

1.3 幹線系道路の機能障害危険度評価手法

1.3.1 研究の枠組み

(1)調査研究目的

避難活動・救出救護活動・緊急輸送活動に対する地区の防災評価に際しては、地区内街路はもとより、地区と防災拠点間を結ぶ幹線系道路までを視野に含めた検討が必要である。本研究では、図1.3.1に示すように地区内街路との連続性に配慮しながら、被災地区を起終点とする各種緊急活動を支える幹線系道路の機能障害危険度評価手法を構築した。

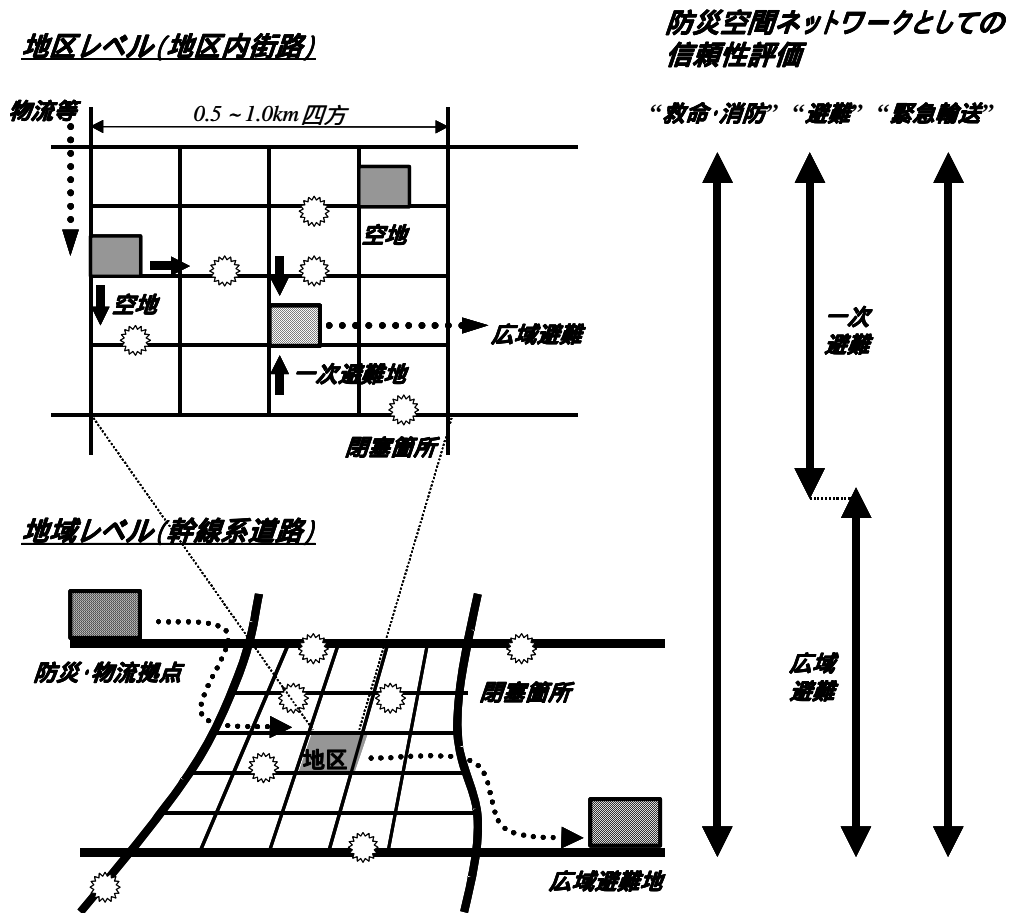


図1.3.1 本研究の対象範囲(地区レベル～幹線系道路の研究開発の連携)

