価値換算が困難であるが、物理的指標等により定量的に示すことのできる効果
- ③定性的評価 : 定性的に評価を行う効果

そのため、本研究では、費用便益分析による防災投資効果の評価手法の提案を行う。また、便益と費用を以下のとおりとする。

- ・便益：一般利用者の便益とし、防災事業を実施しなかった場合に想定される損失と、事業を実施した場合に想定される損失の差。つまり、事業を実施することによって軽減される損失額とする。

また、損失は、地震被害による何らかの負の影響を貨幣価値換算できるものとしている。

- ・費用：事業を実施する際の建設費および施設の維持費

1.2.2 事業評価の手順

本研究における道路防災事業の費用便益分析の評価手順を以下の図 1-3 に示す。なお、図中の項目の詳細内容については次章以降で示す。

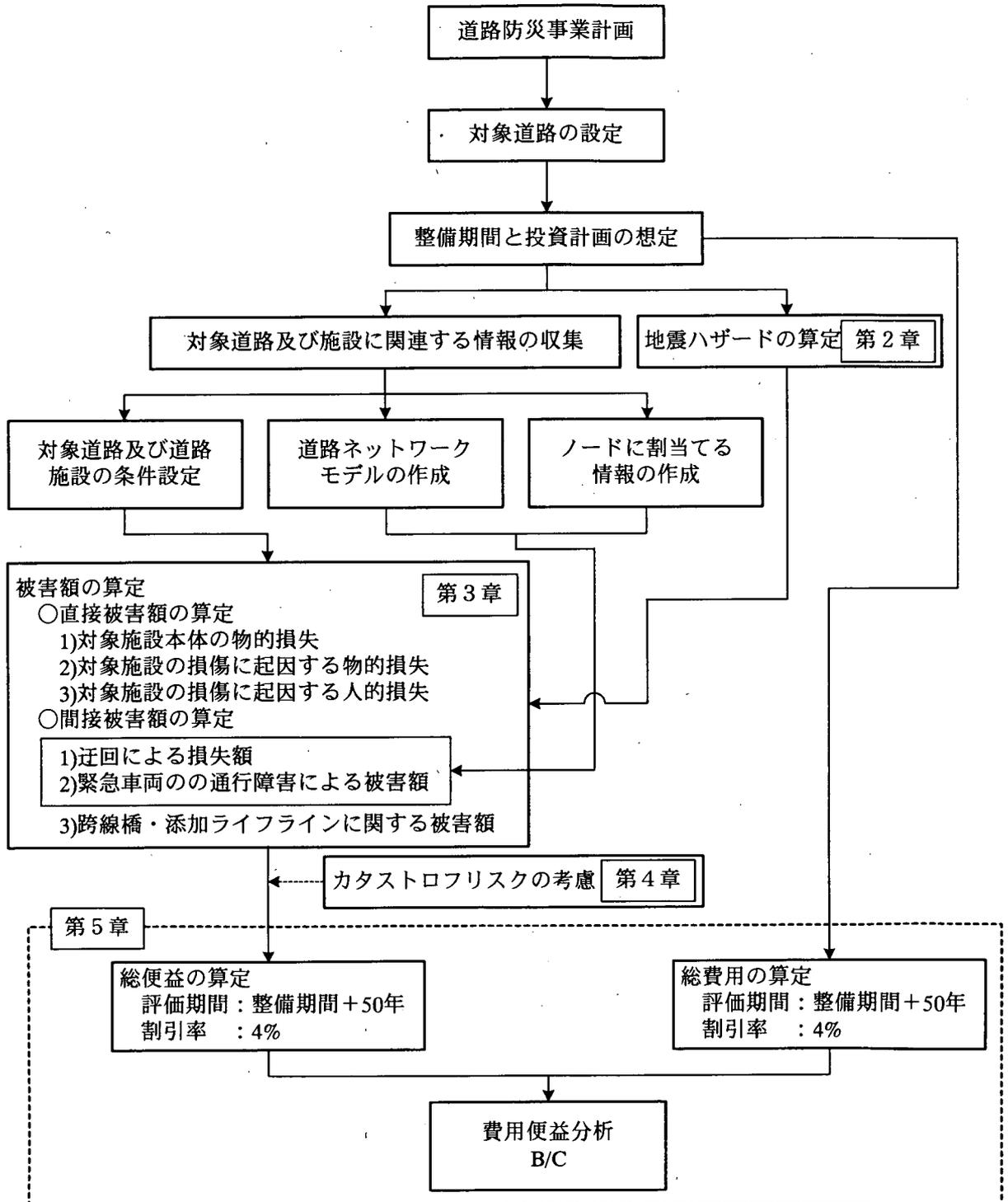


図 1-3 道路防災事業評価の手順

第2章 地震動シミュレーション

地震の発生確率及び地震動は地域により異なる等、道路施設の地震の防災投資効果を評価する上で、適切に地震動のシミュレーションを行うことは重要である。

本章では、地震発生の再現期間の時間依存性及び事業評価期間中における地震の発生回数についての検討を行った結果と、防災投資効果を評価する際の地震動シミュレーション手法について述べる。また、本研究の地震動シミュレーションのモデルは、確率論的な地震ハザードマップの作成手法¹¹⁾を用いた。

2.1 地震発生モデルの検討

本評価手法における最適な地震発生モデルの提案においては、評価手法の精度面及び実務面の両方から以下のことを検討した上で行う。

- ・地震発生の再現期間の時間依存性を考慮するか否かでは、精度面及び実務面の両方において影響度
が変化する。
- ・事業の検討対象期間中において、仮定する地震の発生回数により算定される被害額の意味が異なる。

①地震ハザード

道路施設の地震による損失を評価する際に、対象となる地域の地震動とその発生確率を設定する必要がある。対象となる地域に地震動を設定する方法として、つぎの2つの方法が考えられる。

1) 等リスクマップを用いる方法

評価対象とする地域において、地震ハザード曲線(地震動強さと超過確率の関係)を各道路施設に対して設定する。ここでのハザード曲線は、対象地域において発生する可能性のある地震全てを一つの曲線で表現したものである。道路網の被害を考える時、発生する地震によって道路ネットワークの被害箇所が異なるはずである。しかし、等リスクマップを用いると地震毎の被害箇所の違いを表現できない。また、費用便益分析により防災投資効果を計算する際、各年でハザード曲線が変化するため計算量も評価期間に比例して膨大なものとなる。

2) シナリオ地震を設定する方法

評価対象とする地域一帯に被害をもたらすと予測される地震(シナリオ地震)を抽出し、各地震が対象地域に及ぼす地震動とその発生確率を設定する方法である。シナリオ地震を用いると、地震毎の被害を考慮することができるが、シナリオ地震を抽出する地震動の閾値の設定方法によっては、結果が変化したり、膨大な数のシナリオ地震が抽出されたりすることになる。そのため、適切にシナリオ地震を抽出する基準が必要となる。

道路は単一道路ではなく道路網として健全な場合に初めて機能し、地震時の道路に期待する機能が損傷を受けることによる損失を、個々の道路ではなく道路網としての通行機能を評価することが望ましいという観点から、本研究では、地震毎の被害を考慮できるシナリオ地震を設定する方法がよいと考えられる。

②地震発生の再現期間の時間依存性について

地震発生の再現期間の時間依存性を考慮するか否かを検討する必要がある。時間依存性を考慮しない場合は、地震の発生確率はポアソン過程に従うものとして計算する。ポアソン過程は、地震活動において周期性などの時間に対する依存性が見られないか、あるいはデータ不足のために発生時系列の性質を判断できない場合に適用されることが多く、ポアソン過程を用いる方が手法としては簡便である。しかし、精度面から考えると、ポアソン過程に従った地震発生確率を用いた場合の期待損失額は、時間依存性を考慮した地震発生確率を用いた場合のそれと比べ大きな差が生じてしまう可能性がある。また、地震発生の再現期間の時間依存性を考慮する方が実感にも即している。

以上のことから、地震活動の調査により、プレート境界の沈み込み帯のように短期間で地震が繰り返されていることが確かめられる地域や活断層の再現期間が確認されている地震については、周期性を考慮して時間に依存させた発生確率のモデルを用いることが望ましい。

③事業評価期間中における地震の発生回数の扱いについて

一般に耐用期間が50～100年といわれるような土木構造物では、その期間中に数回の被害地震に遭遇することは十分ありえると思われる。一方、地震被害に着目すれば、供用期間中に被害地震に複数回遭遇する可能性があることは現実的ではないとの考え方⁷⁾もある。つまり、実際には供用期間中に大地震に遭遇すれば、その後、耐震補強などの対策を実施することが多く、少なくとも同程度の地震に再度遭遇したとしても甚大な損失を受けるようなことは考え難い。このことから、事業評価期間中に被害地震に遭遇する可能性は1回と考えることは妥当であると思われる。

以上、地震の防災投資効果の評価手法としては、評価者の現実的な実務面から以下のとおりとした。

- ・地震ハザードとしては、シナリオ地震を用いることとする
- ・地震発生の再現期間の時間依存性は、地震活動において周期性などの時間に対する依存性が見られないか、あるいはデータ不足のために発生時系列の性質を判断できない場合以外は、地震発生には時間依存性を考慮することとする
- ・事業評価期間における地震発生回数の扱いについては、地震による被害は評価期間内において1回であるとの考えに基づくこととし、地震による被害は各年独立に発生し、評価期間内で累積することとする

2.2 地震動シミュレーション

評価対象地域の防災投資効果を評価は、評価対象施設周辺の地域に対して一定の条件を満たすシナリオ地震を抽出し、それぞれの地震について対象施設位置での地震動を算出する。

2.2.1 地震動の算出方法

本研究における地震動の算出のための距離減衰式として、Takahashi et al.らの距離減衰式⁸⁾を用いる。実際の算出に用いた距離減衰式と表2-1を以下に示す。なお、本研究において算出する地震動は、地表面最大化速度、SI値、最大速度であり、不確実性は考慮せず、平均値を算出している。

$$\log_{10} [y_{i,j}(T)] = aM_i b x_{i,j} - \log(x_{i,j} + c10^{dM_i}) + e(h - h_c)\delta_h + S_k + \xi_{i,j} + \eta_i \quad (1)$$

ここで、 y ：地表面最大加速度(cm/s^2)、またはある固有周期における減衰乗数 5% の速度応答スペクトル (cm/s)、 M ：モーメントマグニチュード、 x ：震源距離(km)、 h ：震源深さ、 S ：地盤種別により決定する値(S_H ：I種地盤、 S_M ：II種地盤、 S_S ：III種地盤)、 h_c ：20(定数)、 $\xi_{i,j}$ 、 $\eta_{i,j}$ ：0 (設定する地震動は平均値を用いるため)

表 2-1 距離減衰式の定数

period	a	b	c	d	e	S_H	S_M	S_S
PGA	0.446	0.00350	0.012	0.446	0.00665	0.901	1.003	0.995
0.10	0.428	0.00502	0.025	0.420	0.00760	-0.348	-0.309	-0.341
0.15	0.443	0.00476	0.033	0.399	0.00754	-0.256	-0.175	-0.221
0.20	0.457	0.00424	0.032	0.396	0.00769	-0.262	-0.138	-0.191
0.25	0.453	0.00372	0.036	0.374	0.00560	-0.224	-0.071	-0.106
0.30	0.444	0.00327	0.039	0.358	0.00527	-0.164	0.011	-0.016
0.40	0.460	0.00264	0.040	0.351	0.00408	-0.269	-0.055	-0.054
0.50	0.467	0.00230	0.040	0.342	0.00438	-0.342	-0.095	-0.054
0.60	0.484	0.00203	0.040	0.338	0.00373	-0.459	-0.208	-0.146
0.70	0.493	0.00193	0.040	0.319	0.00303	-0.530	-0.268	-0.203
0.80	0.511	0.00186	0.040	0.315	0.00394	-0.645	-0.396	-0.315
0.90	0.527	0.00169	0.040	0.315	0.00410	-0.754	-0.517	-0.412
1.00	0.542	0.00148	0.040	0.316	0.00398	-0.874	-0.649	-0.523
1.25	0.573	0.00135	0.040	0.295	0.00379	-1.136	-0.927	-0.811
1.50	0.604	0.00139	0.040	0.292	0.00300	-1.359	-1.157	-1.076
2.00	0.636	0.00090	0.040	0.292	0.00160	-1.658	-1.458	-1.398
2.50	0.646	0.00043	0.040	0.307	0.00178	-1.771	-1.619	-1.548

地表面最大化速度の算出にあたっては、二方向ベクトル合成値相当に修正するための補正を行い、式(1)より算出している。

また、SIの算定においては、式(1)で得られるのは減衰乗数 5% の応答速度スペクトルであるため、式(2)を用いて減衰乗数 20% の値に変換し、G.W.Housner の式を用いて算出する。

$$C_D = \frac{1.5}{40h+1} + 0.5 \quad (2)$$

ここで、 C_D ：減衰定数別補正係数、 h ：減衰定数

$$SI = \frac{1}{2.4} \int_{0.1}^{2.5} Sv(T, h = 0.2) dt \quad (3)$$

ここで、 Sv ：速度応答スペクトル、 T ：固有周期、 h ：減衰定数

また、最大速度の算出は、次式⁹⁾の関係式による。

$$A_{max} = 10^{0.908} \times V_{max}^{1.13} \quad (4)$$

2.2.2 震源モデルについて

本研究において考慮した震源モデルはつぎの3種類である。また、各震源モデルによる地震発生確率は、最新の活動時期が特定されている場合には、地震の発生確率が最新の活動じきからの経過時間に依存するものとして地震発生確率を算定することとしている¹⁰⁾。

- ・プレート境界地震
- ・活断層
- ・バックグラウンドゾーン内の地震¹¹⁾

①プレート境界地震

プレート境界の地震として、本研究における地震動シミュレーションに考慮した地震リストと断層の幾何的な条件を表 2-2 に示す。

表 2-2 考慮したプレート境界地震

No.	領域名	マグニチュード	最新活動からの経過年 [year]	活動間隔 [year]	緯度	経度	深さ
1	干勝沖	8.1	51.8	77.4	42.33	145.22	10
2	根室沖	7.7	30.5	77.4	42.94	147.11	1
3	色丹島沖	7.8	34.4	77.4	43.85	148.89	10
4	択捉島沖	8.1	40.2	77.4	45.59	152.97	4
5	三陸沖北部	8	35.6	97	41.71	142.9	10
6	三陸沖南部海溝より	7.7	106.4	104.5	38.89	143.58	10
7	宮城県沖	7.5	25.6	37.1	38.53	142.71	25
8	北海道北西沖	7.8	2100	3900	44.6	140.92	3
9	北海道西方沖	7.5	63.4	1400	43.73	139.53	3
10	北海道南西沖	7.8	10.5	500	41.95	139.3	3
11	青森県西方沖	7.7	20.6	500	41.35	138.9	1
12	秋田県沖	7.5	-	1000	39.2	139.47	3
13	山形県沖	7.7	170.1	1000	38.43	138.9	3
14	新潟県北部沖	7.5	39.5	1000	38.74	139.42	0
15	佐渡島北方沖	7.8	-	500	38.65	138.45	3
16	関東地震	7.9	80.3	220	34.8	140.25	2
17	東海地震	8	149	119	35.24	138.68	2
18	東南海地震	8.1	59.1	86.4	34.3	138.03	10
19	南海地震	8.4	57	90.1	33.13	136.25	10

②活断層

活断層の地震として、本研究における地震動シミュレーションに考慮した活断層は次の2種類である。

- 1) 松田(2001)による起震断層¹²⁾：松田(2001)¹²⁾によって大地震を起こす単位になると考えられた独立する1つの活断層線及び複数の活断層線
- 2) 活断層研究会(1991)に記載された活断層¹³⁾のうち、松田(2001)による起震断層¹²⁾には位置づけられなかった長さ10[km]以上の活断層

なお、ここでは、起震断層に位置づけられていない長さ 10[km]以上の活断層についても、それぞれの活断層が 1 回の地震を起こす単位になるものとした。地震動シミュレーションの計算に考慮した計 320 の起震断層及び活断層の一覧を表 2-3 に示す。起震断層及び活断層の地震規模や活動性に関する情報は、基本的には、それぞれ、松田(2001)及び活断層研究会に基づいている。ただし、起震断層に関しては、最近の活断層調査により、地震調査研究推進本部による評価結果⁸⁾や文部科学省及び地質調査所等による調査情報^{12),14)~22)}が得られている場合には情報の見直しを行った。

表 2-3 考慮した起震断層及び活断層一覧

NewNo.	断層名	断層長さ [km]	マグニ チュード	活動度	平均変位速 度[mm/yr]	平均活動間 隔[yr]	最新活動時 期からの経 過年[yr]
1	羅臼岳断層帯	12	6.6 A		5	190	-
2	標津北断層帯	20	7 B		0.5	3200	-
3	常呂川東岸断層	11	6.6 B		0.5	1700	-
4	斜里東断層帯	14	6.7 A		5	220	-
5	標津岳南断層帯	18	6.9 B		0.5	2900	-
6	網走湖断層帯	15	6.8 B		0.5	2400	-
7	十勝平野東縁断層帯	82	8 -		0.5	13000	-
8	光地園断層	22	7.1 -		0.2	8700	-
9	間寒別断層帯	19	7 B		0.5	3000	-
10	ポンニタシベツ断層	12	6.6 C		0.1	19000	-
11	富良野断層帯	26	7.2 B		0.5	4100	-
12	三ツ石-浦河断層帯	13	6.7 B		0.5	2100	-
13	幌延断層	24	7.1 C		0.05	38000	-
14	増毛山地東縁断層帯	60	7.8 -		-	5000	-
15	当別断層	55	7.7 -		0.16	27000	11000
16	石狩低地東縁断層帯	56	7.7 -		-	2000	3700
17	軽舞断層帯	13	6.7 C		0.05	21000	-
18	黒松内断層帯	24	7.1 -		0.6	3200	-
19	函館平野西縁断層帯	24	7.5 -		-	13000	14000
20	野辺地断層帯	12	6.6 -		0.19	5000	80000
21	青森湾西岸断層帯	15	6.8 -		-	4500	3800
22	津軽山地西縁断層帯	15	6.8 -		0.2	6000	20000
23	折爪断層	50	7.7 -		0.15	26000	33000
24	花輪盆地断層帯	19	7 B		0.5	3000	-
25	岩木山南麓断層帯	12	6.6 B		0.5	1900	-
26	能代断層帯	32	7.3 AB		1	2500	-
27	北上低地西縁断層帯	62	7.8 -		-	16000	4500
28	平石盆地西縁断層帯	20	7 B		0.7	2300	-
29	田沢湖東方断層帯	10	6.5 B		0.5	1600	-
30	横手盆地東縁断層帯	70	7.9 -		-	3500	100
31	剱倉山断層	17	6.9 -		0.2	6800	-
32	北口断層帯	16	6.8 C		0.05	25000	-
33	鳥田目断層帯	44	7.6 B		0.5	7000	-
34	北由利断層	29	7.3 B		1	2300	-
35	横手盆地西南断層	21	7 C		0.05	33000	-
36	釜ヶ台断層帯	10	6.5 B		0.5	1600	-
37	新庄盆地断層帯	23	7 -		-	2000	-
38	象潟東断層帯	13	6.7 AB		1	1000	-
39	庄内平野東縁断層帯	39	7.5 -		-	1500	3000
40	旭山断層	10	6.5 BC		0.1	7900	-
41	山形盆地断層帯	60	7.8 -		-	3000	6000
42	長町-利府線断層帯	40	7.5 -		0.7	3000	-
43	長井盆地西縁断層帯	24	7.1 -		0.8	2400	3100
44	櫛形山脈断層帯	16	7.5 -		-	3000	6600
45	大佐渡西岸断層帯	14	6.7 -		0.1	11000	-
46	双葉断層帯	20	7 -		-	7500	2000
47	三群森断層帯	21	7 B		0.5	3300	-
48	福島盆地西縁断層帯	50	8.1 -		-	3000	3700
49	小樽川断層帯	11	6.6 B		0.5	1700	-
50	川桁山断層	19	7 B		0.5	3000	-
51	会津盆地西縁断層帯	38	7.5 -		-	4000	400
52	沼越峠断層	16	6.8 B		0.5	2500	-
53	月岡断層帯	30	7.3 -		-	7500	6500
54	国中平野南縁断層帯	15	6.8 -		0.2	6000	-
55	悠久山断層帯	15	6.8 -		0.5	2400	-

