

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

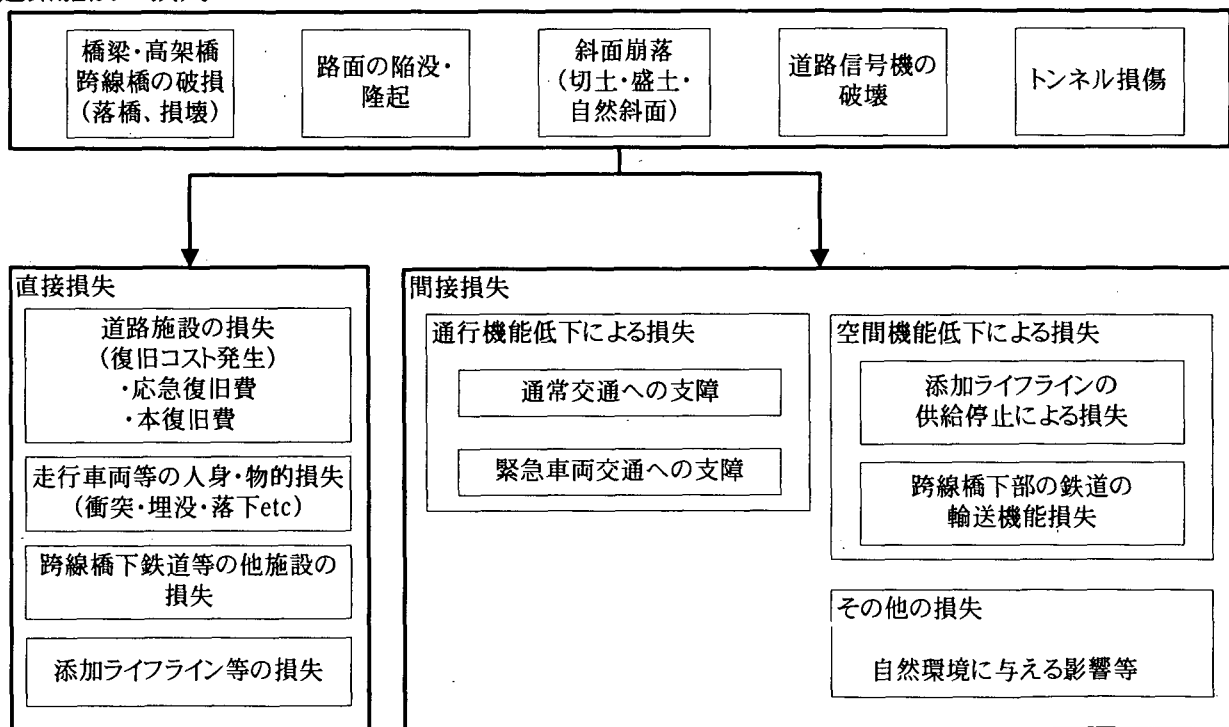


図3-1 道路施設の地震被害を起因とする損失

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	被害額評価の難易度	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	路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、走行総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、走行総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	
	路線橋下部の鉄道機能停止	大	△	路線橋の落橋により、路線橋下部の鉄道の運転が停止し、鉄道利用者と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	
空間機能低下による損失	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害額を被る被害額である。水道幹線網等のデータ管理者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	
	自然環境の悪化	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	
その他					