(2)調査研究項目

(a)地震時交通状況の評価の枠組

地域の被害想定等に基づいて地震時の交通状況の評価し、幹線系道路を利用した各種緊急活動の安全性を事前評価するための方法論を構築した。

(b)幹線系道路の障害危険度の評価手法

地震時交通状況評価の主要モジュールとして、道路施設被害、沿道占用施設被害、路上放置車両等による道路機能障害を評価するための方法論を構築した。

(c)緊急活動に伴う交通需要の推計手法

地震時交通状況評価の主要モジュールとして、避難活動、救助活動、消防活動、物資輸送活動、復旧活動など緊急活動に伴う交通需要を評価するための方法論を構築した。

(3)調査研究の目標

本研究では、以下の内容を研究目標として、取り組んだ。

(a)幹線系道路の障害危険度の評価手法

道路施設(橋梁、盛土、斜面等)や道路占用・沿道施設(沿道建物、地下埋設物、跨道橋等)の地震被害に起因する道路機能障害の事前評価手法の提案を目指した。手法提案に際しては、個別施設ごとの倒壊危険度を詳細に分析するのではなく、数100m程度の道路区間ごとに閉塞危険度が数段階で把握できるレベルを目標とした。

(b)緊急活動に伴う交通需要の推計手法

避難活動、救助活動、消防活動、物資輸送活動、復旧活動等の地震時緊急活動に伴う交通需要の事前評価手法の提案を目指した。交通需要は原単位法により、地区特性と被災規模に応じてマクロに評価できるレベルを目標とした。

(c)評価シミュレーションモデルの提案

任意の地域、任意の地震シナリオに対して、幹線系道路の信頼性(障害危険度/緊急交通需要)を評価するためのシミュレーションモデルの提案を目指した。地区内街路の危険度評価と組み合わせることにより、避難・救急救護・緊急輸送活動に対する地区ごとの脆弱性や、各種震災対策の防災投資効果をパーソナルコンピュータ上で視覚的に提示することを可能にすることを目標とした。

1.3.2 幹線系道路の地震時機能障害に関する事例調査

(1)既往地震による幹線系道路の被害

(a)既往地震による被害の調査方針

幹線系道路では、地震により道路施設(道路橋、盛土、切土・斜面、トンネルなど)、道路占用施設(地中埋設管、共同溝および路面・付帯施設など)、道路沿道施設(建築物、電柱、ブロック塀など)に被害が発生すると、道路管理者により通行規制が実施され、道路機能障害が発生する。

そこで、幹線系道路の障害危険度評価手法を作成するにあたり、考慮すべき事象を明らかにすることを目的として、既往地震における道路機能障害についての調査を行った。調査対象とした地震は、近年に発生し比較的被害の大きかった地震として、昭和53年伊豆大島近海地震、昭和53年宮城県沖地震、昭和58年日本海中部地震、平成5年釧路沖地震、平成5年北海道南西沖地震、平成7年兵庫県南部地震の5つとした。

調査方法は、兵庫県南部地震については道路管理者に対するヒアリングを行い¹⁾、その他の地震では被害調査報告書からの文献調査とした。

(b)兵庫県南部地震における被災事例

兵庫県南部地震における調査範囲を表1.3.1に示す。調査対象とした道路の総延長は1,040kmであり、その区間内で道路管理者が実施した通行規制は232カ所にのぼった。通行規制の原因となった被災道路施設を関連事項ごとにまとめて示したものが図1.3.2である。この結果より以下のような特徴が明らかとなった。

表1.3.1 兵庫県南部地震における調査対象

道路管理者	管理延長	通行規制箇所数
兵庫県	520km (50%)	76件 (32%)
神戸市	260km (25%)	46件 (20%)
阪神公団	73km (7%)	64件 (28%)
兵庫国道	187km (18%)	46件 (20%)
合計	1,040km (100%)	232件 (100%)