表 2-3 考慮した起震断層及び活断層一覧

NewNo.	断層名	断層長さ [km]	マグニ チュード	活動度	平均変位速 度[mm/yr]	平均活動間 隔[yr]	最新活動時 期からの経 過年[yr]
56	長岡平野西縁断層帯	26	7.2	A	5	410	-
57	大阪一足沢断層帯	15	6.8	BC	0.1	12000	-
58	二ツ箭断層	11	6.6	B	0.5	1700	-
59	井戸沢断層	18	6.9	C	0.05	29000	-
60	白河西方断層帯	17	6.9	C	0.05	27000	-
61	東京湾北縁断層	-	-	-	-	-	-
62	鴨川低地断層帯	29	7.3	-	-	2300	10000
63	大内-倉村断層	10	6.5	BC	0.1	7900	-
64	関谷断層帯	38	7.5	A	5	600	300
65	檜枝岐西断層	15	6.8	C	0.05	24000	-
66	内ノ籠断層	12	6.6	BC	0.1	9500	-
67	深谷断層	20	7	-	0.4	4000	-
68	平井-樫挽断層帯	20	7	-	0.25	6400	72
69	荒川断層	20	7	-	0.2	7900	-
70	越生断層	13	6.7	C	0.05	21000	-
71	立川断層帯	33	7.3	-	-	10000	20000
72	鶴川断層	58	7.8	C	0.05	92000	-
73	長者舎断層	11	6.6	B	0.5	1700	-
74	伊勢原断層	13	7	-	-	3300	1100
75	玄倉-塩沢断層帯	18	6.9	A	5	290	-
76	東京湾北部断層	16	6.8	-	0.1	13000	-
77	綾瀬川断層帯(北部)	8	6.3	-	0.3	2100	-
78	衣笠・北武断層帯	14	6.7	-	-	1900	1500
79	武山断層帯	11	6.5	-	-	1600	2300
80	神縄-国府津-松田断層帯	25	8	-	-	3000	3000
81	丹那断層帯	30	7.4	-	-	1200	70
82	信濃川断層帯	58	7.8	-	-	800	156
83	戸隠山断層帯	12	6.6	B	0.5	1900	-
84	霧ヶ峰断層帯	20	7	A	5	320	-
85	扇山断層	23	7.1	BC	0.1	18000	-
86	曾根丘陵断層帯	12	6.6	-	0.5	1900	-
87	甲府盆地西縁断層帯	24	7.1	-	1.4	1400	-
88	畑山断層	14	6.7	C	0.05	22000	-
89	達磨山断層帯	16	6.8	B	0.5	2500	-
90	富士川河口断層帯	80	8	-	-	1500	2100
91	上賀茂断層	10	6.5	BC	0.1	7900	-
92	猫又山断層	15	6.8	B	0.5	2400	-
93	黒菱山断層帯	15	6.8	-	0.5	2400	-
94	能都断層帯	18	6.9	-	0.1	14000	-
95	糸魚川-静岡構造線活断層系	150	8	-	-	1000	1241
96	常念岳東断層帯	29	7.3	BC	0.1	23000	-
97	早乙女岳断層	16	6.8	BC	0.1	13000	-
98	牛首断層帯	54	7.7	AB	1	4300	-
99	跡津川断層帯	61	7.8	-	-	2500	140
100	国府断層帯	27	7.2	-	-	3600	4700
101	高山断層帯	48	7.7	-	-	4000	-
102	伊那谷断層帯(境界断層)	49	7.7	-	-	3000	6500
103	伊那谷断層帯(前縁断層)	57	7.8	-	-	4000	28000
104	下伊那東断層帯	27	7.2	B	0.5	4300	-
105	中央構造線赤石山地西縁断層帯	110	8.2	B	0.5	17000	-
106	奈良井断層帯	25	7.2	AB	1	2000	-
107	境峠-神谷断層帯	50	7.7	-	6	660	-
108	清内路断層	43	7.6	-	0.6	5700	-
109	木曾川断層帯	46	7.6	B	0.5	7300	-
110	白果峠断層帯	11	6.6	AB	1	870	-
111	岩橋断層	14	6.7	B	0.5	2200	-
112	阿寺断層帯	68	7.9	-	-	1800	400
113	阿寺西断層群	36	7.4	B	0.5	5700	-
114	赤河断層帯	26	7.2	B	0.5	4100	-
115	屏風山-猿投山断層帯	76	8	B	0.5	12000	-
116	華立断層	10	6.5	B	0.5	1600	-
117	平岡断層	20	7	BC	0.1	16000	-
118	新野断層	14	6.7	BC	0.1	11000	-
119	鈴ヶ沢断層	10	6.5	B	0.5	1600	-
120	笠原断層	17	6.9	BC	0.1	14000	-
121	邑知潟北縁断層帯	18	6.9	B	0.5	2900	-
122	邑知潟南縁断層帯	29	7.3	B	0.5	4600	-
123	高松断層帯	16	6.8	-	0.08	16000	-
124	砺波平野断層帯西部	26	7.2	-	-	5000	6900
125	砺波平野断層帯東部	30	7.3	-	-	3000	4300
126	呉羽山断層帯	22	7.2	-	-	3000	-
127	庄川断層帯	73	7.9	AB	1	5800	1000
128	森本・富樫断層帯	26	7.2	-	-	2000	2000

表 2-3 考慮した起震断層及び活断層一覧

NewNo.	断層名	断層長さ [km]	マグニ チュード	活動度	平均変位速 度[mm/yr]	平均活動間 隔[yr]	最新活動時 期からの経 過年[yr]
191	高塚山断層	13	6.7B	-	0.5	2100	-
192	御所谷断層	25	7.2B	-	0.5	4000	-
193	奈良盆地東縁断層帯	35	7.5-	-	-	5000	11000
194	大和川断層帯	19	7B	-	0.5	3000	-
195	中央構造線断層帯(金剛山地東縁-和泉山脈南縁)	74	8-	-	-	2000	2000
196	羽曳野断層帯	15	6.8B	-	0.5	2400	-
197	和泉北麓断層帯	16	6.8C	-	0.05	25000	-
198	大阪湾断層	14	6.7B	-	0.5	2200	-
199	養父断層帯	35	7.4B	-	0.5	5600	-
200	雨滝-釜戸断層	15	6.8-	-	-	9300	6500
201	鹿野断層	10	6.5C	-	0.05	16000	-
202	岩坪断層	11	6.6BC	-	0.1	8700	-
203	明延北方断層	12	6.6C	-	0.05	19000	-
204	引原断層	10	6.5C	-	0.05	16000	-
205	山崎断層帯	85	8-	-	-	2000	1100
206	那岐山断層帯	31	7.3B	-	0.5	4900	-
207	淡路島中部断層群	18	6.9B	-	0.5	2900	-
208	中央構造線断層帯(紀淡海峡-鳴門海峡)	51	7.7-	-	-	4000	3500
209	中央構造線断層帯(讃岐山脈南縁-石鐘山脈北縁東部)	130	8-	-	-	1000	500
210	徳島平野南縁断層帯	13	6.7-	-	-	1500	1600
211	長尾断層帯	24	7.2-	-	-	30000	1200
212	鮎喰川断層帯	42	7.5C	-	0.05	67000	-
213	安田断層	23	7.1-	-	4	460	-
214	行当断層帯	18	6.9-	-	1.1	1300	-
215	六道断層帯	27	7.2C	-	0.05	43000	-
216	塩之内断層	15	6.8C	-	0.05	24000	-
217	畑ヶ鳴断層帯	24	7.1B	-	0.5	3800	-
218	庄原断層	10	6.5C	-	0.05	16000	-
219	江畑断層帯	23	7.1D	-	0.005	37000	-
220	福山断層帯	10	6.5D	-	0.005	16000	-
221	御調断層	10	6.5C	-	0.05	16000	-
222	綱付森断層	11	6.6B	-	0.5	1700	-
223	中央構造線断層帯(石鐘山脈北縁(岡村断層))	30	8-	-	-	1000	500
224	三次断層帯	10	6.5C	-	0.05	16000	-
225	弥敏山西断層	15	6.8C	-	0.05	24000	-
226	船木断層	25	7.2C	-	0.05	40000	-
227	竹原断層帯	16	6.8C	-	0.05	25000	-
228	上根断層	17	6.9B	-	0.5	2700	-
229	五日市断層	20	7B	-	0.5	3200	1300
230	岩国断層帯	47	7.6B	-	0.5	7500	-
231	高縄山北麓断層帯	16	6.8C	-	0.05	25000	-
232	中央構造線断層帯(石鐘山脈北縁西部-伊予灘)	130	8-	-	-	1000	500
233	宿毛-中村断層帯	26	7.2C	-	0.05	41000	-
234	土佐清水北断層帯	10	6.5C	-	0.05	16000	-
235	波木断層	16	6.8C	-	0.05	25000	-
236	菊川断層帯	44	7.5-	-	0.5	7000	8500
237	小倉東断層	17	6.9-	-	-	8500	2200
238	福知山断層帯	20	7B	-	0.5	3200	-
239	西山断層帯	29	7.3-	-	-	60000	10000
240	響固断層帯	19	7-	-	-	15000	16000
241	別府-万年山断層帯	71	7.9-	-	-	1000	2000
242	佐賀関断層	13	6.7-	-	0.04	26000	-
243	福良木断層	11	6.6C	-	0.05	17000	-
244	水繩断層帯	29	7.2-	-	-	12000	1300
245	雲仙断層帯	51	7.7-	-	2.5	1600	-
246	多々良岳南西麓断層帯	15	6.8C	-	0.05	24000	-
247	緑川断層帯	41	7.5B	-	0.5	6500	-
248	布田川・日奈久断層帯(北東部)	27	7.2-	-	-	11000	1500
249	布田川・日奈久断層帯(中部・南西部)	74	8-	-	0.4	3500	7500
250	国見岳断層帯	13	6.7C	-	0.05	21000	-
251	水俣断層帯	10	6.5-	-	0.08	9900	-
252	出水断層帯	24	7.1-	-	-	5800	6300
253	長島断層帯	11	6.6-	-	0.08	11000	-
254	八代海南部断層帯	24	7.1C	-	0.05	38000	-
255	鹿児島湾東縁断層帯	16	6.8B	-	0.5	2500	-
256	鹿児島湾西縁断層	15	6.8-	-	-	-	-
257	市木断層帯	14	6.7C	-	0.05	22000	-
258	池田湖西断層帯	10	6.5-	-	2.1	380	-
259	種子島北部断層	14	6.7-	-	0.2	5600	-
260	屋久島南岸断層	13	6.7B	-	0.5	2100	-
261	喜界島断層帯	14	6.7-	-	5	220	-
262	沖永良部島断層帯	12	6.6-	-	0.2	4800	-
263	金武湾西岸断層帯	12	6.6B	-	0.5	1900	-

③バックグラウンドゾーン内の地震¹¹⁾

詳細な説明は参考文献²³⁾を参照していただくこととするが、バックグラウンドゾーン内の地震は、年代ごとの精粗や信憑性に留意した過去の地震記録を考慮している。バックグラウンドゾーンの設定方法としては、わが国及びその周辺を、地震の発生特性が類似していると考えられる範囲別にバックグラウンドゾーンとして区切り、各バックグラウンドゾーン内における年平均地震発生回数、マグニチュード別の地震発生頻度及び発生し得る地震の最大マグニチュードは一律であるとしている。バックグラウンドゾーンは、萩原(1991)の地震地帯構造²³⁾に基づき、図 2-1 のように設定している。また、各バックグラウンドゾーン内で発生している地震の最大マグニチュード M_U は、基本的には、萩原(1991)²³⁾に基づき設定し、最小マグニチュードは、全てのバックグラウンドゾーンで M_5 としてある。地震動シミュレーションの計算に考慮したバックグラウンドゾーンでの地震一覧を表 2-4 に示す。また、バックグラウンドゾーン内の年平均地震発生回数とマグニチュード別の地震発生頻度の関係は、Gutenberg-Richter 式による。

本研究の地震動シミュレーションにおけるバックグラウンドゾーン内の地震の計算では、図 2-1 に示すように、緯度・経度 0.5° ピッチのメッシュの中心点を震源位置としている。各メッシュの地震については、メッシュごとに、図 2-2 に示すように分割して代表とするマグニチュードを設定し、対応する発生確率を設定することとする。なお、発生確率はバックグラウンドゾーンとメッシュが重なる面積に応じて算出される。

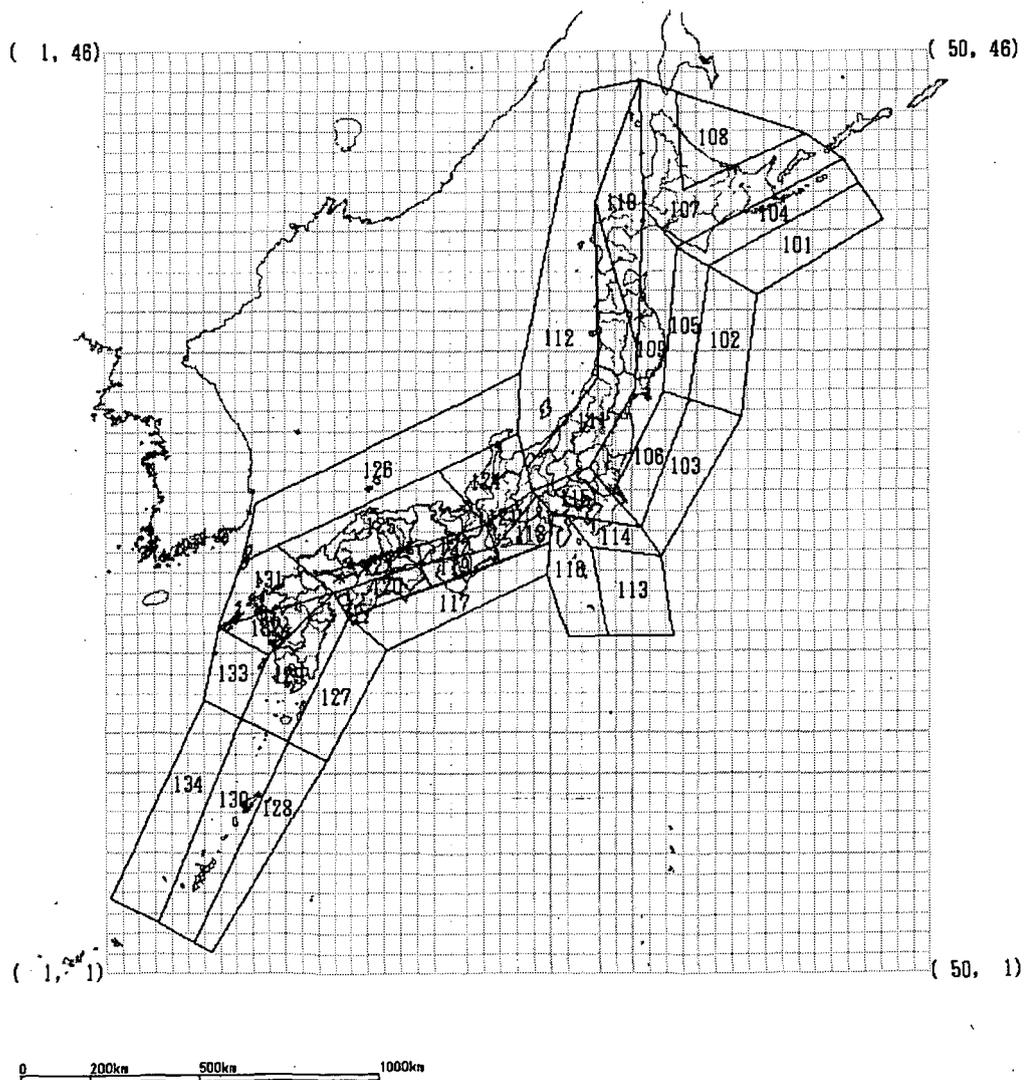


図 2-1 メッシュ分割図

表 2-4 考慮したバックグラウンドゾーンでの地震一覧

ゾーンNo.	最小M	最大M	地震発生率(/year)	震源深さ(km)	ゾーンNo.	最小M	最大M	地震発生率(/year)	震源深さ(km)
101上層	5	8.2	1.29	10	101下層	5	8.2	1.83	50.7
102上層	5	8.5	2.52	10	102下層	5	8.5	1.51	48.6
103上層	5	8	0.773	11	103下層	5	8	1.37	47.9
104上層	5	7.8	0.538	10	104下層	5	7.8	3.44	55.4
105上層	5	8.5	1.6	13.2	105下層	5	8.5	2.56	49.9
106上層	5	8	1.86	10.6	106下層	5	8	3.2	48.1
107上層	5	7.3	0.349	10	107下層	5	7.3	0.668	63
108上層	5	7.3	0.041	10	108下層	5	7.3	0.014	40
109上層	5	7.5	0.512	10	109下層	5	7.5	3.17	61.8
110上層	5	7.3	0.24	10	110下層	5	7.3	0.08	43.8
111上層	5	7.6	0.886	10	111下層	5	7.6	0.034	55
112上層	5	7.5	0.772	10.8	112下層	5	7.5	0.21	46.9
113上層	5	7.4	0.435	10	113下層	5	7.4	1.22	56.3
114上層	5	7.5	0.25	11.9	114下層	5	7.5	0.463	61.8
115上層	5	7.3	0.367	11.8	115下層	5	7.3	2.06	58.4
116上層	5	7.3	1.66	10.5	116下層	5	7.3	0.388	46.7
117上層	5	7.8	0.286	11.9	117下層	5	7.8	0.223	50
118上層	5	7.5	0.341	11.4	118下層	5	7.5	0.128	40.3
119上層	5	7	0.236	10	119下層	5	7	0.225	55.2
120上層	5	7	0.296	10	120下層	5	7	0.259	46.4
121上層	5	7.5	0.035	10	121下層	5	7.5	0.061	40.7
122上層	5	7.8	0.152	10.5	122下層	5	7.8	0.027	52.7
123上層	5	7.8	0.111	10	123下層	5	7.8	0.129	58.7
124上層	5	7.3	0.488	10	124下層	5	7.3	0.036	33.9
125上層	5	7.4	1.13	10	125下層	5	7.4	0.092	39.7
126上層	5	7.3	0.142	19.1	126下層	5	7.3	0.047	45.4
127上層	5	7.8	1.17	10	127下層	5	7.8	1.96	47.1
128上層	5	8	0.401	10	128下層	5	8	1.21	59.5
129上層	5	8	0.532	10	129下層	5	8	0.426	58
130上層	5	8	0.568	10	130下層	5	8	0.55	54.7
131上層	5	7.3	0.123	10	131下層	5	7.3	0	0
132上層	5	7.3	0.416	10	132下層	5	7.3	0.019	30
133上層	5	7.3	0.128	10	133下層	5	7.3	0.076	46.8
134上層	5	7.3	0.192	10	134下層	5	7.3	0.081	69.2

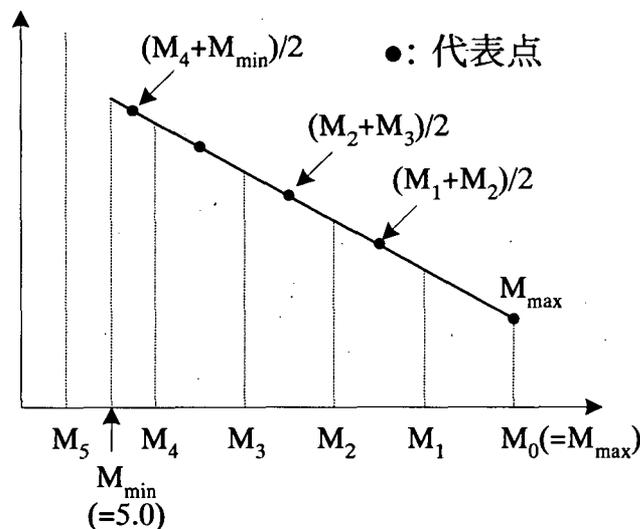


図 2-2 バックグラウンドゾーンでの代表マグニチュードの設定方法

2.2.3 シナリオ地震の選択条件

対象道路が存在する地域に対して被害を与える地震動の最小値を地表面最大加速度 250cm/s^2 とし、施設地点のいずれかで地表面最大加速度 250cm/s^2 以上の地震動が予想されるシナリオ地震を抽出することとする。つまり、対象道路内の道路施設において1箇所でも地表面最大加速度が 250cm/s^2 を超える地震を抽出する。なお、地震による期待損失額の算出は、抽出された全てのシナリオ地震に対して実施するものとする。図 2-3 に取捨選択の例を示す。

- ・シナリオ地震①：すべての道路施設において地表面最大加速度が 250cm/s^2 を超えているため選択の対象となる。
- ・シナリオ地震②：最大でも橋梁の位置で 150cm/s^2 であるため、この地震は選択の対象とはならない。
- ・シナリオ地震③：橋梁及び盛土で地表面最大加速度が 250cm/s^2 を超えていないが、斜面の位置で地表面最大加速度 250cm/s^2 であるため選択の対象となる。

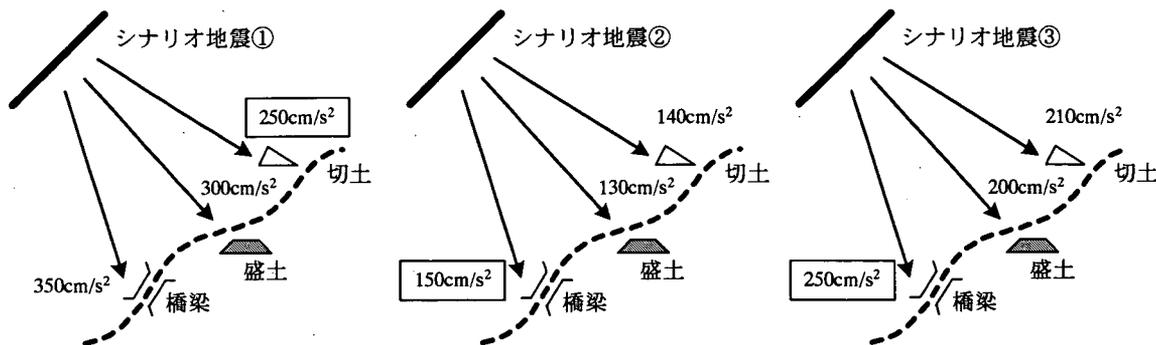


図 2-3 シナリオ地震の取捨選択の概念図

また、抽出された全てのシナリオ地震に対して損失額の計算を実施することを基本とする。しかしながら、対象地域によっては抽出されるバックグラウンドゾーン数が多くなり、計算が煩雑になる可能性がある。そのときは、図 2-4 に示すように、地震をさらにピックアップして計算を行うこととする。

(1)対象地域の中心部が存在するメッシュ内で発生する地震を抽出し計算する。

(2-1)対象地域の周囲 8 つのメッシュが全て同じバックグラウンドゾーンにある場合

→最大規模のものを選択し損失額を計算する。そして、他の 7 箇所のメッシュでも同様の被害額を生じさせる地震が発生すると仮定する。つまり、被害額を 8 倍して計上することとする。

(2-2)対象地域の周囲 8 つのメッシュが複数のバックグラウンドゾーンにまたがる場合

→各バックグラウンドゾーンで最大規模のものを選択し損失額を計算する。そして、同じバックグラウンドゾーン内のメッシュでは、同様の被害額を生じさせる地震が発生すると仮定する。つまり、バックグラウンドゾーン毎に代表値を計算して、(2-1)と同じ方法で計上する。

バックグラウンドゾーン 1	バックグラウンドゾーン 1	バックグラウンドゾーン 1	バックグラウンドゾーン 1	バックグラウンドゾーン 1	バックグラウンドゾーン 1
M7.2	M7.5 最大規模のため、この地震で他の周囲のメッシュ分を代表	M7.0	バックグラウンドゾーン 2	バックグラウンドゾーン 1	バックグラウンドゾーン 1
バックグラウンドゾーン 1	対象地域の中心があるメッシュ	バックグラウンドゾーン 1	バックグラウンドゾーン 2	対象地域の中心があるメッシュ	バックグラウンドゾーン 1
M6.8	このメッシュの地震を計算本文の(1)	M7.0	M6.8	このメッシュの地震を計算本文の(1)	M7.0
バックグラウンドゾーン 1	バックグラウンドゾーン 1	バックグラウンドゾーン 1	バックグラウンドゾーン 2	バックグラウンドゾーン 2	バックグラウンドゾーン 1
M6.8	M7.0	M6.8	M6.8	M7.0 最大規模のため、この地震で同じゾーンのメッシュを代表	M6.8

図 2-4 バックグラウンドゾーンの計算方法[左：(2-1),右：(2-2)のケース]

第3章 道路施設の地震損失評価手法の概要

道路施設に対する地震の防災投資効果の評価手法としては費用便益分析を用い、その便益は防災投資を行うことによる損失額の軽減額となる。そのため、地震発生に伴う道路施設の被害によって損失がどれだけ発生するかを適切に評価することは、費用便益分析を用いた防災投資効果の評価する上で重要となる。

本章では、過年度の研究を基に道路施設の地震による損失項目の整理とその評価手法についてまとめた。また、章でまとめた地震損失評価手法を用いて実施したケーススタディ結果を第5章に示した。

3.1 道路施設の地震による損失項目の整理

道路施設の地震被害を起因とする損失項目として、図3-1に示すように、地震直後に発生する道路施設の被害が直接原因となる直接損失と、道路施設が有していた機能の低下が波及することにより生じる損失等の間接損失に大別し、抽出を行った。また、各項目について評価の難易度、損失の大きさ、貨幣価値化の可否から、道路施設に対する地震の防災対策の投資効果を計測する上で考慮すべきか否かについて検討を行い、表3-1としてまとめた。