○: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。

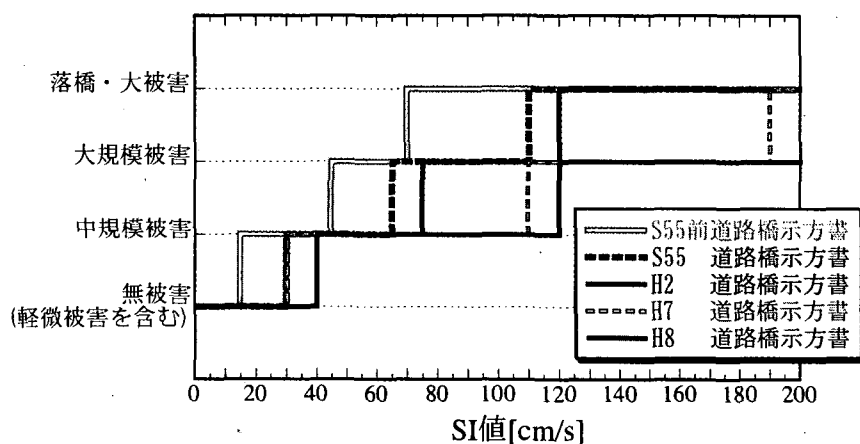


図 3-2 地震動強さと被災レベル

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。

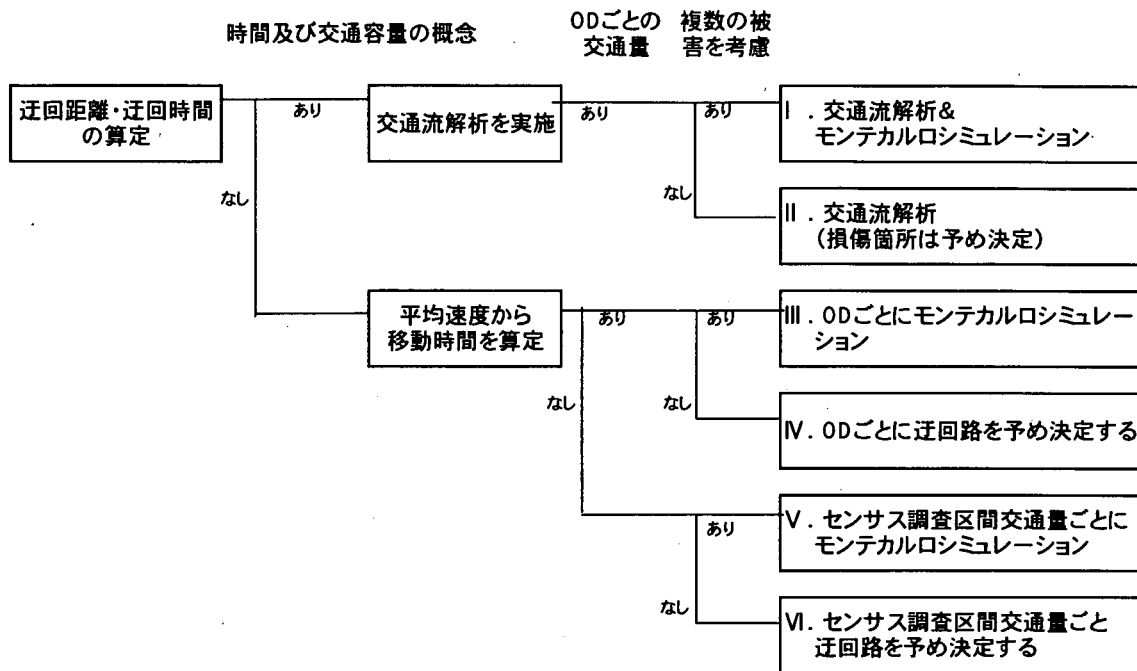


図 3-3 迂回損失の算定手法の体系的整理

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	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	×	(一般にデータの入手は困難)	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	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	×	(データ入手は比較的容易)	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、迂回路の通行不能確率は考慮しない

交通流解析	長所	・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
	短所	・膨大な計算量が必要
モンテカルロシミュレーション	長所	・緊急車両、避難目的の車両等のOD交通量も想定する必要がある
	短所	・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	長所	・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
	短所	・データの入手は困難
一般交通に対するOD別、車種別交通量	長所	・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
	短所	・データの入手は一般的に困難
センサス調査区間の車種別交通量	長所	・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
	短所	・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

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。

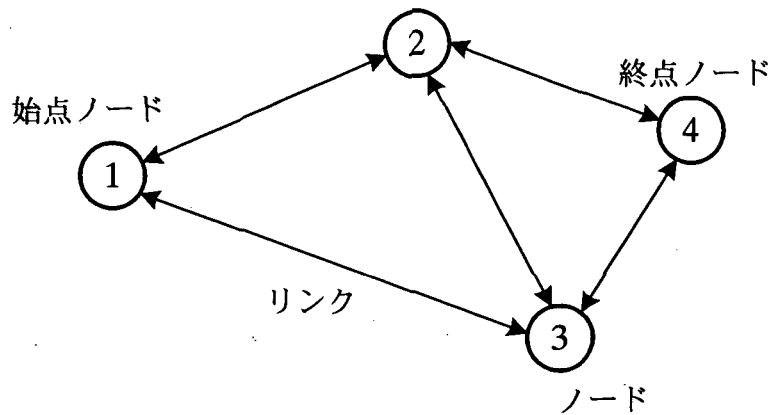


図3-4 リンク・ノードモデル

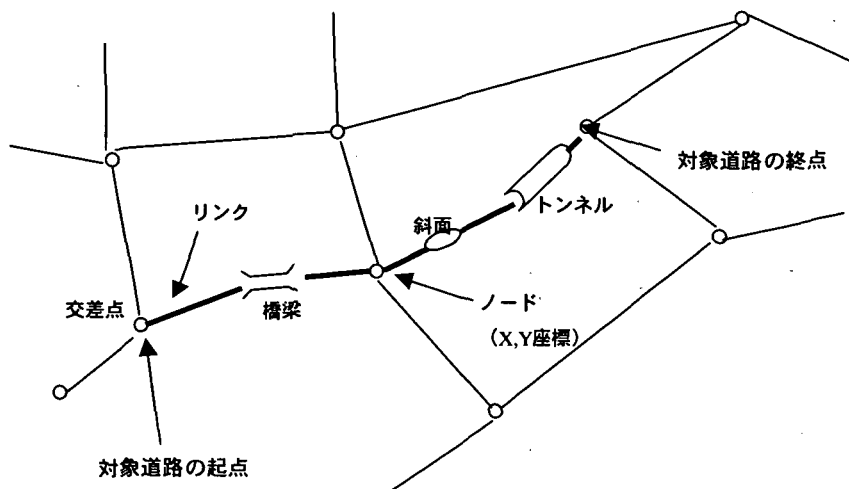


図3-5 道路ネットワークモデルの例

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)

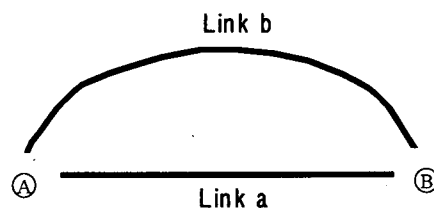
C_0 : 平常時のリンク i 始終点の平均移動費用

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)
		経過時間	被災度					
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)
		経過時間	被災度					
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)
		経過時間	被災度				
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	44%	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。