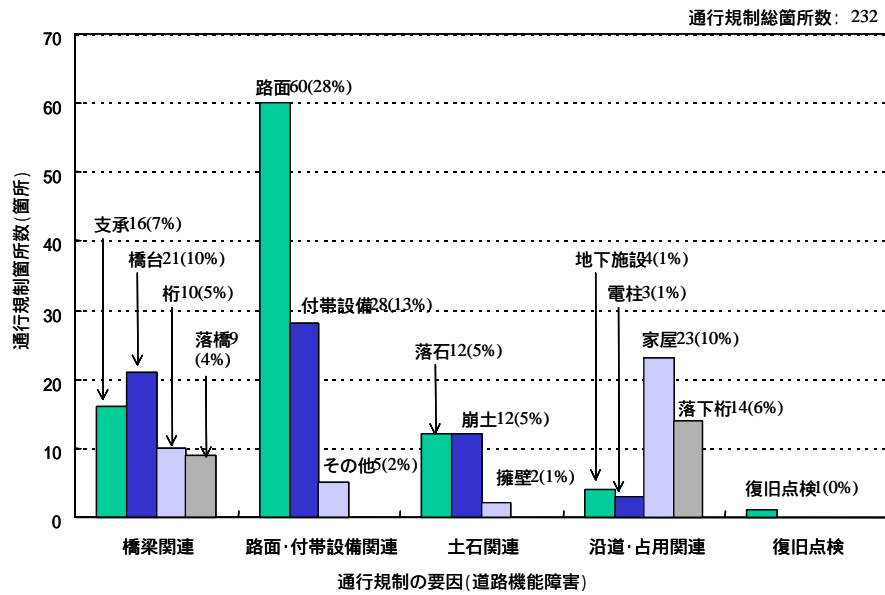


図1.3.2 通行規制の原因となった機能障害

- ・ 通行規制をもたらす道路施設被害は、路面・付帯設備に関するものが最も多く、次いで橋梁に関連する施設被害となっている。
- ・ 沿道・占用施設に関する被害による通行規制が全体の約19%を占めている。このことは、道路機能障害を扱う上で、重要な要素である。

次に、別途推定された地表面最大加速度分布を用いて、通行規制をもたらした各道路施設被害と地表面最大加速度の関係を累積グラフとしてまとめた結果が図1.3.3である。各施設被害による通行規制と地表面最大加速度の関係について一般的な傾向についてまとめると、以下の通りである。

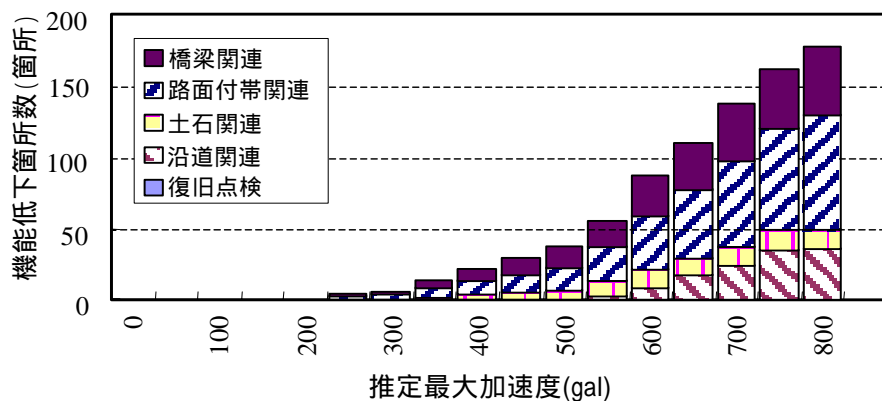


図1.3.3 地表面最大加速度と機能障害箇所数

- ・ 全体的な傾向として、道路の通行規制は、地表面最大加速度が200galを超える地点で生じ始め、500galを超える地点から急増する傾向がある。
- ・ 地表面最大加速度が200～300galの地点で生じた道路通行規制は、主に橋梁関連施設、路面・付帯設備関連の被害によるものである。

- ・土石関連の被害による道路通行規制は、地表面最大加速度が300～500galの地点では増加傾向にあるが、500gal以上の地点では件数が頭打ちとなっている。
- ・沿道・占用施設の被害に関連する通行規制については、地表面最大加速度が500galを下回る地点では生じていない。これは、幹線系道路に機能障害をもたらす沿道・占用施設の被害は、地下施設の被害、電柱倒壊、家屋倒壊、道路上への桁落下など比較的大規模な被害が原因となっており、これらの被害は地表面最大加速度がある程度大きな地域でのみ生じるためと考えられる。