道路施設の損失

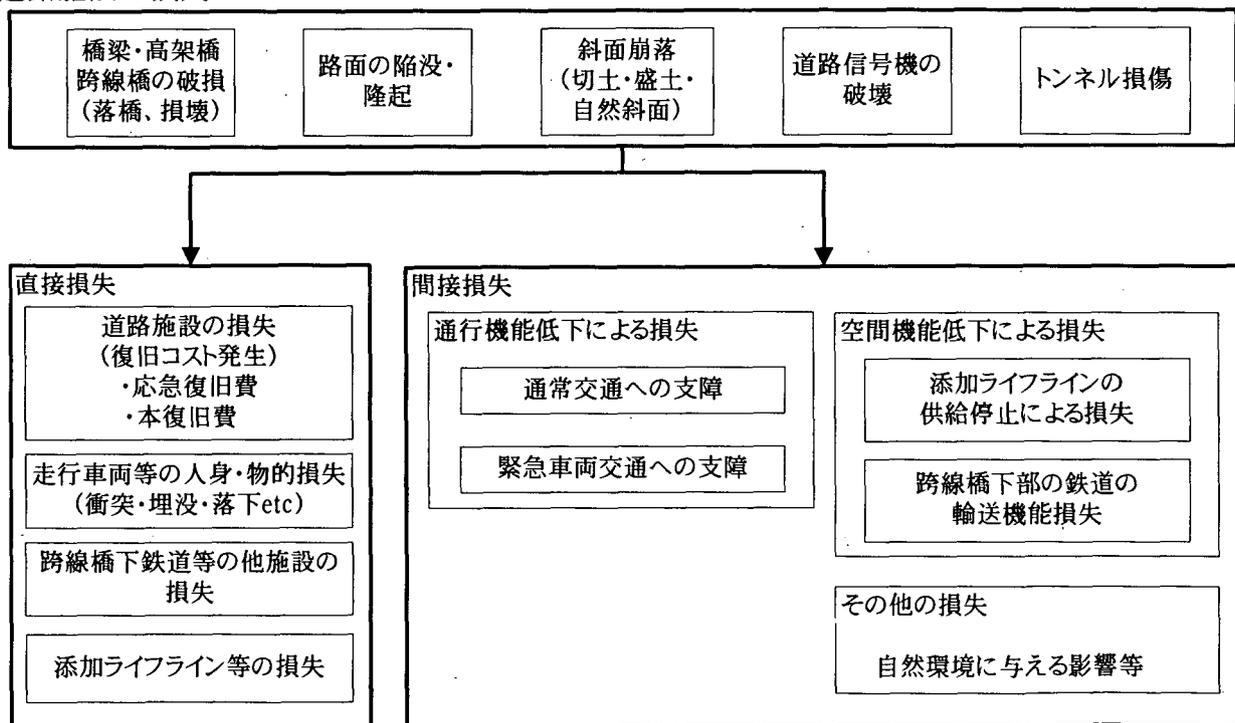


図3-1 道路施設の地震被害を起因とする損失

表 3-1 道路施設に対する地震の損失項目の整理表

損失項目	被害種類評価の難易度	被害額の大きさ	防災投資効果としての考慮	防災投資効果としての考慮理由	
直接損失	道路施設本体の物的損失	中	○	橋梁、斜面、盛土、トンネル等が損傷することによる生じる被害額であり、必ず評価すべき項目	
	道路施設の損傷に起因する物的損失	跨線橋下部の鉄道施設	大	△	地震動の大きさに応じた被災状況、被害額の設定が難しいものの、これらの設定が可能であれば評価する項目
		添架ライフラインの損失	小	△	添架位置、地震動の大きさに応じた被災状況、被害額の設定が難しいものの、これらの設定が可能であれば評価する項目
	道路施設の損傷に起因する人的損失	大	○	道路利用者が道路施設の損傷により死傷した場合の被害額であり、人命の貨幣価値化が難しいものの、重要であるため、必ず評価すべき項目	
	通常交通の通行障害	迂回	大	○	道路利用者の平常時と地震時の移動に關わる費用の差であり、必ず評価すべき項目
		交通の取り止め	大 (但し、地域による)	×	道路利用者が地震後に道路を利用することを止めたことによる損失であるが、買い物先の変更など道路利用者の交通需要の変化を計測することは一般的には困難であるため評価しない項目
		公共サービスの低下	小	×	通常の道路投資の効果計測においても計測が困難、また、地震後の公共サービスの低下は、ある程度受容され、損失は小さいと考えられるため評価しない項目
		交通事故の増加	小	×	通常の道路投資の効果計測では評価されているが、地震後の道路施設の被害を原因とした交通事項の増加の評価は難しいこと、また、その損失の大きさは小さいと考えられるため評価しない項目
		住民生活の快適性の減少	小	×	通常の道路投資の効果計測においても計測が困難な項目であり、また、地震後の住民生活の快適性の減少は、ある程度受容され、損失は小さいと考えられるため、評価しない項目
		消防活動車両	大	○	道路施設の損傷により、消防隊が消火可能時間以内に到達できない地域の焼失被害を貨幣価値化したものであり、必ず評価すべき項目
緊急車両の通行障害	救護輸送車両	大	○	道路施設の損傷により、搬送車が救護可能時間以内に病院に到達できない地域の焼失被害を貨幣価値化したものであり、必ず評価すべき項目	
	復旧工事車両	大	×	復旧工事の内容が公民館、体育館、ライフラインなど対象施設により異なり、一貫性のある評価が適用し難いため、評価しない項目	
	緊急物資輸送車両	小	×	時間価値原単位、走行経費原単位の客観的な設定が困難、CVM等により支払い意思額を求める必要がある、通常は、時間さえかければ物資の輸送は可能であり、評価しない項目	
	避難支障	小	×	時間価値原単位、走行経費原単位の客観的な設定が困難であるため、CVM等により支払い意思額を求める必要がある、但し、通常は、時間さえかければ避難は可能であり、その損失は一般的には小さいため評価しない項目	
	情報伝達 (被災状況、安否)支障	小	×	地震後の安否確認、状況把握が出来ないことは精神的な損失となるものの、定量化が困難であるため、評価しない項目	
	跨線橋下部の鉄道機能停止	大	△	跨線橋の落橋により、跨線橋下部の鉄道の運転が停止し、鉄道利用者や鉄道事業者に発生する被害額である。鉄道の利用者数等のデータを入手することは容易ではないため、可能であれば評価すべき項目	
	添架ライフラインの供給停止	大	△	添架ライフラインの配管、配線等が破断されることにより、ライフライン利用者や事業者が被る被害額である。水道幹線網等のデータの管理が入手するのは容易ではないため、可能であれば評価すべき項目	
その他	小	×	通常の道路投資の効果計測においては、大気汚染、騒音、及び地球温暖化への影響を評価しているが、地震後の道路施設の被害との因果関係の評価が困難であること、また、道路施設の復旧期間の自然環境が悪化する影響は比較的小さいと考えられることから評価しない項目		

○:必ず考慮, △:必要に応じて考慮, ×:考慮しない

3.2 道路施設の地震による直接損失評価手法

直接被害額では、道路施設本体の被害額、道路施設の損傷に起因する被害額、道路施設の損傷に起因する人的被害額を考慮する。

3.2.1 道路施設本体の被害額

道路施設そのものが損傷することにより生じる被害額であり、施設の復旧に要する費用がこれにあたる。道路施設の構成要素としては、被害の算定や被害の設定が可能と思われる橋梁、高架橋、跨線橋、盛土、トンネル、斜面を対象とする。被害額の算定方法は、対象施設の位置における地表面地震動強さから決まる損傷度に応じて、損失額を算出する。

①橋梁、高架橋、跨線橋

橋梁・高架橋・跨線橋の被害額は、地震動強さに応じた損傷度毎の被害額(撤去・再構築費、補修・耐震補強費、設計費を含む)より評価する。図 3-2 に地震動強さと損傷度の関係を、表 3-2 に損傷度別の被害額を示す。なお、図 3-2 は RC 橋脚の被害関数に関する調査²⁴⁾を参照の上、設定した。設定方法及び再調達価格の対象とした橋梁については、巻末付録を参照されたい。

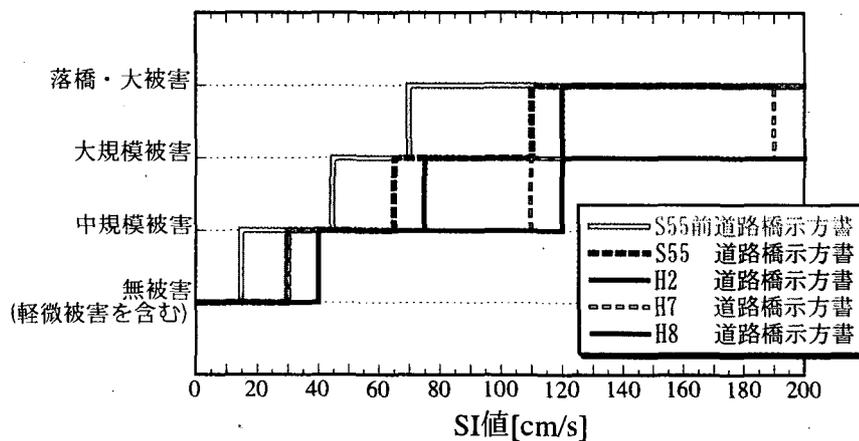


図 3-2 地震動強さと被災レベル

表 3-2 損傷度別の再調達価格(被害額)

損傷状態	再調達価格 (/1000m ²)	S55 以前・S55 年 適用示方書の橋梁	H2, H7, H8 年適用示方書の橋梁
落橋	810, 000, 000	H14 年道路橋示方書適用の橋梁に再構築	
大被害	336, 000, 000	H14 路橋示方書適用の橋梁に再構築 (上部工は補修, 下部工は再構築) ※橋脚がない橋は落橋しないと考え、大被害になると仮定する	
大規模被害	52, 000, 000	補修と耐震補強を実施	補修のみ実施
中規模被害	42, 000, 000		
被害なし(軽微損傷)	-	-	-

※なお、橋梁の再構築は、道路橋示方書の B 種橋相当のものとする。(巻末付録の耐震性水準Ⅲの橋に相当)

②盛土

盛土の被害額は、各耐震性水準における再調達価格に地震動強さ毎の被害率を乗じることにより評価するものとする。

$$\text{被害額} = \text{再調達価格} \times \text{地震動強さに応じた被害率}$$

盛土の耐震性水準別の損傷度及び被害率を表 3-3 に、再調達価格を表 3-4 に示す。また、盛土の試設計については、巻末付録を参照されたい。

表 3-3 地震動強さと損傷度及び被害率の関係

地震動レベル 耐震性水準	100gal	250gal	500gal	700gal	900gal	1100gal
耐震性水準Ⅰ	健全 0.0	軽微な損傷 0.05	大規模損傷 0.34	崩壊 1.36	崩壊 1.36	崩壊 1.36
耐震性水準Ⅱ	健全 0.0	軽微な損傷 0.045	中規模損傷 0.125	大規模損傷 0.29	崩壊 1.17	崩壊 1.17
耐震性水準Ⅲ	健全 0.0	軽微な損傷 0.04	軽微な損傷 0.04	中規模損傷 0.112	大規模損傷 0.26	崩壊 1.04
耐震性水準Ⅳ	健全 0.0	健全 0.0	健全 0.0	健全 0.0	軽微な損傷 0.005	軽微な損傷 0.005

ここで、耐震性水準Ⅰは「L1地震動に対して健全」、Ⅱは「L2地震動に対して致命的な損傷防止」、Ⅲは「L2地震動に対し限定的な損傷にとどめる」、Ⅳは「L2地震動に対して健全」となるように設計されていることを意味している。

表 3-4 耐震性水準別の再調達価格(被害額)

耐震性水準	10,000m ³ (長さ100m,幅員10m,高さ10m) 当たりの再調達価格 (千円)
耐震性水準Ⅰ	64,000
耐震性水準Ⅱ	75,000
耐震性水準Ⅲ	83,000
耐震性水準Ⅳ	648,000

③切土・斜面の被害

切土・斜面の被害額は、切土・斜面の崩壊土量に応じて、各耐震性水準の損傷度を基に評価するものとする。

$$\text{被害額} = \text{切土・斜面の崩壊土量に応じた復旧費} \times \text{地震動強さに応じた被害率}$$

切土・斜面の耐震性水準別の損傷度及び被害率を表 3-5 に示す²⁵⁾。

表 3-5 地震動強さと損傷度及び被害率の関係

地震動レベル 耐震性水準	100gal	250gal	500gal	700gal	900gal	1100gal
耐震性水準Ⅰ	健全 0.00	軽微な損傷 0.07	大規模損傷 0.45	崩壊 0.70	崩壊 0.85	崩壊 0.92
耐震性水準Ⅱ	健全 0.00	軽微な損傷 0.04	中規模損傷 0.26	崩壊 0.50	崩壊 0.68	崩壊 0.76
耐震性水準Ⅲ	健全 0.00	軽微な損傷 0.04	軽微な損傷 0.14	中規模損傷 0.30	大規模損傷 0.44	崩壊 0.54

切土・斜面の崩壊土量に応じた復旧費

切土・盛土の復旧費に関しては、以下の式により算出する。

$$C = (9.6246 \times V + 1361.1) \times 1000$$

ここで、

C: 切土・斜面の復旧費 (円)

V: 崩壊土量 (m³)

④トンネルの被害

地震によるトンネル被害は一般的に軽微であることから、物的損失額の評価を省略する。

3.2.2 道路施設の損傷に起因する人的被害額

人的被害とは、道路利用者が道路施設の地震被害により死傷することによる被害額である。人的被害については逸失便益を評価するホフマン法等により一応の算定は可能であるが、地震災害の発生時刻、季節等の自然的要因や交通渋滞等の社会的要因に左右されるため、その推計は一般的に困難である。このため現段階では、一定の仮定にもとづいて、対象施設利用者の人的な被害額の評価を行う。

対象施設の損傷に起因する人的被害額は次式により算出するものとする。

$$\text{人的被害額} = \text{対象施設の利用者数} \times \text{対象施設の損傷状態に応じた被災者率} \times \text{被災状況別の金銭的対価}$$

①施設利用者の被災状況別の金銭的対価

対象施設利用者について被災状況別に金銭的対価に関しては、表 3-6 を用いる。

表 3-6 死傷者 1 人当たりの人的・物的損失

種別	人身損失の内容 [千円]			
	人的 損失額	物的 損失額	事業主体 損失額	合計額
軽傷	644	392	57	1,093
重傷	9,374	392	242	10,008
死亡	31,533	392	1,046	32,971

また、国土交通省による公共事業評価システム研究会事業評価手法検討部会では、災害・事故による死亡時の逸失利益の算定としてライブニッツ法を用いることを推奨している。ライブニッツ法による試算例を以下に示す。

30 歳の場合 年収 (生活費を除く) : 3,000 千円 就労可能年数 : 37 年

ライブニッツ係数 : 16.711

逸失利益 = 50,133.9 千円

②対象施設の利用者数

地震時によって対象施設が被災する瞬間を1分間と仮定し、以下の評価式から地震発生時の対象施設利用者数を推定する。交通量を算出は道路交通センサスを用い、また、車種別の平均乗車人数は表3-7を用いる。

- ・バス乗車人数=R1台/日/24時間/60分×(0.06L/V)×15人
- ・乗用車乗車人数=R2台/日/24時間/60分×(0.06L/V)×2人
- ・小型貨物乗車人数=R3台/日/24時間/60分×(0.06L/V)×1人
- ・普通貨物乗車人数=R4台/日/24時間/60分×(0.06L/V)×2人

ここで、R1、R2、R3、R4はそれぞれバス、乗用車、小型貨物車、普通貨物車の24時間通行台数。また、Lは対象施設の長さ(m)、Vは移動速度(km/h)

表3-7 車種別の平均乗車人数

車種	乗車人数(人)	備考(使用する交通量種別)
バス	15	24時間交通量
乗用車	2	24時間交通量
小型貨物	1	24時間交通量
普通貨物	1	24時間交通量

②対象施設の損傷状態に応じた被災者率

対象施設の損傷度別の被災者数は、各対象施設の利用者人数に表3-8の被災数割合を乗じて算出する。

表3-8 対象施設の損傷状態別の被災率

施設名	施設損傷状態	被災者の状況	被災数割合	施設名	施設損傷状態	被災者の状況	被災数割合
橋梁・高架橋・跨道橋	落橋	死亡	0.6	盛土・斜面	崩壊	死亡	0.2
		残後遺症	0.6			残後遺症	0.2
		完治障害	6			完治障害	1.2
	大被害	死亡	0.06		大被害	死亡	0.02
		残後遺症	0.06			残後遺症	0.02
		完治障害	0.6			完治障害	0.12
	大規模損傷	死亡	0.03		大規模損傷	死亡	0.01
		残後遺症	0.0			残後遺症	0.01
		完治障害	0.3			完治障害	0.06
	中規模損傷	死亡	0.015		中規模損傷	死亡	0.005
		残後遺症	0.015			残後遺症	0.005
		完治障害	0.15			完治障害	0.03
軽微な損傷	死亡	0.0075	軽微な損傷	死亡	0.0025		
	残後遺症	0.0075		残後遺症	0.0025		
	完治障害	0.075		完治障害	0.015		

3.2.3 道路施設の損傷に起因する物的被害額

道路施設の損傷に起因する被害額としては、表 3-9 に示すようにライフラインの添架配管、鉄道車両、切土・斜面防護工などの被害額を検討する。算定方法は、評価対象物の数量にそれぞれの再調達価格を乗じて算定することを基本とする。

表 3-9 対象施設ごとの評価対象物

施設	評価対象物	
	項目	被害状態
橋梁	・添架配管（都市ガス、上水道、通信）	落橋
跨道橋	・鉄道車両	落橋
盛土	・カルバート	崩壊
切土・斜面	・防護工	工種により異なる (後述の表 4-10 を参照)

①添架配管（都市ガス、上水道、通信）

配管の再調達価格の概算額の算出にあたっては表 3-10 を用いても良い。

表 3-10 配管の再調達価格

		再調達価格(千円/配管長 100m)
溶接鋼管	φ 100	1,000
溶接鋼管	φ 200	1,800

②鉄道車両

a) 鉄道車両の人的被害額

落橋時に被災する鉄道編成数を算出した後、被災する人数を推定し、人的被害額を算定する。

$$\begin{aligned} \text{被災人数} &= \text{被災鉄道編成数} \times \text{平均乗車人数} \\ \text{鉄道車両の被害額} &= \text{被災人数} \times (0.005 \times \text{死亡金銭対価} + \\ &\quad 0.005 \times \text{残後遺症金銭対価} + 0.05 \times \text{完治傷害金銭対価}) \end{aligned}$$

なお、被災率は大阪府の被害想定を参照

b) 被災鉄道編成数

地震時によって跨線橋が落橋する瞬間に巻き込まれる鉄道編成数を以下の評価式から推定し被害額を算定する。

$$\text{鉄道編成数} = 1 \text{ 日当りの橋下の通過編成数 (編成/日)} \div 24 \text{ (時間)} \div 60 \text{ (分)} \times L/V$$

ここで、L: 跨線橋の幅員(m)

V: 列車の平均速度 (m/分)

c) 鉄道車両の被害額

落橋時に巻き込まれる鉄道編成数から、下式で算定する。

$$\text{鉄道車両の物的損失額} = \text{鉄道編成数} \times 1 \text{ 編成の車両数} \times \text{車両価格}$$

③ 切土・斜面の防護工

斜面崩壊が発生した場合の被害額として、防護網、防護フェンス、洞門等の施設の物的被害額がある。

これらの被害は、設計で想定した以上の土量の崩壊があった場合に発生するとし、その再調達価格は施設建設時の工事費から設定するものとする。防護工の再調達価格の算出にあたっては表 3-11 を用いても良い。

表 3-11 斜面防護工の再調達価格

工種	仕様	単位	再調達価格 (千円)	対応可能土砂量 (m ³)
落石防止柵	H=2m	m	100	2
現場のり枠	F300~ 400	m ²	35	0
ロックアンカー	L=7m	本	700	0
落石防護網		m ²	15	2
重力式擁壁	H=2m	m	200	10
洞門	門型	m	2000	10

3.3 道路施設の地震による間接損失評価手法

間接被害額としては、迂回による被害額、消防活動車両の通行障害による被害額、救護通行車両の通行障害による被害額、鉄道運行停止による被害額、ライフライン供給停止にともなう被害額が考えられる。

3.3.1 迂回損失を算定する手法の検討

迂回損失を算定するための方法を体系的にまとめたものを図 3-3 に示す。

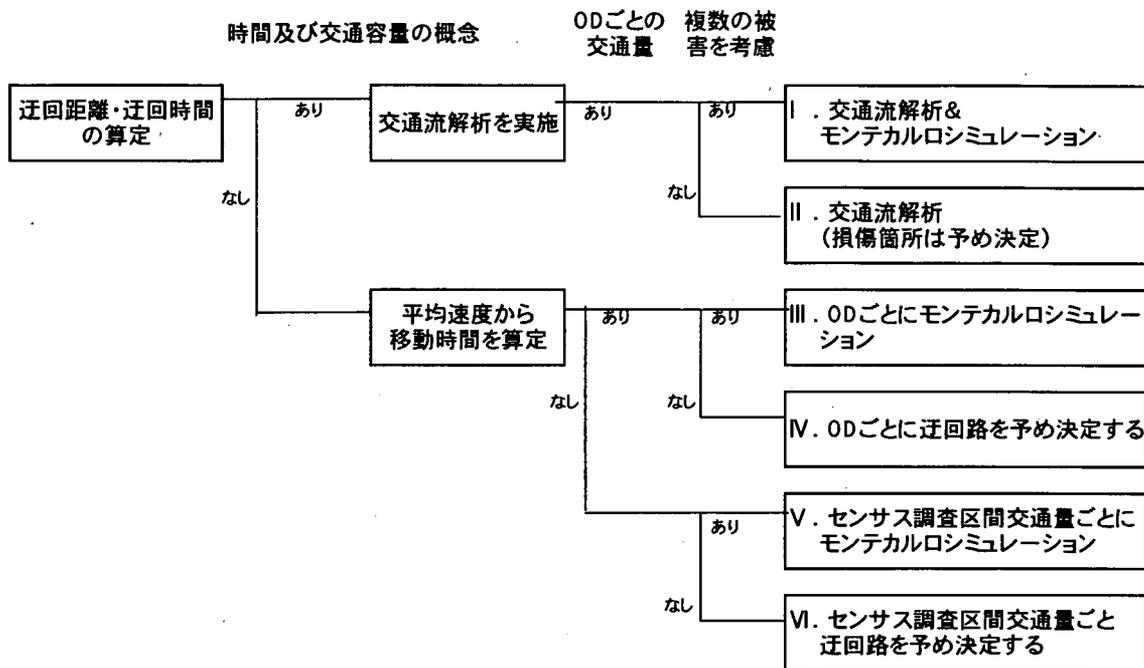


図 3-3 迂回損失の算定手法の体系的整理

また、表 3-12 に図 3-3 に整理したそれぞれの方法の概要と、各手法の長所および短所をまとめる。表より、方法Vができるだけ精度を落とさずに、かつ実務的な観点から考えると、これらの手法の中では、方法Vを用いることが最も望ましいと考えられる。しかしながら、表にも記したように、方法Vでは、容易に入手できる道路交通センサスの区間ごとの交通量を用いる。これは、路線を数 km の調査区間に分割し、調査区間ごとの代表的な地点の断面交通量が調査したものである。つまり、ある調査区間の交通量には、さまざまな起点・終点を持つ交通量が含まれるが、これを全て、調査区間の両端を起点・終点とする交通量と仮定して用いることになる。この仮定は、被災地域を大きく迂回する交通（例えば、平常時は神戸市を通過していた交通が、地震後、山陽自動車等を利用する大きな迂回路を選択する場合）に対しては、正しく迂回損失を算定できないため、このような交通の影響が大きい都市間道路では注意が必要であるが、迂回損失を概ね算定することができる。

3.3.2 では、方法Vを用いて迂回損失を算定する具体的な手法について説明する。

表 3-12 迂回損失評価手法の概要一覧

方法	総合評価	必要データ	解析手順	交通流解析	モンテカルロシミュレーション	評価手法の概要
方法I	×	全交通需要に対するOD別、車両別交通量 (データの入手は困難)	著しく多い	有	有	この方法では、交通流解析とモンテカルロシミュレーションを行う。道路ネットワークに対しては、交通流解析では、緊急活動等の地震時特有の目的交通も含めた発生集中交通量、分布交通量、配分交通量を順次求める。これを、複数の被害を種々に組み合わせたモンテカルロシミュレーションを十分な回数行い、目的別、OD別、車種別の移動距離、移動時間の期待値を求める。この方法では、地震後の生成交通量の予測、リンクごとの被災程度に応じた容量の低下等の設定(QV条件の補正等)が課題となる。
方法II	×		多い	有	無	この方法は、方法Iの方法においてモンテカルロシミュレーションを行わないだけである。
方法III	△	一般交通に対するOD別、車種別交通量 (一般にデータの入手は困難)	普通	無	有	この方法は道路網の連結性のみ着目し、着目する道路施設の被害による平均移動距離をモンテカルロシミュレーションにより求める。この方法では移動距離の増加量を、地域の平均的な走行速度で除して迂回時間を推定することになる。
方法IV	×		手計算で可	無	無	この方法は、ODごとに起点から終点までの最短経路を探索し、この経路に着目する道路施設の被害により変化するODが迂回損失を被るODとなる。最短経路が変化しなかったODには、損失は生じない。
方法V	○	センサス調査区間の車種別交通量 (データ入手は比較的容易)	普通	無	有	この方法は基本的に、方法IIIと同じである。相違点は、さまざまな起点・終点を持つ交通量を、全て着目する道路施設が含まれるセンサスの調査区間の両端を起点・終点とする交通量と仮定して用いている点である
方法VI	×		手計算で可	無	無	この方法は、着目施設の含まれるセンサス調査区間交通量が、直近の迂回路を通過と仮定して、迂回距離の増分を求め、更に、地域の平均走行速度を用いて迂回時間を算定する。様々な迂回路があるところを、便宜的に着目区間の直近の区間を選定していること、着目区間までの区間の通行不能確率を考慮していないこととから、迂回路の通行不能確率は考慮しない

交通流解析	長所	短所
モンテカルロシミュレーション	・車線規制、速度規制等、通行止め以外の交通容量の減少を考慮した具体的な移動時間ができる ・膨大な計算量が必要 ・緊急車両、避難目的の車両等のOD交通量も想定する必要	・着目する道路施設以外の施設や、周辺建物の倒壊による道路閉塞等の影響を考慮できる
全交通需要に対するOD別、車両別交通量	・交通流解析より計算量が少なくなるとは言え、時間・交通量を考慮する場合は計算量は多くなる ・データの入手は困難	・道路閉塞等の影響を考慮できる
一般交通に対するOD別、車種別交通量	・狭い地域間で解析を実施する際、ODの起終点が少ない、精度が悪い ・データの入手は一般的に困難	・道路閉塞等の影響を考慮できる
センサス調査区間の車種別交通量	・狭い地域間で解析を実施する際、ODの起終点が少ない、精度が悪い ・路線毎に交通量のデータが存在し、狭い地域間での解析でも精度を維持 ・調査区間の両端を起点・終点とする交通量と仮定して用いると、被災地域を大きく迂回する交通に対しては、正しく迂回損失を算定できないが、概ね算定することができる	・道路閉塞等の影響を考慮できる

3.3.2 迂回による損失

迂回による損失とは、平常時から道路を利用していただる利用者の走行時間、走行経費の増加等による損失である。迂回による損失額は、検討対象路線周辺の道路網において、平常時と地震時の移動に関わる費用の差とする。算定する期間は、各種道路施設の復旧が概ね完了する1年半（18ヶ月）とする。

①道路網の設定

検討対象路線周辺の道路網は、検討対象路線と同程度の規格以上の道路、自治体によって緊急道路に選定されている道路を抽出し、図3-4に示すように、リンクとノードからなるネットワークモデルを設定する。また、道路ネットワークモデルの例を図3-5に示す。

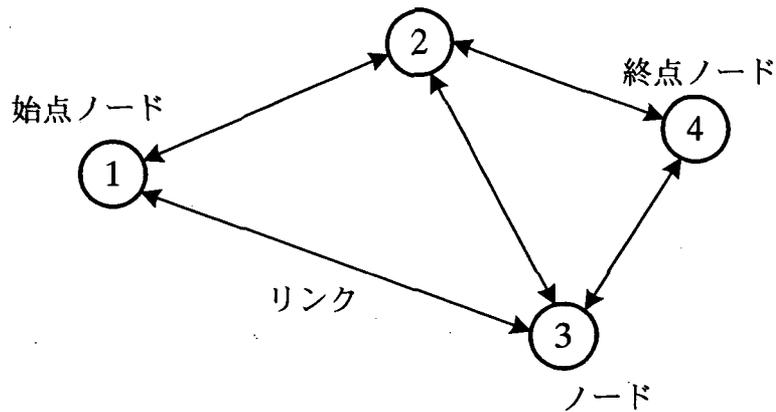


図3-4 リンク・ノードモデル

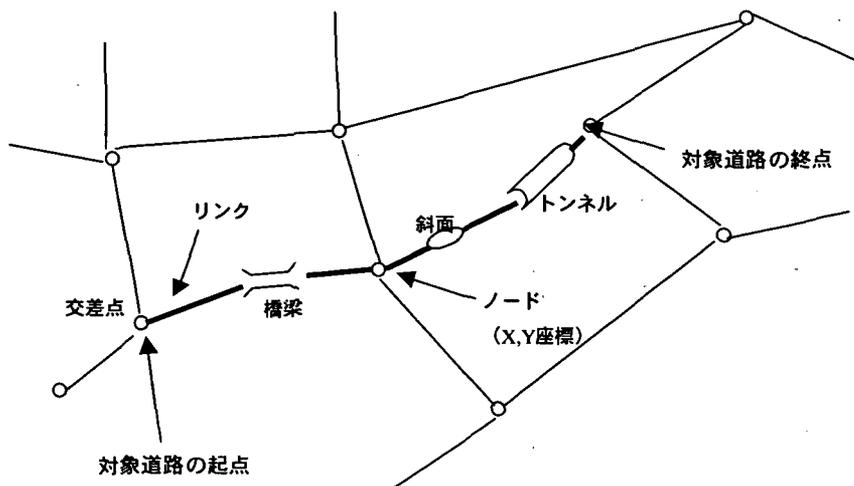


図3-5 道路ネットワークモデルの例

②迂回損失の算定

着目リンク i の迂回損失は下式に示すように算定する。なお、検討期間は地震後からの 1 年半の間を幾つかの期間に分割して、それぞれ道路施設ごとに設定することが望ましい。

$$L_i = \sum_{\text{経過日数}} (Q_{ii} \times (E(C_{ii}) - C_0))$$

ここで、

L_i : リンク i の 540 日間の迂回による被害額 (円)

L_{ii} : リンク i の経過時間 t での迂回による被害額 (円)

Q_{ii} : リンク i の経過時間 t での 24 時間交通量 (台/日)

$E(C_{ii})$: 地震後のリンク i 始終点の経過時間 t での平均移動費用 (円/台)

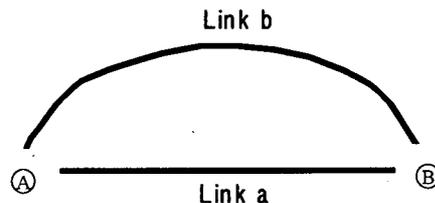
C_0 : 平常時のリンク i 始終点の平均移動費用

③地震後の平均移動費用

地震後のリンク i 始終点の平均移動コスト $E(C_{ii})$ は、着目リンクの始終点を OD とする交通に対して、各リンクの影響率を考慮した平均移動費用として下式で算定される。影響率とは、各リンクの交通量が道路施設の被害により低下する率であり、詳細は後述する。

$E(C_{ii})$ の算定は方法の概要を以下に示す。

図 3-6 に示すノード A ⑧ を結ぶ 2 つのリンクからなる道路網で、それぞれのリンクを通行する場合に要する費用と影響率を以下のように仮定する。



Link	リンクを通行する場合に要する費用	影響率
a	LC_a	Pf_a
b	LC_b	Pf_b

図 3-6 簡単な道路網の例

A ⑧ を OD とする交通の平均移動費用 $E(C_i)$ は下式で算定される。

$$E(C_i) = (1 - Pf_a) \times LC_a + Pf_a \times (1 - Pf_b) \times LC_b + Pf_a \times Pf_b \times LC_c$$

ここで、 LC_c は、Link a、Link b とともに通行できない場合の費用であり、ネットワークモデルとしてモデル化しなかった細街路等を迂回することを考慮して適宜設定する。ただし、地震直後で主要道が通行できないときには、下位の道路も通行できないと考えられ、また、山間部のように迂回路が存在しない場合には、下式により 24 時間待機した場合の待機による被害額として計上する。

$$LC_c = \text{待機による被害額} = 24 \text{ 時間} \times 60 \text{ 分} \times \text{時間価値原単位 (円/台・分)}$$

このような計算を、道路網に対して、各リンクの影響率をパラメータとしたモンテカルロシミュレーションを行うことで算定する。

④リンクコストの算定

モデル化したネットワークの各リンクに対し、下式により車両1台当りの通行に伴う費用、すなわちリンクコストを算定する。

$$LC_i = \alpha \times T_i + \beta \times L_i$$

LC_i : リンク i の車両1台当りの通行に要する費用 (円/台)

α : 時間価値原単位 (円/台・分) (表 3-11 参照)

β : 走行経費原単位 (円/台・km) (表 3-12 参照)

T_i : リンク i の所要通過時間 (分)

$$T_i = L_i / V_i \times 60$$

L_i : リンク i の距離 (km)、 V_i : リンク i の走行速度 (km/h)

時間価値原単位は、表 3-13 に示すように「道路投資の評価に関する指針 (案)」に記載の値から求めた平均値を用いる。車種ごとの時間価値原単位は、道路交通センサスに記載されている車種別 24 時間交通量を用いて重み付け平均し、車両1台当りの平均時間価値原単位を設定する。

走行速度は、道路交通センサス記載の混雑時旅行速度を用いることとし、時間価値原単位と同様、車種別 24 時間交通量を用いて重み付け平均し、表 3-14 のように、車両1台当りの平均走行経費原単位を設定する。

表 3-13 時間価値原単位²⁶⁾

車種	走行費用原単位 ((円/台・分))		
	平日	休日	平均
乗用車	56	84	65
バス	496	744	577
小型貨物	90	90	90
普通貨物	101	101	101

表 3-14 走行費用原単位²⁶⁾

一般道路 (市街地)						一般道路 (平地)					
速度 Km/h	乗用車類		小型貨物	普通貨物	速度 km/h	乗用車類		小型貨物	普通貨物		
	乗用車	バス				乗用車	バス				
10	27	81	28	42	55	10	19	56	20	27	38
20	20	71	21	35	43	20	14	49	15	22	30
30	17	67	18	32	39	30	12	46	13	21	27
40	16	66	18	31	38	40	11	45	12	20	26
50	16	66	18	32	38	50	11	44	12	20	26
60	17	66	18	33	39	60	11	45	12	21	26
一般道路 (山地)						高規格・地域高規格道路					
速度 km/h	乗用車類		小型貨物	普通貨物	速度 km/h	乗用車類		小型貨物	普通貨物		
	乗用車	バス				乗用車	バス				
10	18	52	18	25	35	30	8	30	8	12	18
20	13	45	14	20	28	40	7	29	8	12	17
30	11	43	12	19	25	50	7	29	8	12	16
40	10	41	11	18	24	60	7	28	7	12	16
50	10	41	11	19	24	70	7	29	8	12	17
60	10	41	11	19	24	80	7	30	8	13	18

単位：円/台・km

⑤各リンクの影響率

リンクごとの影響率とは、リンクに存在する道路施設に被害が生じた場合の交通容量の減少率であり、道路施設ごとの被災度と規制期間、通行止め期間の目安として表 3-15～表 3-17 を参考にすることができる。なお、リンクに複数の道路施設がある場合の影響度は、各施設の影響度の最大値を採用する。また、盛土の被災度と影響率の設定については、他の道路施設との整合性および実状に即しているかという観点から、今後の研究課題であり再設定が望まれる。

表 3-15 橋梁の被災度と影響率

経過時間		被災度	軽微な損傷 規制なし	中規模損傷 通行規制 (1ヶ月)	大規模損傷 通行止め (1ヶ月)	大被害 通行止め (2.5ヶ月)	倒壊 通行止め (10ヶ月)
発災	$\leq t \leq$	3日	0.0	0.5	1.0	1.0	1.0
3日	$< t \leq$	7日	0.0	0.5	1.0	1.0	1.0
7日	$< t \leq$	1ヶ月	0.0	0.5	1.0	1.0	1.0
1ヶ月	$< t \leq$	2ヶ月	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
2ヵ月	$< t \leq$	2.5ヶ月	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
2.5ヵ月	$< t \leq$	4ヶ月	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
4ヵ月	$< t \leq$	10ヶ月	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
10ヵ月	$< t \leq$	18ヶ月	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 3-16 盛土の被災度と影響率

経過時間		被災度	軽微な損傷 通行規制 (1ヶ月)	中規模損傷 通行規制 (2ヶ月)	大規模損傷 通行止め (4ヶ月)	大被害 通行止め (10ヶ月)	崩壊 通行止め (10ヶ月)
発災	$\leq t \leq$	3日	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0
3日	$< t \leq$	7日	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0
7日	$< t \leq$	1ヶ月	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0
1ヶ月	$< t \leq$	2ヶ月	0.0	0.5	1.0	1.0	1.0
2ヵ月	$< t \leq$	2.5ヶ月	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
2.5ヵ月	$< t \leq$	4ヶ月	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
4ヵ月	$< t \leq$	10ヶ月	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
10ヵ月	$< t \leq$	18ヶ月	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 3-17 斜面・切土の被災度と影響率

経過時間		被災度	$V < 10m^3$ 通行規制 (3日)	$10m^3 < V < 100m^3$ 通行止め (7日)	$100m^3 < V$ 通行止め (1ヶ月)	全面的崩壊 通行止め (2ヶ月)
発災	$\leq t \leq$	3日	0.5	1.0	1.0	1.0
3日	$< t \leq$	7日	0.0	1.0	1.0	1.0
7日	$< t \leq$	1ヶ月	0.0	0.0	1.0	1.0
1ヶ月	$< t \leq$	2ヶ月	0.0	0.0	0.0	1.0
2ヵ月	$< t \leq$	2.5ヶ月	0.0	0.0	0.0	0.0
2.5ヵ月	$< t \leq$	4ヶ月	0.0	0.0	0.0	0.0
4ヵ月	$< t \leq$	10ヶ月	0.0	0.0	0.0	0.0
10ヵ月	$< t \leq$	18ヶ月	0.0	0.0	0.0	0.0

V : 崩壊土量

3.3.3 消防活動車両の通行障害による被害額

地震後の火災発生件数は2日目以降激減している。また、地震当日の火災発生件数の半数が地震直後に発生している。このため、道路施設の地震被害による消防車両の通行障害の被害額は、地震直後の火災に対して、道路施設の地震被害により消防隊が消化可能時間内に到達できなくなるエリアの延焼棟数に、再調達価格を乗じて算定する。

消防活動車両の通行障害による被害の評価は、消防署管轄エリアに対象地域を分割し、エリアごとに損失額の算定を行う。消化可能か否かの判定は、消防署ノードから他ノードに消火可能時間内に到達できるか否かにより行う。各ノードの分担エリアは、ノードや河川などの地形条件に基づきエリア分割を行い設定する。なお、分割手法の一つとしてポロノイ分割が利用できる。

また、地震後火災の被害予測は、内閣府の「地震被害想定支援マニュアル」⁹⁾に基づいて行う。評価式を以下に示す。

①ノードごとの延焼棟数

ノード*i*の延焼棟数は下式で算定する。

$$\cdot \text{ノード } i \text{ の延焼棟数} = \text{ノード } i \text{ の出火件数} \times \text{ノード } i \text{ の } 1 \text{ 出火当たりの焼失棟数} \times (1 - \text{ノード } i \text{ の建物全損率}) \times \text{消防力係数}$$

ただし、(1出火当たりの焼失棟数) < (ノード分担消火エリアの建物総数)

$$\text{出火件数} \leq 1.0$$

$$\cdot \text{ノード } i \text{ の出火件数} = \text{出火率} \times \text{建物棟数}$$

$$\cdot \text{消防力係数} = \text{消防隊組数} / \text{消防署轄エリア内出火件数}$$

消防力係数は、消防署管轄エリア内での予想出火点数と、配置されている消防隊組数から、対応可能な出火点数の割合である。これは、同時多発的な出火に対しては、消防署に配置されている消防隊の能力を超える消火活動はできないため、もともと対応不可能な火災の延焼は、道路施設の損失から控除するための係数である。

出火率は、木造建物、非木造建物ごと設定する。木造建物出火率は表 3-18 を用い、非木造建物出火率は下式⁹⁾による。また、1出火当たりの焼失棟数は、表 3-19 により設定する。

$$\text{非木造建物出火率} = 0.512 \times \text{木造建物出火率}$$

表 3-18 時間によらない出火率 (単位: %)

木造建物全壊率	春・秋	夏	冬	平均
5	0.009	0.006	0.012	0.009
10	0.015	0.009	0.019	0.014
20	0.024	0.015	0.031	0.022
30	0.032	0.020	0.042	0.030
40	0.039	0.024	0.051	0.036
50	0.045	0.028	0.060	0.042
60	0.051	0.032	0.068	0.048
70	0.057	0.036	0.076	0.054
80	0.063	0.040	0.084	0.060
90	0.068	0.043	0.091	0.064
100	0.074	0.046	0.098	0.069

表 3-19 1出火当たりの焼失棟数

木造率	焼失棟数
0.1	2
0.2	5
0.3	12
0.4	27
0.5	61
0.6	139
0.7	317
0.8	723
0.9	1650
1.0	3766

全損建物棟数は、地震被害により全損した建物の被害額は火災とは関係ないため、被害床面積の算定で控除する。全損建物棟数及び全壊建物棟数は、表 3-20～表 3-21 を参考にして算出する。これらの表を用いる際に、建設年代建物棟数が必要である。建設年代建物棟数は、国勢調査および事業所統計のメッシュ統計データを用い、表 3-22 に示す方法²⁷⁾によって推定する。

表 3-20 建物の全損率

最大速度	木造 建築年			非木造 建築年	
	昭和46年以前	昭和46年以降56年以前	昭和57年以降	昭和56年以前	昭和57年以降
	10未満	0%	0%	0%	0%
20	0%	0%	0%	0%	0%
30	2%	0%	0%	0%	0%
40	8%	1%	0%	1%	1%
50	16%	4%	1%	3%	1%
60	26%	9%	2%	5%	1%
70	37%	15%	4%	7%	2%
80	47%	22%	7%	10%	2%
90	59%	30%	11%	13%	3%
100	69%	38%	15%	17%	4%
110	78%	47%	20%	20%	5%
120	84%	56%	25%	24%	6%
130	89%	64%	31%	28%	8%
140	92%	71%	36%	32%	9%
150	95%	77%	41%	36%	10%
160	96%	82%	46%	40%	12%
170	97%	86%	51%	44%	14%
180	98%	89%	56%	48%	15%
190	99%	91%	60%	51%	17%
200	99%	93%	64%	54%	19%
200以上	99%	93%	64%	54%	19%

表 3-21 建物の全壊率

最大速度	木造 建築年			非木造 建築年	
	昭和46年以前	昭和46年以降56年以前	昭和57年以降	昭和56年以前	昭和57年以降
	10未満	0%	0%	0%	0%
20	0%	0%	0%	0%	0%
30	0%	0%	0%	0%	0%
40	1%	0%	0%	0%	0%
50	2%	1%	0%	0%	0%
60	5%	2%	0%	1%	0%
70	8%	4%	1%	1%	0%
80	13%	6%	1%	2%	0%
90	18%	9%	2%	3%	1%
100	23%	12%	3%	4%	1%
110	28%	16%	4%	5%	2%
120	34%	19%	5%	7%	2%
130	39%	23%	6%	8%	3%
140	14%	27%	8%	9%	3%
150	49%	31%	9%	11%	4%
160	54%	35%	11%	12%	5%
170	58%	39%	13%	13%	6%
180	62%	43%	15%	14%	7%
190	66%	47%	17%	14%	8%
200	69%	50%	19%	14%	8%
200以上	69%	50%	19%	14%	8%

表 3-22 建設年代別建物棟数の推定方法²⁷⁾

推定内容		推定式	推定式の各変数の説明	
木造住宅	全年代	$y_0 = 0.99a + 0.47b + 0.23c$	a は最新の一戸建世帯数, b は最新の長屋世帯数, c は最新の共同住宅 1・2 階世帯数	
	1970 年以前	$y_5 = 0.38y_0'$ $y_0' = 0.99a' + 0.47b' + 0.23c'$	a' は 1970 年の一戸建世帯数, b' は 1970 年の長屋世帯数, c' は 1970 年の共同住宅 1・2 階世帯数	
	1971 年以降, 1980 年以前	$y_6 = 0.56y_0'' - y_5$ $y_0'' = 0.99a'' + 0.47b'' + 0.23c''$	a'' は 1980 年の一戸建世帯数, b'' は 1980 年の長屋世帯数, c'' は 1980 年の共同住宅 1・2 階世帯数	
	1981 年以降	$y_7 = y_0 - y_5 - y_6$		
非木造建物	中高層住宅	共同住宅 3~5 階建	$y_1 = \begin{cases} 0.17x_1 & (1.0 \leq r) \\ 0.13x_1 & (0.5 \leq r < 1.0) \\ 0.08x_1 & (0.25 \leq r < 0.5) \\ 0.057x_1 & (r < 0.25) \end{cases}$	x_1 は最新の共同住宅 3~5 階建建物の世帯数, x_2 は最新の共同住宅 6 階建以上の建物の世帯数, r は最新の従業者数/人口,
		共同住宅 6 階建以上	$y_2 = \begin{cases} 0.17x_2 & (1.0 \leq r) \\ 0.13x_2 & (0.5 \leq r < 1.0) \end{cases}$	
	事業所建物	2 次産業	$y_3 = \begin{cases} 5.0x_3 & (1.0 \leq r) \\ 0.8\sqrt{x_3} & (r < 1.0) \end{cases}$	x_3 は最新の 2 次産業事業者数, x_4 は最新の 3 次産業事業者数, r は最新の従業者数/人口,
		3 次産業	$y_4 = 1.5x_4^{0.7}$	

②地震後の消化可否の判別

消防署を起点、各ノードを終点とする消防活動車両に対して、迂回損失と同様の方法で、着目路線の被害状況から各リンクの影響率を考慮した平均移動時間を算定し、これが消化可能時間を超えたノードの被害額を消防車両の通行障害の被害額として計上する。消火可能時間は、表 3-23 とする。

表 3-23 消火可能時間

	非木造率 20%	非木造率 40%	非木造率 60%
消火可能時間	8.3 分	14.3 分	26.5 分

この消火可能時間は、以下の考えに基づいて設定した。通常の筒先 1 口の担当火面長は 15m 程度であり、消防車 1 台当たりの筒先は 2 口であることから、初動時の部隊編成を 2 隊 1 組とすると 4 口、消火可能な火災周長は 60m 程度と想定できる。従って、火災周長が 60m 以内に消火活動ができるか否かに着目することとした。火災周長が 60m となる時間は、内閣府の地震被害想定支援マニュアルから、自治体の被害想定で用いられることが多い風速 7m/s の値を用いることとした。消火可能時間は、この火災周長が 60m となる時間から、出動準備時間 (8 分)、ホース延長時間 (2.5 分) を引いて設定した。

着目路線の道路施設ごとの被災度、地震直後の緊急車両の通行可能性・影響率を表 3-24~表 3-26 に示す。なお、消防車の走行速度は以下を標準とする。

- 震度 5 強以下 15km/h
- 震度 6 弱以上 10km/h

表 3-24 橋梁の被災度と地震直後の通行可能性・影響率（幅員 10.7m、橋長 150m の場合）

被災度	軽微な損傷	中規模損傷	大規模被害	大被害	倒壊
通行可能性	可能	可能	可能	不可	不可
影響率	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0

表 3-25 盛土の被災度と地震直後の通行可能性・影響率（幅員 10m、延長 150m の場合）

被災度	軽微な損傷	中規模損傷	大規模被害	大被害	崩壊
通行可能性	可能	可能	可能	不可	不可
影響率	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0

表 3-26 斜面の被災度と地震直後の通行可能性・影響率

被災度	$V < 10\text{m}^3$	$10\text{m}^3 < V < 100\text{m}^3$	$100\text{m}^3 < V$	全面的崩壊
通行可能性	可能	不可	不可	不可
影響率	0.0	1.0	1.0	1.0

V : 崩壊土量

③建物の再調達価格

建物の再調達価格（家財も含む）は、表 3-27 に示す構造種別ごとの平均床面積に、以下の原単位を乗じることにより設定する。

木造建物 : 108,000 円/m²

非木造建物 : 125,000 円/m²

表 3-27 構造別住宅 1 棟あたり床面積の設定

	木造	非木造
東京	71.7	52.0
その他 3 大都市圏	96.1	59.5
地方圏	117.2	67.6

3.3.4 救護活動車両の通行障害による被害額

救護輸送車両の通行障害による被害額では、救急車等の組織的な救護活動車両に加え、家族・近隣住民による搬送車両の通行障害が重要である。ここでは、被災箇所から自治体が指定する救急医療機関に救護可能時間内に搬送できないに到達できないエリアの重篤者数に、一人当りの人命価値を乗じて被害額を算定することとする。

救護活動車両の通行障害による評価は、救急医療機関ごと分担エリアを定め、それごとに行う。各ノードの分担エリアは、消防車両の通行障害による被害額を算出する際のエリアの分担方法と同様である。また、地震直後の重篤者数の予測は、比較的簡便な手法である内閣府の「地震被害想定支援マニュアル」⁹⁾に基づいて行う。

①ノードごとの重篤者数

重篤者は、下式により算定される重傷者の20%とする。

$$\text{重傷者数} = \text{屋内滞留人口} \times \text{重傷者率}$$

$$\text{重傷者率} = 0.0309 \times \text{建物全壊率}$$

$$\text{建物全壊率} = (\text{木造建物全壊棟数} + \text{非木造建物全壊棟数}) / \text{全建物棟数}$$

$$\text{屋内滞留人口} = \text{屋内(在宅)滞留人口} + \text{屋内(勤め先その他)滞留人口}$$

$$\text{重篤者数} = \text{重傷者数} \times 0.2$$

ここで、建物全壊棟数は、表3-20から算定する。また、屋内滞留人口は、表3-28に示す屋内人口滞留率を用いて下式で平日、休日、及び夜間、昼間に対して算定し、これを平均して算定する。

[平日の夜間、休日]

$$\text{屋内(在宅)滞留人口} = \text{屋内人口滞留率} \times \text{夜間人口}$$

$$\text{屋内(勤め先その他)滞留人口} = \text{屋内人口滞留率} \times \text{夜間人口}$$

[平日の昼間]

$$\text{屋内(在宅)滞留人口} = \text{屋内人口滞留率} \times \text{昼間人口}$$

$$\text{屋内(勤め先その他)滞留人口} = \text{屋内人口滞留率} \times \text{昼間人口}$$

表 3-28 屋内人口滞留率の設定

時間帯		0時	2時	4時	6時	8時	10時	12時	14時	16時	18時	20時	22時
在宅	平日	0.95	0.96	0.95	0.80	0.38	0.25	0.31	0.27	0.38	0.64	0.79	0.89
	休日	0.92	0.93	0.93	0.88	0.68	0.49	0.50	0.41	0.52	0.73	0.83	0.91
勤め先等	平日	0.02	0.01	0.01	0.04	0.31	0.43	0.28	0.40	0.30	0.15	0.10	0.06
	休日	0.02	0.01	0.01	0.03	0.13	0.23	0.18	0.26	0.21	0.10	0.08	0.05

②地震後の救護可否の判別

消防活動車両の通行障害損失と同様の方法で、着目路線の各施設の被害状況から各リンクの影響率を考慮した各ノードから救急医療機関への平均移動時間を算定し、これが30分を超えた場合に人命の価値として設定する。

ここで、30分は救護可能時間として想定した数値であり、以下の考えに基づいている。

地震直後に発生する重篤者の多くが切傷、挫滅等（脊椎損傷、内臓損傷を含む）といった症状であると考えられる。このような場合、死亡率の経時変化は、負傷後60分程度で死亡率が100%となっており、ここでは、これを救護可能時間と設定することとする。これまでの地震被害では、重篤者が被害を受けた建物から救助されるのに要した時間はほぼ30分以内であり、上記60分の救護可能時間では、救助後30分程度の搬送時間を、救護限界搬送時間として設定したことになる。また、これまでの地震被害での重傷者の大半は、30分以内に病院にたどりついている。このことから、救護輸送車両の通行障害損失を、30分を境にして評価することは、救護輸送時間に対する非市場価値を計測する点で妥当であると考えられる。

③人命の価値

人命の金銭価値は、「対象施設の損傷に起因する人的損失」に記載した値を用いる。

3.3.5 その他の間接損失額

上記の迂回損失、消防車両の通行障害による損失および救護車両の通行障害による損失以外の間接損失として、弧線橋の落橋による損失およびライフラインに関する損失を考慮する。

①弧線橋の落橋による損失額

跨線橋の落橋により、橋下を通過する列車に影響を与える被害が生じた場合について、鉄道利用者と鉄道事業者に発生する損失を算定する。

<鉄道利用者の被害額>

鉄道利用者の被害額は、着目する弧線橋が落橋した場合と、しない場合の移動に要する費用の差を求めることで算定することができる。算定は迂回による被害額と同じであり、鉄道路線の駅をノードとしたリンクを道路ネットワークモデルに加え、鉄道路線のリンクのリンクコストを駅間の運賃と所要時間から算定される時間価値として設定することで、落橋区間の迂回損失、すなわち鉄道利用者の損失が算定できる。

<鉄道事業者の被害額>

鉄道利用者が支払う運賃の差が被害額となる。鉄道利用者の損失を算定する際に、鉄道路線のリンクコスト算定時に運賃を2倍とすることで、同時に算定できる。

②ライフラインに関する損失額

道路橋には、電力、通信、上水道、都市ガス等の管路が添架されていることが多い。道路橋が地震被害を受けることにより、これら添架管にも被害が発生し、添架管につながる供給、サービス地域に損失が生じることになるため、ライフライン利用者とライフライン事業者の被害額を算定する。

<ライフライン利用者の被害額>

ライフラインの供給が停止する地域の人口を求め、下式にて被害額を求める。

$$\text{ライフライン利用者の被害額} = \text{CVM による支払い意思額(円/人)} \times \text{影響人口(人)}$$

また、各種ライフラインの途絶により生じる被害額を評価する際には、途絶したライフラインの機能と同等の機能を利用するために生じる費用を求めることも考えられる（代替法）。

ここで、ライフラインの機能と同等の機能を利用するために生じる費用とは、例えば水道の場合、1人当たりが支払い可能なミネラルウォーターの金額等が考えられる。

$$\text{上水道利用者の被害額} = \text{一人当たりが支払い可能なミネラルウォーターの金額(円/人)} \times \text{対象人口(人)}$$

<ライフライン事業者の被害額>

供給が止まった地域のライフライン利用者が支払っていた料金を集計することにより、事業者の被害額を求めることができる。

第4章 カタストロフィックリスク

地震災害のように生起確率は小さいが一旦生起すると社会経済に甚大（カタストロフィック）な影響と被害をもたらす大災害や大規模な事故を対象として、その発生の防止や発生時の被害軽減のための事業を適切に評価するためには、現在の防災関連事業における便益評価のように、災害等が発生した場合の被害額に生起確率を乗じた期待値で評価すると過小評価になる恐れがある。このため、社会的損失額の計測の考え方やリスクプレミアムの取り扱い等、カタストロフィックリスクの評価手法の確立が求められている^{28),29),30)}。リスクプレミアムを算定するためには、理論上はCVM等により直接評価することが最適であるが、実際は技術上様々な問題からCVM等での評価が困難である。そこで、本研究では、カタストロフィックリスクの評価手法を検討するための基礎調査として、保険・災害証券市場のリスクプレミアムに関する調査及び検討を行った。

4.1 保険、災害証券市場データによるアプローチ

カタストロフィックリスクの評価手法を検討するための基礎として、保険市場や災害証券（Cat Bond）市場におけるリスクプレミアムに関する調査を行った。

4.1.1 保険市場におけるリスクプレミアム

保険市場において、保険加入者は、事故や災害が起こった場合にその損失を補うための保険金を保険会社から受け取る代わりに、その期待損失額を上回る契約保険料を毎年保険会社へ支払っている。この受け取り保険金の期待値（期待損失額）と契約保険料との差が保険におけるリスクプレミアムである。

表4-1は、平成4年度から12年度までの過去9年間の全社分・全保険種目について、保険料の総額、保険金の総額、及び両者の比 $\alpha = \text{保険料} / \text{保険金}$ を示したものである³¹⁾。9年間の平均は $\alpha = 1.94$ となった。つまり、保険加入者は災害や事故によるリスクを移転するために期待損失額の1.94倍に相当する保険料を支払っていると言える。

表4-1 保険市場における比 α

年度	正味収入 保険料	正味支払 保険金	α
H4	6,229,026	3,349,604	1.86
H5	6,551,561	3,481,246	1.88
H6	6,765,273	3,387,938	2.00
H7	6,959,275	3,356,316	2.07
H8	7,228,141	3,490,492	2.07
H9	7,215,383	3,536,341	2.04
H10	6,916,258	3,640,681	1.90
H11	6,890,860	3,749,054	1.84
H12	6,917,094	3,796,665	1.82
合計	61,672,871	31,788,337	1.94

(保険料・保険金の単位:百万円)

4.1.2 災害証券(Cat Bond)市場におけるリスクプレミアム

大規模災害がもたらす甚大な損失をリスク分散するには、保険市場ではキャパシティーが小さく困難である。これに対し、証券市場を活用して災害による損失をリスク分散するのが Cat Bond (Catastrophic bond ; 災害証券) である³²⁾。Cat Bond の買い手である投資家は、定められた規模以上の地震やハリケーン等 (トリガーイベント) が生起しなければ、元本に加え一般の金利を大きく上回る金利を受け取ることができるが、満期時までトリガーイベントが発生すると、元本の一部または全てを失う。逆に、Cat Bond の発行者である企業は、災害 (トリガーイベント) が発生した場合、災害によって生じた損失を補う資金が集められる。

Cat Bond においては、トリガーイベントに対する元本の没収割合、及びトリガーイベントの発生確率が公表されているため、没収金額の年間期待値の算出が可能である。また、トリガーイベントが発生しない場合に投資家に支払われる金利は、通常、LIBOR に上乗せされる利率で設定される。LIBOR とは、国際金融取引の基準となる金利で、Cat Bond の場合、信託口座等での運用益が LIBOR 相当の金利に当たる。没収金額の年間期待値と LIBOR に上乗せされる金利を比較すると、後者の方が大きい。両者の差が Cat Bond におけるリスクプレミアムである。

Cat Bond について事例調査をまとめたものを表 4-2 に示す。国内外の Cat Bond 発行事例における、没収金額の年間期待値 (元本に対する割合)、上乗せ金利、及び、没収金額の年間期待値と上乗せ金利との比 α を示したものである。上乗せ金利は平均 5.00%/年、没収金額期待値は平均 0.87%/年 (両者とも元本に対する割合) となった。

表 4-2 Cat Bond の事例一覧

No.	Date of Issue	Cat Type	Sponsor	Issue Size (\$MM)	Coupon	Perils	Insurance Risk Structure	Expected Loss	Exhaust Prob	Attach Prob	α
1	February-94		Hannover Re	85.0							-
2	May-96		AIG	25.0		Property					-
3	October-96		RLI Insurance	50.0							-
4	January-97	Portfolio of Risk	Hannover Re	100.0		Various					-
5	January-97	Portfolio of Risk	St. Paul Re	68.5		Various					-
6	February-97		Horace Mann	100.0							-
7	March-97		Reliance I	N/D		Property, Launch, Aviation, Marine					-
8	April-97		Winterthur	269.0		Catastrophic Auto Loss					-
9	June-97	U.S. Hurricane	USAA	477.0		East Coast Hurricanes					-
10	July-97		La Salle Re	100.0							-
11	August-97	U.S. Earthquake	Swiss Re	137.0		CA Quake					-
12	December-97	Japan Earthquake	Tokyo Marine & Fire	90.0	LIBOR+4.30%	Tokyo Quake	Parametric	0.70%	0.37%	1.01%	6.14
13	December-97	Japan Earthquake	Tokyo Marine & Fire	10.0	LIBOR+2.06%	Tokyo Quake	Parametric	0.00%		0.00%	-
14	January-98		Reliance II	N/D		Property, Launch, Aviation, Marine					-
15	February-98	U.S. Hurricane	Centre Re	83.5		FL Hurricanes					-
16	April-98	Japan Earthquake	Mitsui Marine & Fire			Japan Quake					-
17	June-98	Japan Typhoon	Yasuda Fire & Marine	80.0	LIBOR+3.70%	Japan Typhoon	Indemnity	0.88%	0.84%	0.94%	4.20
18	March-99		USF&G	24.3	LIBOR+4.00%			0.42%	0.42%		9.52
19	March-99		USF&G	20.0	LIBOR+8.25%			2.84%	11.50%		2.90
20	April-99	U.S. Earthquake	Kemper	80.0	LIBOR+3.69%	Midwest Quake	Indemnity	0.50%	0.44%	0.96%	7.38
21	April-99	Portfolio of Risk	Sorema	17.0	LIBOR+6.00%	Euro Wind, Japan Quake, Japan Typhoon	Indemnity	0.63%	0.45%	0.84%	9.52
22	May-99	Japan Earthquake	Oriental Land	100.0	LIBOR+0.75%	Tokyo Quake/Credit Risk	Parametric	0.00%		0.00%	-
23	May-99	Japan Earthquake	Oriental Land	100.0	LIBOR+3.10%	Tokyo Quake	Parametric	0.42%		0.62%	7.38
24	June-99	U.S. Hurricane	Gerling	80.0	LIBOR+4.20%	East Coast Hurricanes	Indemnity	0.45%	0.33%	0.60%	9.33
25	June-99		USAA	200.0	LIBOR+3.66%			0.44%	0.26%		8.32
26	October-99	U. S. Weather	Koch	21.6	LIBOR+15.70%	US Weather/Temperature	Index	4.45%	0.50%	12.10%	3.53
27	October-99	U. S. Weather	Koch	23.0	LIBOR+8.70%	US Weather/Temperature	Index	0.30%	0.07%	0.50%	29.00
28	October-99	Portfolio of Risk	American Re	50.0	LIBOR+2.95%	US Hurricanes, Midwest & CA Quakes	Modeled Loss	0.17%	0.17%	0.17%	17.35
29	October-99	Portfolio of Risk	American Re	126.8	LIBOR+5.40%	US Hurricanes, Midwest & CA Quakes	Modeled Loss	0.63%	0.49%	1.10%	8.57
30	November-99	Japan Earthquake	Gerling	100.0	LIBOR+4.50%	Tokyo/East Tokai Quake	Indemnity/Modeled Loss	0.75%	0.32%	1.00%	6.00
31	March-00	U.S. Earthquake	Lehman Re	145.5	LIBOR+4.50%	CA Quake	Index	0.73%	0.47%	1.13%	6.16
32	March-00	Portfolio of Risk	Scor	70.0	LIBOR+2.70%	Euro Wind, US Quake, Japan Quake	Indemnity	0.11%	0.05%	0.19%	24.55
33	March-00	Portfolio of Risk	Scor	30.0	LIBOR+3.70%	Euro Wind, US Quake, Japan Quake	Indemnity	0.23%	0.19%	0.29%	16.09
34	March-00	Portfolio of Risk	Scor	100.0	LIBOR+14.00%	Euro Wind, US Quake, Japan Quake	Indemnity	3.24%	1.90%	5.47%	4.32
35	May-00	U.S. Hurricane	State Farm	37.5	LIBOR+7.00%	FL Hurricanes	Indemnity/Modeled Loss	1.46%	0.99%	2.08%	4.79
36	May-00	U.S. Hurricane	State Farm	52.5	LIBOR+4.56%	FL Hurricanes	Indemnity/Modeled Loss	0.63%	0.38%	0.99%	7.24
37	June-00	U.S. Hurricane	USAA	200.0	LIBOR+4.10%	East Coast Hurricanes	Indemnity	0.54%	0.31%	0.95%	7.59
38	July-00	U.S. Hurricane	Vesta Insurance	41.5	LIBOR+4.63%	NewEngland/Hawaii Hurricanes	Indemnity/Modeled Loss	0.70%	0.56%	0.87%	6.61
39	November-00	Portfolio of Risk	Allianz	41.0	LIBOR+2.60%	France Wind, Monaco Quake	Parametric	0.22%	0.19%	0.28%	11.82
40	November-00	Portfolio of Risk	Allianz	88.0	LIBOR+5.85%	France Wind, Monaco Quake	Parametric	1.16%	0.94%	1.47%	5.04
41	December-00	U.S. Hurricane	Munich Re	159.0	LIBOR+6.50%	NewYork/Miami Hurricanes	Parametric	1.27%	1.08%	1.46%	5.12
42	December-00	Portfolio of Risk	Munich Re	129.0	LIBOR+7.50%	CA Quake, Euro Windstorm	Parametric/Index	1.34%	1.07%	1.69%	5.60
43	February-01	U.S. Earthquake	Swiss Re	100.0	LIBOR+5.10%	CA Quake	Index	0.82%	0.34%	0.55%	6.22
44	May-02	Japan Earthquake	Nissay Dowa General Insurance	67.9	LIBOR+4.00%	Tokyo Quake		0.67%			3.40
45	May-02	Japan Earthquake	Nissay Dowa General Insurance	2.1	LIBOR+7.00%	Tokai Quake		2.06%			5.97

また、算出可能な 27 事例に関して、両者の比 α を算出したものを図 4-1 に示す。これらの図は、ばらつきはあるものの概ね 3.0~10.0 の間に分布しており、平均で 6.00 となった。災害証券 (Cat Bond) 市場において、投資家は、一般の金利よりも高い金利を受け取る代わりに、万一災害等が発生すれば元本を失うリスクを受け入れており、逆に Cat Bond を発行している企業は、災害等によるリスクを毎年の金利支払いで移転している。両者の比 α が 6.00 であることから、この市場においては、災害によるリスク (カタストロフィックリスク) を移転する代償として、期待損失額の 6.00 倍に相当する金額が支払われていると言う事ができる。

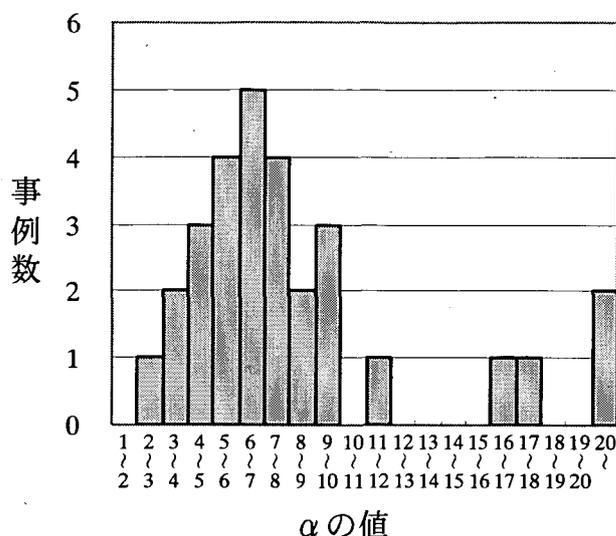


図 4-1 Cat Bond における比 α

4.2 まとめ

地震災害に備えて実施する道路防災事業のような、公共投資による防災プロジェクトについては、リスクプレミアムを考慮する必要があるとの指摘がなされている。例えば、50年に1回の確率で1,000万円の損失を被るという選択肢と、これを回避するために毎年20万円支出するという選択肢があった場合、年間の損失の期待値はともに20万円であるが、一般的には後者が有利と判断する人々が多いとされている。これは所得の限界効用逓減により、1,000万円の損失による犠牲の方が、20万円の損失による犠牲の50倍よりも大きいためであり、両者の差異がリスクプレミアムである。リスクプレミアムがある場合、通常の投資よりも低い割引率で評価するか、便益を高くする必要があるとされている。

治水経済マニュアル(案)³³⁾では、リスクプレミアムを具体的にどのように考慮したらよいかについて、

- ①一般の公共投資よりも低い割引率を用いること
- ②期待被害軽減額(便益)を高く評価すること

の2つが考えられることを挙げている。

①については、「旧建設省全体で、費用対効果分析を実施するに当たって考慮すべき留意事項、共通化できる数値等についての統一的な取り扱いを定めた「社会的資本整備に係る費用対効果分析に関する統一的運用指針」(平成11年3月)では、「原則として、費用・便益分析は割引率4%とすること」とさ

れており、治水投資だけで低い割引率を用いることは困難だと思われる。」とされている。

一方、②については、「保険の世界におけるリスクプレミアムが、受取り保険金の期待値と支払い保険料の期待値との差のことをいうが、損害保険における保険金／保険料は、昭和 62 年度から平成 8 年度の 10 年間で全社分、全保険種目についてみると 53.7%となっている（「インシュアランス」誌の「損害保険統計号」によって経年的に把握することができる）。こうしたことから、治水投資の便益については概ね 2 倍に高く評価することもできるのではないかと考えられる。」とあり、道路施設に対する地震の防災投資事業においても、この考え方が参考になると思われる。

第5章 経済性の評価

本章では、道路施設に対する地震の防災投資効果の評価における総便益と総費用について記述し、さらには、これらの結果の整理手法について記述する。

5.1 総便益の算定

道路防災事業の新規事業採択時および再評価時等の評価では、原則として現況の道路施設状況から事業の経済性を評価するとし、道路防災事業の便益は事業実績の有無による被害額をもとに、事業の実施により防止し得る被害額を便益として算定する。

年間被害軽減期待額を b 、事業期間 S 、評価期間 $S+N$ 、割引率 r とするとき、事業着手時点から $S+N$ 年間の総便益 B を算定する。

$$B = \sum_{i=0}^{S+N-1} \frac{b}{(1+r)^i}$$

ここで、 r は、割引率である。

本研究における社会的割引率として、国土交通省による公共事業評価システム研究会事業評価手法検討部会において、資本機会費用により設定する方法で、国債等の実質利回りを参考値として設定している4%を用いることとする。

また、評価対象期間について、具体的な道路防災事業の投資計画が決まっている場合には、それに従って発生する便益を適切に算定する。一方、具体的な事業計画が決まっておらず、概算の建設費しか決まっていない場合には、これまでの類似事業を参考にし、便益の発生を想定して算定を行う。

5.2 総費用の算定

道路防災事業の費用は、防災事業の建設費に維持管理費を加え、建設費のうち評価対象期間終了時点において残存価値を評価できるものを費用から除いて算定を行うものとする。

また、建設費 C については、整備期間を S とし、毎年建設費を現在価値化して積算する。なお、現在価値化に用いる割引率は、便益のとき同様4%とする。

$$C = \sum_{i=0}^{S+N-1} \frac{c_i}{(1+r)^i}$$

ここで、 $c_i (i=1 \sim S+N-1)$ は建設費と地震リスク(地震発生時の補修費用)である。

5.3 結果の整理手法

総便益及び総費用のデータから B/C を算出し、この社会経済的視点から見て可能な限り客観的な値を用いることで、防災事業の有効性・妥当性を示す一つの指標としたり、補強優先度順位の決定の参考としたりする。なお、結果の整理の参考として表 5-1 を用いてもよい。

表 5-1 費用便益分析表

年次	i	便益 b	bの現在価値	費用 c			cの現在価値	費用便益比 B/C
				建設費①	維持管理費②	計 ①+②		
整備期間 (S)	1							
	2							
	3							
	⋮							
	⋮							
S								
施設完成後の評価期間	S+1							
	S+2							
	S+3							
	⋮							
	⋮							
S+N								
計			=B			=C	=B/C	

5.4 事例解析

本章においては地震時の損失を評価する手法について述べたが、説明文のみでは具体的な計算方法がわからない場合のために、本評価手法に従う便益(損失)を算出する事例解析を示す。なお、解析対象は東海地方からモデル地域を選び、その国道及び主要県道のデータに基づいてモデル化したものである。本対象地域は東海地震などの大地震が予想される地域であり、また旧基準(H8年防災総点検現在)の施設も多いことから、地震時における大規模な直接・間接被害、波及被害の拡大化が危惧される。そこで、道路防災事業として対象地域の直轄国道・一般国道を対象に、道路を構成する橋梁、跨線橋、トンネル、また付近に存在する斜面・切土・盛土全体が地震により被害を受けたときの損失を算出する。

①対象地域の道路ネットワークの設定

対象道路は、図 5-1 に示すとおりである。対象道路に対して迂回路を設定し、ネットワークとして図 5-1 のように設定した。迂回路については、モデル地域において作成されている防災地図を参考に緊急輸送路に指定されている道路、またこれら道路から消防署、救急医療機関に接続される道路を抽出した。一方、ノードについては、交差点ならびに消防署、救急医療機関とした。これにより、ネットワークモ

デルは、ノード数 33、リンク数 46 となる。また、本対象道路における施設の情報を表 5-2 に示す。

また、緊急車両の通行障害による被害額を算定するため、ノードに年代・構造別建物棟数、昼間・夜間人口の情報を割当てて。割当て方法としては、ポロノイ分割を用いた。なお、緊急車両の通行障害に用いるリンク・ノードモデルは図 5-1 に併せて示してある。

表 5-2 対象地域の道路施設に関する情報

No.	施設	種別	竣工年	適用設計 図書年代	耐震性水準
1	橋梁	検討対象道路	1929	昭和31	昭和54年以前適用示方書による水準
2	橋梁	検討対象道路	1976	昭和47	昭和54年以前適用示方書による水準
3	橋梁	検討対象道路	不明	大正15	昭和54年以前適用示方書による水準
4	橋梁	検討対象道路	不明	昭和55	昭和55年適用示方書による水準
5	橋梁	迂回路	不明	昭和31	昭和54年以前適用示方書による水準
6	橋梁	迂回路	不明	大正15	昭和54年以前適用示方書による水準
7	橋梁	迂回路	不明	大正15	昭和54年以前適用示方書による水準
8	橋梁	迂回路	不明	大正15	昭和54年以前適用示方書による水準
9	橋梁	迂回路	不明	大正15	昭和54年以前適用示方書による水準
10	橋梁	迂回路	不明	不明	昭和54年以前適用示方書による水準
11	橋梁	迂回路	不明	不明	昭和54年以前適用示方書による水準
12	橋梁	迂回路	不明	不明	昭和54年以前適用示方書による水準
13	橋梁	迂回路	1990	昭和55	昭和55年適用示方書による水準

②地震動シミュレーション

本章で示す事例解析のシナリオ地震の例として、東海地震(M8.0)を設定することとした。東海地震による各道路施設の地震動シミュレーション結果は表 5-3 に示すとおりである。

表 5-3 地震動シミュレーション結果

施設	地盤種別	震源距離	最大加速度	最大速度	SI値
橋梁1	2	7.17	804.26	58.56	153.26
橋梁2	2	6.99	808.43	58.83	154.84
橋梁3	2	6.44	820.79	59.62	159.63
橋梁4	2	5.77	836.13	60.61	165.85
橋梁5	2	6.69	815	59.25	157.37
橋梁6	1	6.75	643.32	48.06	101.21
橋梁7	2	6.09	828.84	60.14	162.86
橋梁8	1	6.8	642.53	48.01	100.96
橋梁9	1	6.31	651.27	48.59	103.76
橋梁10	3	6.41	806.31	58.69	185.51
橋梁11	3	7.1	791.2	57.72	178.57
橋梁12	2	7.3	801.39	58.38	152.19
橋梁13	2	8.09	784.43	57.28	146.02

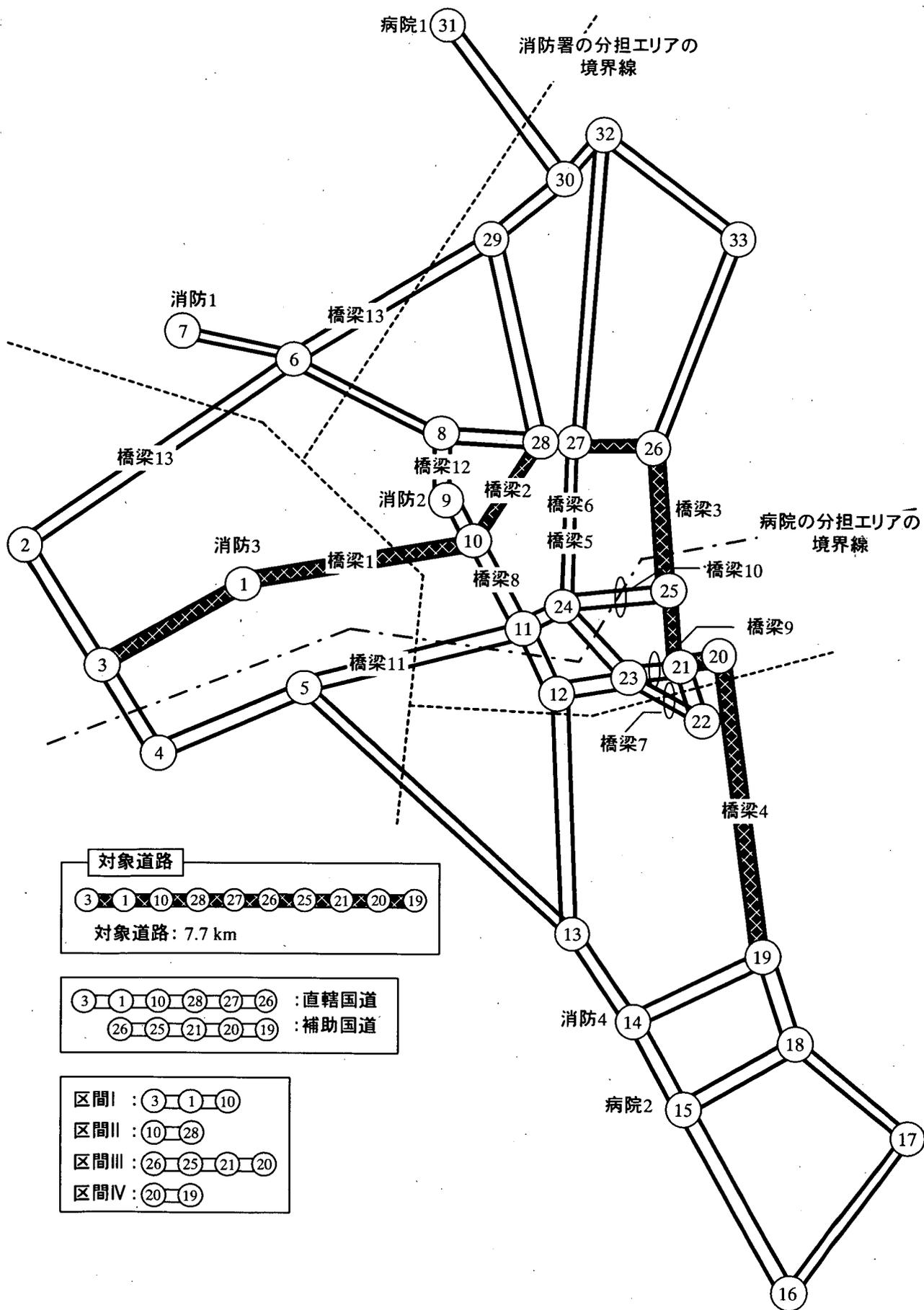


図 5-1 対象地域のリンク・ノードモデル図

④間接被害額の算定

(1)迂回による損失額

3.3.1で述べた手法に基づいて計算を行った結果を以下に示す。なお、本事例解析における迂回損失の算定期間は、各種道路施設の復旧が完了する期間として1年半(540日)と設定している。なお、算定あたってのリンクのパラメータは以下の通りである。これらの値を用いて迂回損失額を算出した結果を表5-9に示す。

- ・時間価値原単位 α ：道路交通センサスデータから、平日24時間自動車類交通量における各車混入率の平均値として、 $\alpha=81$ 円/台・分を設定した。
- ・走行費用原単位 β ：表3-12の一般道路(市街地)における走行費用原単位(に基づき算定)
- ・リンクの走行速度：道路交通センサスデータから、混雑時旅行速度を参照し設定した。
- ・待機損失：1時間(60分)×時間価値原単位より算定
- ・リンクの影響率：施設の影響率は想定される橋梁の被災度から、表5-8のように設定した。例えば、通行止めが10ヶ月続き、その後交通容量が平常時に回復する場合は、10ヶ月/18ヶ月=0.56となる。一方、通行規制が1ヶ月続き、その後、交通容量が平常時に回復する場合は、 0.5×1 ヶ月/18ヶ月=0.03となる。

表5-8 橋梁の被災度と影響率

被災度	軽微な損傷	中規模損傷	大規模損傷	大被害	倒壊
規制状態	規制なし	通行規制	通行止め	通行止め	通行止め
規制期間	0	1ヶ月	1ヶ月	2.5ヶ月	10ヶ月
影響率	0	0.03	0.06	0.14	0.56

表5-9 対象道路における迂回損失額

対象区間	平日交通量 (台/24h)	平常時の リンクコスト (円/台)	耐震補強前				耐震補強後					
			ノード間の 非連結確率	リンクコスト		待機損失(円)	迂回損失	ノード間の 非連結確率	リンクコスト		待機損失(円)	迂回損失
				地震時	差			地震時	差			
3⇔1⇔10	47,183	463	0.00000	505	42	0	1,059,000,000	0.00000	504	41	0	1,045,000,000
		4.9		5.4	0.5	(約10億円)	5.4		0.5	(約10億円)		
10⇔28	26,559	214	0.05865	360	145	4,088,000,000	6,172,000,000	0.00000	255	41	108,000,000	583,000,000
		2.6		4.5	1.6	(約40億円)	(約62億円)		3.1	0.3	(約1.1億円)	(約5.9億円)
28⇔27⇔26	26,559	199	0.00000	199	0	0	0	0.00000	199	0	0	0
		2.4		2.4	0.0		2.4		0.0			
26⇔25⇔ 21⇔20	28,259	314	0.10000	629	315	7,416,000,000	12,215,000,000	0.01000	394	80	742,000,000	1,966,000,000
		3.3		7.0	3.9	(約74億円)	(約122億円)		4.2	0.8	(約7.4億円)	(約20億円)
20⇔19	28,259	371	0.06255	675	304	4,639,000,000	9,280,000,000	0.00000	452	81	0	1,243,000,000
		3.9		7.5	3.7	(約46億円)	(約93億円)		4.9	0.8	(約12億円)	

※各リンクコストの破線下の数値は、各リンクコストから α, β で逆算した所要時間(分)

(2)緊急車両の通行障害による損失額

緊急車両の通行障害による損失額として、消防車両の通行障害による損失額と救護輸送車両の通行障害による損失額を算出した。消防車両の通行障害による損失額を表5-10に、救護輸送車両の通行障害による損失額を表5-11にそれぞれ示す。なお、救護車両の通行障害が生じる時間帯は平日昼間とした。また、表5-10、表5-11は、耐震補強前の試算結果を示してあるが、耐震補強後も試算の結果、耐震補強前と同じ結果となったため、ここでは表は省略することとする。

表 5-10 消防車両の通行障害による損失額

ノード 番号	分担 エリア	PGV (cm/s)	木造 建物棟数	非木造 建物棟数	消火可能 時間(分)	最短移動時間(分)		消防車到達の可否		消防力 係数	延焼棟数 (木造)	延焼棟数 (非木造)	被害額
						平常時	地震時	平常時	地震時				
6	消防1	56.7	193,522	311	8.3	4.9	4.9	○	○	0.33	527.65	0.01	0
31	消防1	56.9	97,760	147	8.3	34.1	34.1	×	×	0.33	527.70	0.00	0
8	消防2	57.5	152,146	346	8.3	10.4	-	×	×	0.06	93.05	0.00	0
10	消防2	57.8	113,453	260	8.3	2.0	2.0	○	○	0.06	93.05	0.00	0
11	消防2	58.2	119,505	274	8.3	5.9	5.9	○	○	0.06	93.05	0.00	0
12	消防2	58.4	117,551	292	8.3	8.8	8.8	×	×	0.06	93.03	0.00	0
20	消防2	59.2	35,568	378	8.3	20.8	-	×	×	0.06	78.24	0.01	0
21	消防2	59.0	17,848	179	8.3	19.3	-	×	×	0.06	39.28	0.00	0
23	消防2	58.8	40,841	261	8.3	11.7	11.7	×	×	0.06	84.04	0.00	0
24	消防2	58.3	40,841	261	8.3	7.6	7.6	○	○	0.06	84.04	0.00	0
25	消防2	58.8	52,406	539	8.3	16.8	-	×	×	0.06	90.48	0.01	0
26	消防2	58.5	102,552	591	8.3	10.9	-	×	×	0.06	92.73	0.01	0
27	消防2	58.1	82,202	260	8.3	7.9	-	○	×	0.06	92.97	0.00	1,274,621,207
28	消防2	58.0	78,686	256	8.3	6.6	-	○	×	0.06	92.96	0.00	1,274,514,318
29	消防2	57.4	165,179	319	8.3	14.9	-	×	×	0.06	93.08	0.00	0
30	消防2	57.6	92,539	327	8.3	18.7	-	×	×	0.06	92.94	0.00	0
32	消防2	57.8	110,620	321	8.3	20.0	-	×	×	0.06	92.99	0.00	0
33	消防2	58.6	139,839	476	8.3	20.0	-	×	×	0.06	92.95	0.00	0
2	消防3	56.7	98,491	417	8.3	11.8	11.8	×	×	0.20	315.76	0.01	0
3	消防3	57.2	154,254	552	8.3	6.3	6.3	○	○	0.20	315.97	0.02	0
4	消防3	57.6	253,239	358	8.3	10.2	10.2	×	×	0.20	316.65	0.00	0
5	消防3	57.3	273,576	421	8.3	16.4	16.4	×	×	0.20	316.61	0.01	0
13	消防4	58.9	315,693	405	8.3	3.9	3.9	○	○	0.13	197.93	0.00	0
15	消防4	59.7	91,924	250	8.3	3.9	3.9	○	○	0.13	197.65	0.00	0
16	消防4	60.6	91,189	179	8.3	12.0	12.0	×	×	0.13	404.52	0.00	0
17	消防4	60.9	71,442	152	8.3	14.8	14.8	×	×	0.13	404.46	0.00	0
18	消防4	60.2	38,014	162	8.3	8.9	8.9	×	×	0.13	403.60	0.01	0
19	消防4	59.9	97,935	270	8.3	5.7	5.7	○	○	0.13	197.64	0.00	0
22	消防4	59.2	156,083	613	8.3	20.6	-	×	×	0.13	197.41	0.01	0

消防活動車両の通行障害による被害額(円) 2,549,135,525

約25.5億円

表 5-11 救護車両の通行障害による損失額

ノード 番号	分担 エリア	PGV (cm/s)	救護可能 時間(分)	最短移動時間		到達可否		屋内滞留人口(平日昼間)			重傷者率		重傷者数(平日昼間)		被害額 (平日昼間)
				平常時	地震時	平常時	地震時	在宅	勤め先 その他	屋内滞留 人口	1981年 以後	1980年 以前	1981年 以後	1980年 以前	
1	病院1	56.8	30	32.83	-	×	×	3,166	1,988	5,154	0.000000	0.000493	0.00	0.51	0
2	病院1	56.7	30	32.02	-	×	×	3,667	2,302	5,969	0.000000	0.000493	0.00	0.59	0
3	病院1	57.2	30	37.58	-	×	×	4,407	2,767	7,174	0.000000	0.000493	0.00	0.71	0
5	病院1	57.3	30	36.24	-	×	×	1,123	705	1,828	0.000000	0.000494	0.00	0.18	0
6	病院1	56.7	30	19.73	29.24	○	○	3,323	2,087	5,410	0.000000	0.000494	0.00	0.53	0
7	病院1	57.1	30	24.62	34.13	○	×	2,735	1,717	4,453	0.000000	0.000494	0.00	0.44	14,324,144
8	病院1	57.5	30	23.09	23.09	○	○	1,985	1,247	3,232	0.000000	0.000494	0.00	0.32	0
9	病院1	57.6	30	25.95	-	○	×	1,230	772	2,003	0.000000	0.000493	0.00	0.20	6,437,821
10	病院1	57.8	30	24.00	-	○	×	1,573	988	2,561	0.000000	0.000494	0.00	0.25	8,232,149
11	病院1	58.2	30	27.85	-	○	×	619	389	1,008	0.000000	0.000494	0.00	0.10	3,239,427
24	病院1	58.3	30	27.06	-	○	×	973	611	1,583	0.000000	0.000492	0.00	0.16	5,068,010
26	病院1	58.5	30	23.66	23.66	○	○	5,070	3,183	8,254	0.000000	0.000492	0.00	0.81	0
27	病院1	58.1	30	20.64	20.64	○	○	1,763	1,107	2,869	0.000000	0.000493	0.00	0.28	0
28	病院1	58.0	30	19.38	19.38	○	○	1,750	1,099	2,849	0.000000	0.000493	0.00	0.28	0
29	病院1	57.4	30	11.10	11.10	○	○	2,983	1,873	4,856	0.000000	0.000494	0.00	0.48	0
30	病院1	57.6	30	7.31	7.31	○	○	1,345	845	2,190	0.000000	0.000493	0.00	0.22	0
32	病院1	57.8	30	9.54	9.54	○	○	2,181	1,370	3,551	0.000000	0.000493	0.00	0.35	0
33	病院1	58.6	30	15.91	15.91	○	○	3,244	2,037	5,281	0.000000	0.000493	0.00	0.52	0
12	病院2	58.4	30	17.29	17.29	○	○	6,978	4,381	11,359	0.000000	0.000494	0.00	1.12	0
13	病院2	58.9	30	7.83	7.83	○	○	2,828	1,776	4,603	0.000000	0.000494	0.00	0.45	0
14	病院2	59.3	30	3.89	3.89	○	○	1,264	794	2,058	0.000000	0.000493	0.00	0.20	0
16	病院2	60.6	30	8.08	8.08	○	○	977	613	1,590	0.000154	0.000864	0.05	0.27	0
17	病院2	60.9	30	10.87	10.87	○	○	1,112	698	1,810	0.000154	0.000864	0.06	0.31	0
18	病院2	60.2	30	5.01	5.01	○	○	994	624	1,617	0.000154	0.000862	0.05	0.28	0
19	病院2	59.9	30	8.76	8.76	○	○	2,543	1,597	4,139	0.000000	0.000493	0.00	0.41	0
20	病院2	59.2	30	20.53	-	○	×	1,931	1,212	3,143	0.000000	0.000491	0.00	0.31	10,018,677
21	病院2	59.0	30	22.07	-	○	×	542	340	882	0.000000	0.000491	0.00	0.09	2,822,358
22	病院2	59.2	30	24.48	-	○	×	3,206	2,013	5,219	0.000000	0.000493	0.00	0.51	16,767,162
23	病院2	58.8	30	20.23	20.23	○	○	1,828	1,148	2,977	0.000000	0.000492	0.00	0.29	0
4	病院2	57.6	30	28.64	28.64	○	○	3,056	1,919	4,975	0.000000	0.000494	0.00	0.49	0
25	病院2	58.8	30	24.55	-	○	×	774	486	1,261	0.000000	0.000491	0.00	0.12	4,019,578

救護輸送車両の通行障害による被害額(円) 70,929,327

約0.7億円

⑤費用便益分析

本事例解析における費用便益分析のシナリオは以下の通りである。

- ・耐震補強事業を実施する年を1年目とし、補強工事は耐震性水準はH8道路橋示方書相当で、1年以内に完了するものとする。
- ・1年目は工事期間が大半を占めると考え、耐震補強による被害減少便益は生じないと仮定する。
- ・費用は、耐震補強の事業費+地震リスク(地震が生じたときの補修費用)とする。

(1)総便益

本研究における便益は、耐震補強を行うことによって軽減される被害額としていることから、表5-12のようになる。

表 5-12 総便益

評価年	直接被害の減少便益	間接被害の減少便益	便益	評価年	直接被害の減少便益	間接被害の減少便益	便益
1	0	0	0	26	105,705,706	709,724,291	815,429,997
2	225,112,332	1,511,438,654	1,736,550,986	27	102,281,770	686,735,455	789,017,225
3	218,756,870	1,468,767,104	1,687,523,974	28	98,841,446	663,636,594	762,478,039
4	212,240,977	1,425,018,402	1,637,259,379	29	95,514,458	641,298,687	736,813,144
5	206,206,841	1,384,504,294	1,590,711,136	30	92,411,264	620,463,373	712,874,638
6	200,030,462	1,343,035,139	1,543,065,601	31	89,295,785	599,545,567	688,841,352
7	194,024,149	1,302,707,836	1,496,731,985	32	86,283,255	579,318,978	665,602,233
8	188,183,958	1,263,495,894	1,451,679,852	33	83,471,787	560,442,353	643,914,140
9	182,505,993	1,225,373,173	1,407,879,167	34	80,651,425	541,506,013	622,157,438
10	176,986,417	1,188,313,892	1,365,300,309	35	77,924,535	523,197,257	601,121,792
11	171,621,444	1,152,292,643	1,323,914,088	36	75,288,099	505,495,822	580,783,921
12	166,407,347	1,117,284,399	1,283,691,746	37	72,739,193	488,382,076	561,121,269
13	161,340,457	1,083,264,521	1,244,604,978	38	70,191,621	471,277,285	541,468,906
14	156,203,478	1,048,774,059	1,204,977,536	39	67,812,570	455,303,973	523,116,543
15	151,428,448	1,016,713,776	1,168,142,224	40	65,512,689	439,862,222	505,374,911
16	146,592,094	984,241,757	1,130,833,851	41	63,289,408	424,934,771	488,224,179
17	142,093,726	954,039,024	1,096,132,750	42	61,068,977	410,026,458	471,095,434
18	137,541,875	923,477,202	1,061,019,078	43	58,994,243	396,096,378	455,090,621
19	133,129,969	893,854,989	1,026,984,959	44	56,988,766	382,631,295	439,620,061
20	128,853,976	865,145,318	993,999,294	45	54,986,937	369,190,712	424,177,649
21	124,709,968	837,321,812	962,031,780	46	53,054,792	356,217,997	409,272,789
22	120,694,117	810,358,775	931,052,892	47	51,248,502	344,090,289	395,338,791
23	116,802,696	784,231,176	901,033,871	48	49,446,357	331,990,410	381,436,768
24	113,032,073	758,914,636	871,946,709	49	47,707,027	320,312,283	368,019,310
25	109,239,907	733,453,457	842,693,364	50	46,080,415	309,390,957	355,471,371
				総便益	5,690,530,603	38,207,093,428	43,897,624,031

(2)総費用

本研究における費用は、耐震補強対策の費用と地震が発生した際に生じる補修費としていることから、表5-13のようになる。なお、上述したように、本事例解析では1年目に耐震補強対策を実施していることから、1年目の費用額は耐震対策費及び耐震補強前の地震が発生した際に生じる補修費用となっていることに注意されたい。

表 5-13 総費用

評価年	耐震補強費用	地震リスク (直接被害)	地震リスク (間接被害)	費用	評価年	耐震補強費用	地震リスク (直接被害)	地震リスク (間接被害)	費用
1	775,015,500	246,949,069	2,040,628,822	2,287,577,890	26	0	5,747,858	182,102,298	187,850,155
2	0	14,733,507	466,783,579	481,517,086	27	0	5,526,786	175,098,363	180,625,149
3	0	14,166,834	448,830,364	462,997,198	28	0	5,314,217	168,363,811	173,678,028
4	0	13,621,956	431,567,658	445,189,613	29	0	5,109,824	161,888,280	166,998,104
5	0	13,098,034	414,968,902	428,066,936	30	0	4,913,293	155,661,807	160,575,100
6	0	12,594,264	399,008,559	411,602,823	31	0	4,724,320	149,674,815	154,399,135
7	0	12,109,869	383,662,076	395,771,945	32	0	4,542,615	143,918,091	148,460,707
8	0	11,644,105	368,905,843	380,549,947	33	0	4,367,899	138,382,780	142,750,679
9	0	11,196,255	354,717,156	365,913,411	34	0	4,199,903	133,060,365	137,260,269
10	0	10,765,629	341,074,189	351,839,818	35	0	4,038,368	127,942,659	131,981,028
11	0	10,351,567	327,955,951	338,307,517	36	0	3,883,047	123,021,788	126,904,834
12	0	9,953,430	315,342,260	325,295,690	37	0	3,733,699	118,290,180	122,023,879
13	0	9,570,605	303,213,712	312,784,317	38	0	3,590,095	113,740,558	117,330,653
14	0	9,202,505	291,551,646	300,754,151	39	0	3,452,014	109,365,921	112,817,935
15	0	8,848,563	280,338,121	289,186,684	40	0	3,319,245	105,159,540	108,478,784
16	0	8,508,233	269,555,886	278,064,119	41	0	3,191,581	101,114,942	104,306,523
17	0	8,180,994	259,188,352	267,369,345	42	0	3,068,828	97,225,906	100,294,734
18	0	7,866,340	249,219,569	257,085,909	43	0	2,950,796	93,486,448	96,437,244
19	0	7,563,788	239,634,201	247,197,989	44	0	2,837,304	89,890,815	92,728,119
20	0	7,272,873	230,417,501	237,690,374	45	0	2,728,177	86,433,476	89,161,653
21	0	6,993,148	221,555,289	228,548,437	46	0	2,623,247	83,109,112	85,732,359
22	0	6,724,180	213,033,932	219,758,112	47	0	2,522,353	79,912,607	82,434,960
23	0	6,465,558	204,840,319	211,305,877	48	0	2,425,339	76,839,046	79,264,385
24	0	6,216,883	196,961,845	203,178,728	49	0	2,332,057	73,883,698	76,215,755
25	0	5,977,772	189,386,390	195,364,162	50	0	2,242,363	71,042,017	73,284,380
					総費用	0	573,961,188	12,400,951,444	12,974,912,633

(3)費用対効果

(1)、(2)より本事例解析における対象道路全区間の B/C は表 5-14 の通りである。表より、B/C>1 となることから、本対策事業は社会経済的に見ても効果が大きいとわかる。

表 5-14 費用便益比

費用便益比(B/C)						
直接被害			間接被害			計
物的被害	人的被害	計	迂回損失	緊急車両の通行 障害による被害	計	
3.25	1.97	4.22	4.08	0.00	2.90	3.19

また、対象道路の路線毎に費用便益比を計算した結果を表 5-15 に示す。

表 5-15 各路線の費用便益比

区間	費用便益比(B/C)						
	直接被害			間接被害			計
	物的被害	人的被害	計	迂回損失	緊急車両の通行 障害による被害	計	
I	4.83	1.05	4.36	0.01	0.00	0.004	0.03
II	8.05	5.43	8.49	7.23	0.00	1.77	2.00
III	2.65	1.98	3.81	3.97	0.00	2.07	2.42
IV	1.89	0.92	2.51	5.18	0.00	2.04	2.11

表 5-15 の結果より、どの区間を優先的に補強対策をするかを決定する 1 つの判断材料になると考えられる。例えば、間接被害を含めた社会経済的な観点からは、区間 I よりも区間 II ~ IV の耐震補強対策が優先される。また、物的・人的損失額という観点に着目すると区間 II が優先されるであろうし、迂回損失という観点からは、区間 II、IV が優先されるであろう。

第6章 結論

本資料では、道路施設に対する地震時の防災投資効果の評価手法について、実務的に利用できるツールという観点から取りまとめた。また、第3章で述べた地震時の損失評価手法を用いて、事例解析を行った。本章では、研究の成果をまとめるにあたり、抽出された今後の課題について述べる。

(1) 情報について

全ての評価の基本となる地震被害関数が、橋梁以外の殆どの施設に対して整備されていないのが現状であり、今後これらを整備する必要がある。また、橋梁についての研究成果も橋脚など、特定部位に限ったものが多く、本業務で必要する情報までにはいたっていない。また、地震時・後の各種被害額を算定するためには、各施設の被害額だけでなく、被害の程度、またこれに応じた交通状況の低下度などの情報も必要になる。このため将来的に地震被害関数を整備するのであれば、このような被害程度とそれが与える影響までを考慮した評価が必要となる。

(2) 評価単位について

道路施設本体、道路施設の損傷に起因する被害額については施設位置での被害額をそれぞれ算出するため、被害額の評価単位として個別施設すなわち点であり、最終的にはこれら点全てを合計し被害額を算定している。一方、迂回損失に関しては、対象道路である程度交通量が均一であると思われる区間、つまり評価単位を線とし被害額を算定している。さらに、緊急車両の通行障害においては、道路周辺地域の波及被害を評価しているため、評価単位はエリア（消防署の分担エリア、救護医療機関の分担エリア）すなわち面的な被害額を算定している。どの項目も道路防災事業として評価すべき項目であると考えますが、施設個々で評価しているもの、区間で評価しているもの、道路周辺を面的に評価しているものとそれぞれ異なる。これら全てを合算してよいものかどうかは今後検討すべき課題と考える。

(3) 計上すべき被害額について

現状は、添架ライフライン配管、跨線橋下の鉄道車両の被害額、ならびにこれらが損傷した場合の利用者・事業者の被害額を計上しているが、収集情報、被害範囲の限定にかなり割り切った仮定を行っている。また、これらが道路防災事業として計上すべき評価項目であるか否かなど、災害時の責任の所在などについての検討が現状できていないため、今後これら評価項目が、本当に道路防災事業として計上すべき被害額であるかは検討する必要があると思われる。

(4) 被害の貨幣換算について

地震被害を貨幣価値化することは様々な防災施策の検討、事業評価のための費用便益分析では必要なことである。しかしながら、どの被害をどこまで金銭価値化すべきか、特に人命は本来貨幣価値できないものであり、如何に客観的な根拠・情報を参照し設定しても、この金額であれば必ず社会的に合意されるというものはない。また、妥当な数値であっても特定被害について過大被害額を計上されると、他の被害が全体に与える影響を過小評価してしまう可能性もある。全体被害額における被害額のバランスや、特に人命価値の評価方法については、今後も検討していくべき項目と考

える。

(5) 被害関数について

本研究における被害関数の設定は、現段階で最善と思われるものを用いた。しかしながら、(1)でも述べたように問題点もあり、今後の研究課題であると考えられる。

- ・本研究における橋梁の被害関数においては、耐震補強後は H8 年道路橋示方書と同レベルとして計算を行ったが、実際には補強後の被害関数を設定すべきであると考えられる。
- ・盛土の被災度と影響率の設定においては、他の道路施設との整合性および実状に即しているかどうかの観点から、今後の研究課題であると考えられる。

なお、上記は今後将来的に解決していくべきものであるが、現状の評価方法についても、今後複数地域のケーススタディ等により評価方法の問題点を抽出し、さらに検討していく必要があると思われる。また、検討時点において評価に必要な研究成果・公開情報が得られればそれらを逐次充実させていく必要があると考える。

参考文献

- 1) 土木学会 耐震性基準等に関する提言, (社)土木学会, 1996年5月20日, pp4, 7, 21, 23-26, 34, 58, 70-74
- 2) 新時代を迎える地震対策－地震に強いみちづくりへの提言, 建設省道路局道路防災対策室監修, pp14-17
- 3) 水谷守・中村孝明・下野正人・亀村勝美: 確率論的アプローチによる地震リスクマネジメント(SRM)手法の提案, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集, pp738-739, 1996年9月
- 4) 上田孝行, 「防災投資の便益評価－不確実性と不均衡の概念を念頭において－」, 道路計画学研究・講演集 No.19(2), pp17, 1996年11月
- 5) 社会基盤施設の耐震性水準の合理的な設定方法に関する基礎的研究, 第25回地震工学研究発表会, 1997.7
- 6) 社会基盤施設の耐震性水準の合理的な設定方法に関する基礎的研究, 第22回土木計画学研究発表会, 1997.10
- 7) 中村孝明, 星谷勝, 望月智也: 地震リスクを考慮した確率論的 DCF 法による資産価格とマネジメント, 土木学会論文集, 2004.1
- 8) Takahashi Toshimasa, Kobayashi Shunji, Fukushima Yoshimitsu, Zhao John X., Nakamura Hirokazu, Somerville Paul G: A Spectral Attenuation Model for Japan Using Strong Motion Data Base, Proc.6th International Conference of Seismic Sonation, 2000.
- 9) 内閣府, 「地震被害想定支援マニュアル」, <http://www.susono.com/new/nsvc/siryo/manual/>
- 10) 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 長期的な地震発生確率の評価手法について, 2001
- 11) 中尾吉宏, 日下部毅明, 村越潤, 田村敬一: 確率論的な地震ハザードマップの作成手法, 国土技術政策総合研究所研究報告, No.16, 2003.10
- 12) 松田時彦, 古川真希: 陸域の $M \geq 5$ 地震と活断層の分布関係－断層と地震の分布関係－その 2, 活断層研究, 13, 2001
- 13) 活断層研究会: 新編日本の活断層, 東京大学出版会, 1991
- 14) 科学技術庁, 平成7年度・平成8年度地震調査研究交付金成果報告会, 1997
- 15) 科学技術庁, 平成9年度地震調査研究交付金成果報告会, 1998
- 16) 科学技術庁, 平成10年度地震調査研究交付金成果報告会, 1999
- 17) 科学技術庁, 平成11年度地震調査研究交付金成果報告会, 2000
- 18) 文部科学省, 平成12年度地震調査研究交付金成果報告会, 2001
- 19) 地震調査所, 平成9年度活断層・古地震研究調査概要報告書, 1998
- 20) 地震調査所, 平成10年度活断層・古地震研究調査概要報告書, 1999
- 21) 損害保険料率算定会, 被害地震と活断層の都道府県別一覧, 1999
- 22) 松田時彦: 陸上活断層の最新活動期の表, 活断層研究, 13, 1995
- 23) 荻原尊禮: 日本列島の地震－地震工学と地震地体構造－鹿島出版, 1991
- 24) 真田晃宏, 長屋和宏, 日下部毅明, 村越潤: 動的解析を用いた RC 橋脚の被害関数に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, No.***, 2004.4
- 25) 中村孝明, 岡田和明, 本間直樹: 統計手法による地震時斜面崩壊確率に関する研究, 土木学会論文集, No.570/I-40, pp.73-82, 1997.7

- 26) 道路投資の評価に関する指針（案），道路投資の評価に関する指針検討委員会編，(財)日本総合研究所,1998
- 27) 長谷川浩一,翠川三郎：地域メッシュ統計を利用した広域での都市建築物群の震害予測，第10回日本地震工学シンポジウム, pp.3379-3384, 1998.
- 28) 土木構造物の耐震設計法等に関する第3次提言，土木学会，2000.6
- 29) 災害リスク研究の最前線と社会への提言，土木学会，2000.7
- 30) 課題への対応，国土交通省公共事業評価システム研究会，2002.8
(<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/13/130830.html>)
- 31) インシュアランス損害保険統計号－平成13年度版，保険研究所，2001.12等
- 32) 多々納裕一，災害リスクマネジメントにおける最近の話題，災害リスク研究の最前線と社会への提言，土木学会，2000.7
- 33) 旧建設省：治水経済マニュアル（案），P.87，2000.

卷末付録

巻末付録

1. 橋梁、盛土の耐震性能に基づいた試設計

①橋梁

(1)本研究における橋梁の被害関数の設定方法

第3章の図3-2の橋梁についての地震動強さと損傷度の関係は、橋脚の被害関数のみから橋梁全体の損傷度を推定している。本来であれば、上部構造を含めた被害関数から橋梁全体の損傷度を推定しなければならないが、現段階では困難である。また、構造物がある地震動を受けた場合の損傷状態には小被害から大被害まであり、ある地震動に対して確定的な被害が生じるとするのは実状と異なる。一方で、図1(1)～(5)に示すようなフラジリティ曲線を用いて被害額の推定を行うと計算が非常に煩雑となり、事業評価者が本手法を用いる際に大きな負担となる。そこで、本研究における防災投資効果の評価手法は実務的な観点からまとめたものであるため、図3-2のように、ある地震動に対して確定的な被害が生じると仮定した。図3-2の設定方法は、図1を用いて以下とおりとする。

- (a) 損傷度 A(倒壊)及び損傷度 D(被害なし)の確率が75%以上の部分は、各々の損傷状態になるとする。
- (b) 75%以下の部分は、間の損傷が生じる、つまり、損傷度 B、Cが生じるとし、発生確率を以下のように仮定する。

損傷度 B の発生確率 → 損傷度 A の発生確率 + 損傷度 B の発生確率

損傷度 C の発生確率 → 損傷度 C と発生確率 + 損傷度 D の発生確率

(c) (a)以外の部分では、発生確率の高い損傷度が確定的に生じるとする。

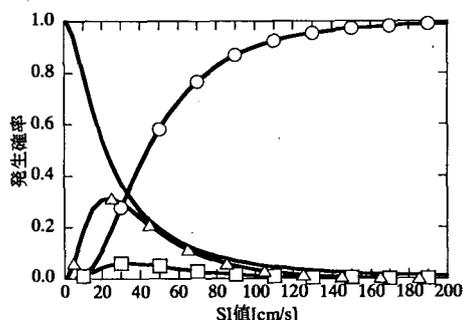


図1(1) 昭和55年以前道路橋示方書

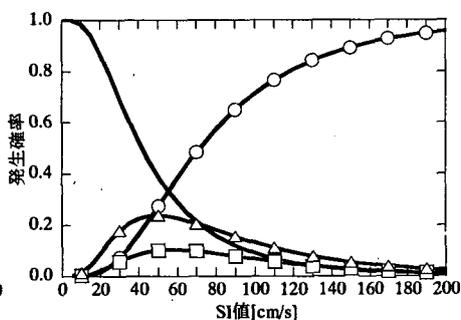


図1(2) 昭和55年道路橋示方書

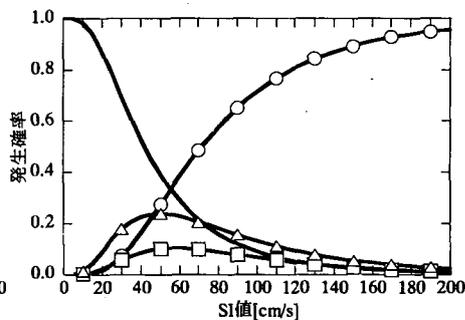


図1(3) 平成2年道路橋示方書

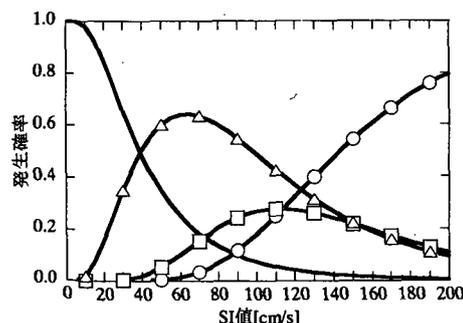


図1(4) 平成7年道路橋示方書

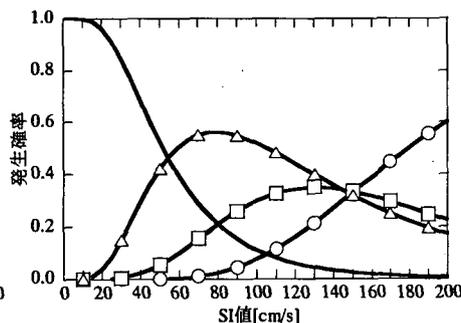
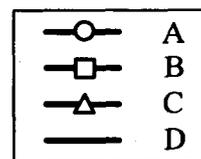


図1(5) 平成8年道路橋示方書

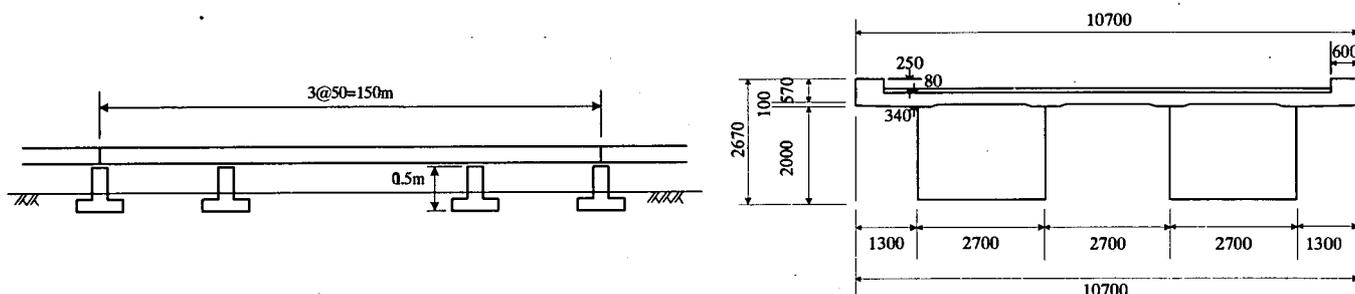


A	倒壊。損傷変形が著しく大きい。鉄筋の破断等の損傷または変形が大きい。
B	鉄筋の一部の破断やはらみだしおよび部分的なかぶりコンクリートの剥離や亀裂がみられる。
C	ひびわれの発生や局所的なかぶりコンクリートの剥離がみられる。
D	損傷がないか、あっても耐荷力に影響のない極めて軽微なもの。

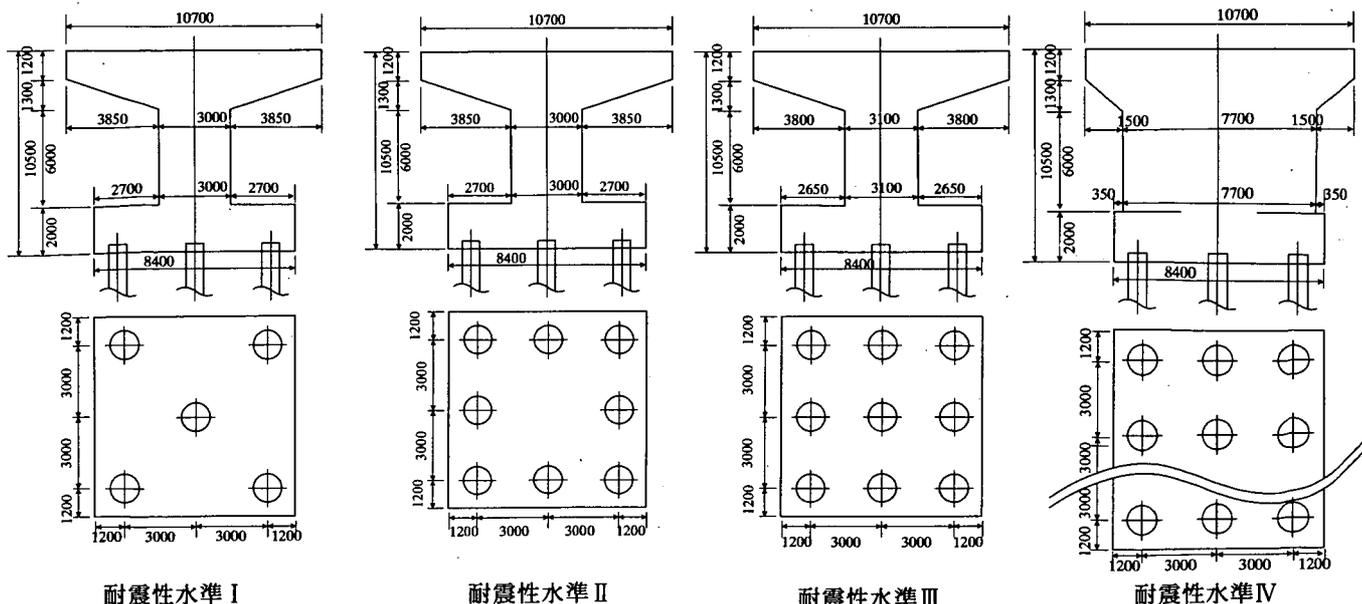
(2) 耐震性水準別の橋梁の試設計

本研究で試設計した橋梁の主な構造・地盤条件は以下の通りである。

- ・構造形式：上下線分離構造
- ・橋梁形式：3径間連続橋(3×50m=150m、幅員 10.7m、片側 2車線)
- ・上部工形式：RC床版鋼箱桁(2主桁)
 - 支承条件：反力分散支承
 - 死活重反力：6200kN(=橋脚が支持する上部工重量)
 - 活加重反力：4700kN
- ・下部工形式：RC橋脚(高さ 10m)
- ・基礎工形式：場所打ち杭(CCOφ1200 (D32-20)、杭長 22m)
- ・地盤条件：Ⅱ種地盤
- ・地層構成：第1層(フーチング下面-0.0m~10.0m、粘性土層、平均N値 4)
 - 第2層(フーチング下面-10.0m~20.0m、砂質土層、平均N値 20)
 - 第3層(フーチング下面-20.0m以深、砂レキ層、平均N値 50以上)



	耐震性水準Ⅰ (L1地震動に対し健全)	耐震性水準Ⅱ (L2地震動に対し致命的損傷を防止)	耐震性水準Ⅲ (L2地震動に対し限定的な損傷)	耐震性水準Ⅳ (L2地震動に対し健全)
支承	950×950×100 常時の $\gamma=45\%$ 地震時の $\gamma=76\%$	1450×1450×100 常時の $\gamma=30\%$ 地震時の $\gamma=243\%$	1450×1450×100 常時の $\gamma=30\%$ 地震時の $\gamma=243\%$	1450×1450×100 常時の $\gamma=30\%$ 地震時の $\gamma=243\%$
柱	3000×2000 橋軸方向の鉄筋=D32 ctc. 125 橋軸直角方向の鉄筋=D32 ctc. 125	3000×2000 橋軸方向の鉄筋=D32 ctc. 125 橋軸直角方向の鉄筋=D32 ctc. 125	3100×2100 橋軸方向の鉄筋=D32 ctc. 125 橋軸直角方向の鉄筋=D32 ctc. 125	7700×3200 橋軸方向の鉄筋=2×D38 ctc. 125 橋軸直角方向の鉄筋=2×D32 ctc. 125
杭	5本	8本	9本	27本



また、新設時及び各被災状況時における建設費・補修費を調査した。調査結果を表1(1)～(2)に示す。

表1(1) 橋梁の新設時の建設費用[単位：千円]

		備考	単価	単位	耐震性水準Ⅰ		耐震性水準Ⅱ		耐震性水準Ⅲ		耐震性水準Ⅳ	
					数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額
上部工	上部工面積		300	m ²	1,425.00	427,500	1,425.00	427,500	1,425.00	427,500	1,425.00	427,500
支承	支承体積		15,000	m ³	0.54	8,130	1.89	28,350	1.89	28,350	1.89	28,350
橋脚	コンクリート	掘削込み	30	m ³	663.00	19,890	663.00	19,890	678.00	20,340	2,012.00	60,360
	鉄筋		110	t	71.70	7,887	80.80	8,888	83.30	9,163	212.00	23,320
	型枠		14	m ²	576.00	8,064	576.00	8,064	586.00	8,204	1,020.00	14,280
杭	杭長(φ1200)		80	m	330.00	26,400	528.00	42,240	594.00	47,520	1,320.00	105,600
費用概算						498,000		535,000		542,000		667,000

表1(2) 橋梁の被災状況別の費用[単位：千円]

		単位	単価	備考	中規模被害		大規模被害		大被害		落橋	
					数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額
上部工	上部工面積	m ²	300		0.0	0	0.00	0	0.0	0	0.0	0
	補修重量	t	1,000		0.0	0	0.00	0	96.3	96,300	0.0	0
	架替面積	m ²	400	撤去込み	0.0	0	0.00	0	0.0	0	1425.0	570,000
支承	支承体積	m ³	15,000		0.0	0	0.00	0	0.0	0	0.0	0
	取替え体積	m ³	23,000		0.0	0	0.00	0	1.9	43,470	1.9	43,470
橋脚	コンクリート	m ³	30	掘削込み	0.0	0		0	678.0	20,340	678.0	20,340
	鉄筋	t	110		0.0	0		0	83.3	9,163	83.3	9,163
	型枠	m ²	14		0.0	0		0	586.0	8,204	586.0	8,204
	ひび割れ補修	m ²	20		187.2	3,744	0.00	0	0.0	0	0.0	0
	断面補修	m ²	50		0.0	0	180.00	9,000	0.0	0	0.0	0
	取り壊し撤去	m ³	40		0.0	0	0.00	0	678.0	27,120	678.0	27,120
杭	杭長(φ1200)	m	80		0.0	0	0.00	0	594.0	47,520	594.0	47,520
	撤去処分	m	90		0.0	0	0.00	0	594.0	53,460	594.0	53,460
費用概算						4,000		9,000		306,000		780,000

②盛土

本研究で試設計した盛土の主な構造・地盤条件は以下の通りである。

- ・盛土高さ：10m
- ・盛土天端幅：14m
- ・盛土材料： $\gamma=18\text{kN/m}^3$ 、 $\phi=30^\circ$ 、 $c=0$
- ・基礎地盤材料： $\gamma=18\text{kN/m}^3$ 、 $\phi=30^\circ$ 、 $c=0$
- ・地盤改良： $\gamma=18\text{kN/m}^3$ 、 $\phi=0^\circ$ 、 $c=300\text{kN/m}^2 \times$ 改良面積比
- ・盛土改良(セメント安定処理)： $\gamma=18\text{kN/m}^3$ 、 $\phi=0^\circ$ 、 $c=50\text{kN/m}^2$ (\times 改良率)
- ・計算方法：地表面加速度を重力加速度で除して設計震度とし、円弧すべり法により計算を行う。耐震性評価は、安全率 1.0 を満足するものを健全、任意の損傷状態はニューマーク法による沈下量から推定することとした。また、ニューマーク法から沈下量を推定する場合の地表面の地震動波形は、「1995年兵庫県南部地震 大阪ガス葺合供給所構内地盤上記録」の波形を対象最大化速度により振幅調整して用いた。

表 2-1 盛土の耐震性水準別の条件

	耐震性水準Ⅰ (L1地震動に対し健全)	耐震性水準Ⅱ (L2地震動に対し致命的損傷を防止)	耐震性水準Ⅲ (L2地震動に対し限定的な損傷)	耐震性水準Ⅳ (L2地震動に対し健全)
耐震性評価	地表面加速度100galに対する安全率：1.0	地表面加速度700galに対する安全率：	地表面加速度700galに対する安全率：	地表面加速度700galに対する安全率：1.0
法勾配	1:1.8	1:1.8	1:1.8	1:1.8
盛土改良	30kN/m ² (改良率60%)	35kN/m ² (改良率70%)	40kN/m ² (改良率80%)	40kN/m ² (改良率80%)
地盤改良	なし	なし	なし	170kN/m ² (改良率50%)

表 2-2(1) 盛土の新設時の建設費用[単位：千円]

新設			耐震性水準Ⅰ			耐震性水準Ⅱ			耐震性水準Ⅲ			耐震性水準Ⅳ		
		単位	数量	単価	金額	数量	単価	金額	数量	単価	金額	数量	単価	金額
土工	盛土	m ³	42,000	2.0	84,000	42,000	2.4	100,800	42,000	2.7	113,400	42,000	2.7	113,400
	法面整形	m ²	6,177	0.5	3,089	6,177	0.5	3,089	6,177	0.5	3,089	6,177	0.5	3,089
舗装	地盤改良	m ³										196,875	4.3	846,563
	路盤+As舗装	m ²	1,500	5.4	8,100	1,500	5.4	8,100	1,500	5.4	8,100	1,500	5.4	8,100
費用概算			96,000			112,000			125,000			972,000		

表 2-2(2) 盛土の耐震性水準Ⅰの被災度別補修費用[単位：千円]

耐震性水準Ⅰ		軽微な損傷				大規模損傷				崩壊					
	単位	数量	単価	金額	備考	数量	単価	金額	備考	数量	単価	金額	備考		
土工	盛土	m ³	0	2.4	0	70%	0	2.0	0	60%	0	2.0	0	60%	
	法面整形	m ²	0	0.5	0		6,177	0.5	3,089		6,177	0.5	3,089		
	盛土補修	m ³					2,100	6.0	12,600	t=1.0m	14,000	6.0	84,000	1/3	
	法面補修	m ²	1,853	0.9	1,668	30%	0	0.9	0	30%	0	0.9	0	30%	
舗装	路盤+As舗装	m ²	0	5.4	0		1,500	5.4	8,100		1,500	5.4	8,100		
	オーバーレイ	m ²	1,500	1.7	2,550	t=125	0	1.7	0	t=125	0	1.7	0	t=125	
	舗装撤去	m ³					150	30.0	4,500		150	30.0	4,500		
	路盤撤去	m ³					750	5.0	3,750		750	5.0	3,750		
基礎地盤	補強	m ³											20%		
費用概算													130,500		
					5,000						32,500				

表 2-2(3) 盛土の耐震性水準Ⅱの被災度別補修費用[単位：千円]

耐震性水準Ⅱ		軽微な損傷				中規模損傷				大規模損傷				崩壊						
	単位	数量	単価	金額	備考	数量	単価	金額	備考	数量	単価	金額	備考	数量	単価	金額	備考			
土工	盛土	m ³	0	2.4	0	70%	0	2.4	0	70%	0	2.4	0	70%	0	2.4	0	70%		
	法面整形	m ²	0	0.5	0		3,088	0.5	1,544		6,177	0.5	3,089		6,177	0.5	3,089			
	盛土補修	m ³					1,050	6.0	6,300	T=0.5m	2,100	6.0	12,600	t=1.5m	14,000	6.0	84,000	1/3		
	法面補修	m ²	1,853	0.9	1,668	30%	0	0.9	0	30%	0	0.9	0	30%	0	3.0	0	30%		
舗装	路盤+As舗装	m ²	0	5.4	0		750	5.4	4,050		1,500	5.4	8,100		1,500	5.4	8,100			
	オーバーレイ	m ²	1,500	1.7	2,550	t=125	750	1.7	1,275	t=125	0	1.1	0	t=80	0	1.7	0	t=125		
	舗装撤去	m ³					0	30.0	0		150	30.0	4,500		150	30.0	4,500			
	路盤撤去	m ³					75	5.0	375		750	5.0	3,750		750	5.0	3,750			
基礎地盤	補強	m ³																20%		
	地盤改良	m ³	0	10.0	0		0	10.0	0					13,500	2.0	27,000	B=18m			
費用概算																		130,500		
					4,500						14,000					32,500				

表 2-2(4) 盛土の耐震性水準Ⅲの被災度別補修費用[単位：千円]

耐震性水準Ⅲ		軽微な損傷				中規模損傷				大規模損傷				崩壊						
	単位	数量	単価	金額	備考	数量	単価	金額	備考	数量	単価	金額	備考	数量	単価	金額	備考			
土工	盛土	m ³	0	2.7	0	1	0	2.7	0	80%	0	2.7	0	80%	0	2.7	0	80%		
	法面整形	m ²	0	0.5	0		3,088	0.5	1,544		6,177	0.5	3,089		6,177	0.5	3,089			
	盛土補修	m ³					1,050	6.0	6,300	T=0.5m	2,100	6.0	12,600	T=1.0m	14,000	6.0	84,000	1/3		
	法面補修	m ²	1,853	0.9	1,668	30%	0	0.9	0	30%	0	0.9	0	30%	0	3.0	0	30%		
舗装	路盤+As舗装	m ²	0	5.4	0		750	5.4	4,050		1,500	5.4	8,100	t=80	1,500	5.4	8,100			
	オーバーレイ	m ²	1,500	1.7	2,550	t=125	750	1.7	1,275	t=125	0	1.7	0		0	1.7	0	t=125		
	舗装撤去	m ³					0	30.0	0		150	30.0	4,500		150	30.0	4,500			
	路盤撤去	m ³					75	5.0	375		750	5.0	3,750		750	5.0	3,750			
基礎地盤	補強	m ³																20%		
	地盤改良	m ³	0	10.0	0		0	10.0	0					13,500	2.0	27,000	B=18m			
費用概算																		130,500		
					4,500						14,000					32,500				

表 2-2(5) 盛土の耐震性水準Ⅳの被災度別補修費用[単位：千円]

耐震性水準Ⅳ		数量	単位	単価	金額	備考
土工	盛土	0	m ³	2.7	0	80%
	法面整形	0	m ²	0.5	0	
	盛土補修	0	m ³	4.3	0	50%
	法面補修	1,853	m ²	0.9	1,668	t=300,30%
舗装	路盤+As舗装	0	m ²	5.4	0	
	オーバーレイ	1,500	m ²	1.7	2,550	t=125
基礎地盤	地盤改良	0	m ³	10.0	0	
費用概算						4,500

2. 道路施設に対する耐震性水準の設定に関する検討

第3章では、単一道路施設ではなく、橋梁、盛土、斜面等複数の土木構造物から構成される道路網として考え、地震時の損失を個々の道路ではなく道路網としての通行機能を評価した。

ここでは、単一の橋梁に対して、新規建設時における最適な耐震性水準を設定する方法について一検討を行った。ここで用いた手法は、巻末付録1に示した複数の耐震性水準に対して行ったし設計および耐震性能評価を基に地震被害による期待損失を算出し、それに初期建設費を加えたトータルコストを各耐震性水準に対して計算する。そして、それらの関係について検討を行うことで、適切な耐震性水準を設定する手法の検討を行った。図-2にトータルコスト算出のフローチャートを示す。

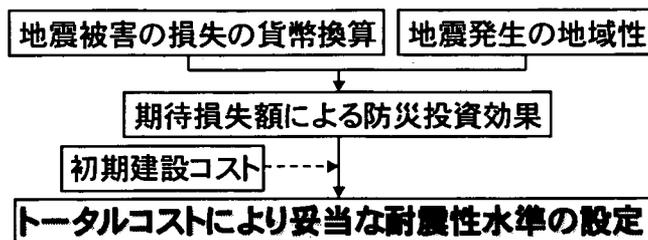


図2 トータルコスト算出のフローチャート

橋梁を対象として、4パターンの耐震性水準に対する試設計(巻末付録1参照)及びその地震時性能の評価をもとに、地震被害による期待損失の試算を行った。また、初期建設費用と期待損失の和であるトータルコストとの関係について検討を行った。なお、試設計において、耐震性水準Ⅱは、道路橋示方書におけるA種橋、耐震性水準ⅢはB種橋に相当する。

道路施設の地震被害に伴う損失項目としては、①損傷した構造物を復旧するための再調達価格、②施設を通行中の利用者が被災することによる人的損失、③地震後の交通規制に伴う通行車両の迂回損失、の3つを考慮した。そして、それぞれ貨幣換算するとともに各地震動レベルの発生確率との積をとることにより、各耐震性水準の持つ期待損失を算出、さらに初期建設費用との和をとることによりトータルコストの算出を行った。なお、主な試算条件は次の通りである。

橋梁における試算結果を表-3に示す。また、トータルコストと耐震性水準の関係を示したものを図-3に示す。図より、トータルコストが最小となる耐震性水準が経済的な観点から最適なものとなることより、本試算では耐震性水準Ⅲが最適となる。

このように、施設の地震被害による期待損失を貨幣ベースで表現することができ、これを各耐震性水準で比較することにより地震防災投資効果を算出することも可能である。また、複数の耐震性水準に対して、初期建設費用と期待損失を考慮することにより、費用対効果の観点から適切な耐震性水準の設定を行うことができる。

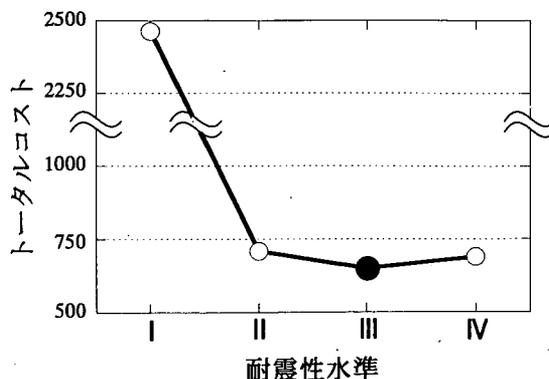


図3 トータルコストの試算結果

表3 耐震性水準別のトータルコスト計算表

耐震性水準I	地震動強度	100	250	500	700	900	1100	期待損失
	超過確率	0.9427	0.3895	0.0586	0.0121	0.0027	0.001	
	(発生確率)	0.5532	0.3309	0.0465	0.0094	0.0017	0.001	
	被災度	損傷なし	損傷なし	落橋	落橋	落橋	落橋	
物的損失	復旧費用	0	0	701	701	701	701	41.1
人的損失額	人的損失額	0.0	0.0	168.1	168.1	168.1	168.1	9.9
	死亡[人]	0.0	0.0	3.6	3.6	3.6	3.6	
	後遺症[人]	0.0	0.0	4.2	4.2	4.2	4.2	
	完治[人]	0.0	0.0	6.5	6.5	6.5	6.5	
迂回損失	交通止め期間	0	0	10	10	10	10	1788.8
	迂回時間損失額	0.0	0.0	30525.9	30525.9	30525.9	30525.9	
	迂回距離損失額	0.0	0.0	2161.4	2161.4	2161.4	2161.4	
総損失額		0.0	0.0	33556.4	33556.4	33556.4	33556.4	1966.4
初期建設費用								498
トータルコスト								2464.4

耐震性水準II	地震動強度	100	250	500	700	900	1100	期待損失
	超過確率	0.9427	0.3895	0.0586	0.0121	0.0027	0.001	
	(発生確率)	0.5532	0.3309	0.0465	0.0094	0.0017	0.001	
	被災度	損傷なし	軽微な損傷	中規模損傷	大規模損傷	落橋	落橋	
物的損失	復旧費用	0	0	4	9	767	767	2.3
人的損失額	人的損失額	0.0	0.0	0.0	5.1	168.1	168.1	0.5
	死亡[人]	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	3.6	
	後遺症[人]	0.0	0.0	0.0	0.4	4.2	4.2	
	完治[人]	0.0	0.0	0.0	0.6	6.5	6.5	
迂回損失	交通止め期間	0	0	0.3	1	10	10	158.4
	迂回時間損失額	0.0	0.0	1017.5	3052.6	30525.9	30525.9	
	迂回距離損失額	0.0	0.0	72.0	216.1	2161.4	2161.4	
総損失額		0.0	0.0	1093.6	3282.8	33622.4	33622.4	172.5
初期建設費用								535
トータルコスト								707.5

耐震性水準III	地震動強度	100	250	500	700	900	1100	期待損失
	超過確率	0.9427	0.3895	0.0586	0.0121	0.0027	0.001	
	(発生確率)	0.5532	0.3309	0.0465	0.0094	0.0017	0.001	
	被災度	損傷なし	軽微な損傷	中規模損傷	中規模損傷	大被害	落橋	
物的損失	復旧費用	0	0	4	4	306	780	1.5
人的損失額	人的損失額	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	168.1	0.2
	死亡[人]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	
	後遺症[人]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	4.2	
	完治[人]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	6.5	
迂回損失	交通止め期間	0	0	0.3	0.3	2.5	10	100.4
	迂回時間損失額	0.0	0.0	1017.5	1017.5	7631.5	30525.9	
	迂回距離損失額	0.0	0.0	72.0	72.0	540.4	2161.4	
総損失額		0.0	0.0	1093.6	1093.6	8482.9	33635.4	109.2
初期建設費用								542
トータルコスト								651.2

耐震性水準IV	地震動強度	100	250	500	700	900	1100	期待損失
	超過確率	0.9427	0.3895	0.0586	0.0121	0.0027	0.001	
	(発生確率)	0.5532	0.3309	0.0465	0.0094	0.0017	0.001	
	被災度	損傷なし	損傷なし	損傷なし	損傷なし	大規模損傷	大規模損傷	
物的損失	復旧費用	0	0	0	0	148	148	0.4
人的損失額	人的損失額	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	5.1	0.01
	死亡[人]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	後遺症[人]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	
	完治[人]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	
迂回損失	交通止め期間	0	0	0	0	2.5	2.5	20.6
	迂回時間損失額	0.0	0.0	0.0	0.0	7631.5	7631.5	
	迂回距離損失額	0.0	0.0	0.0	0.0	540.4	540.4	
総損失額		0.0	0.0	0.0	0.0	8324.9	8324.9	22.5
初期建設費用								667
トータルコスト								689.5



国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No. 160

March 2004

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675