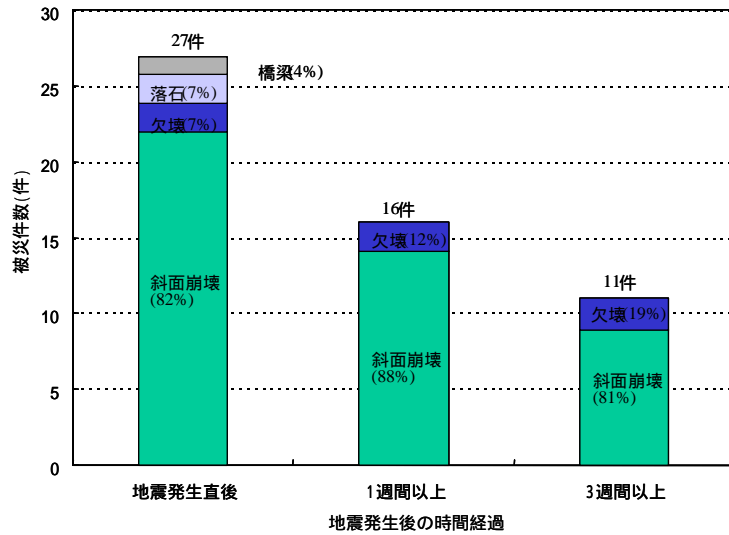
(c) 既往地震における道路機能障害の復旧

地震により被災を受けた幹線系道路の復旧状況と被災からの時間経過の関係を被災施設ごとに示したものが図1.3.4である。本調査では、被災地の地理的条件による影響を考慮して、調査対象とした5地震を(a)山間部の地震(伊豆大島近海)、(b)市街地の地震(宮城県沖、日本海中部、釧路沖、北海道南西沖)、(c)大都市直下型の地震(兵庫県南部)、の3つに分類した。この結果より以下のような被災地の地理条件による特徴が得られた。

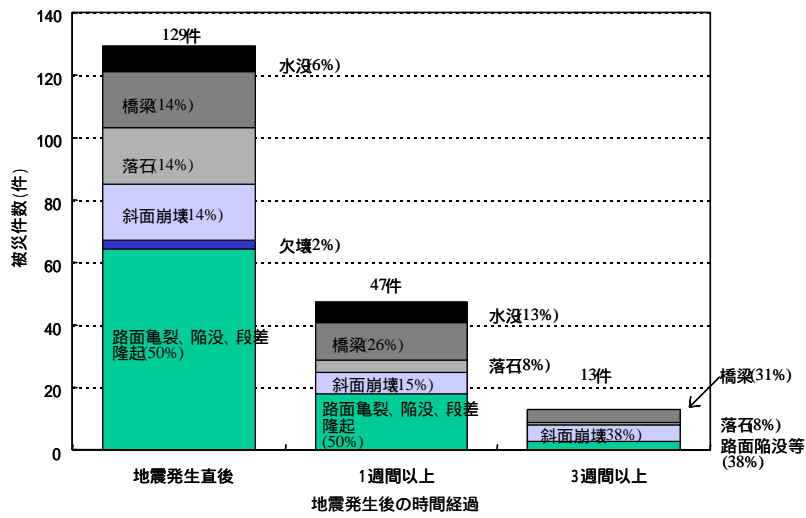
- ・山間部の地震においては、市街地の地震に比べて道路機能障害の復旧に多くの時間を要する。これは、山間部の地震では土石関連の施設被害が被害の多くを占めており、これらの被害の復旧に時間を要するためである。
- ・市街地の地震と大都市直下型の地震では、道路機能障害を生じる施設被害が多岐にわたっている。また、施設被害の総数や被害の程度が異なるため、直接定量的な比較は難しいが、道路機能障害を概ね9割解消するには、市街地の地震では3週間程度、大都市直下型の地震では180日以上時間を要する。
- ・大都市直下型地震の兵庫県南部地震における路面・付帯設備関連の被害では、1日程度で復旧された箇所が多くある一方、6ヶ月以上の復旧期間を要した箇所も少なくない。これは、部分的に通行可能な路線では緊急輸送路として供用されていたために、復旧作業に専念することができず、完全な復旧までに時間を要したためと考えられる。

(d) 道路機能障害評価時の留意事項

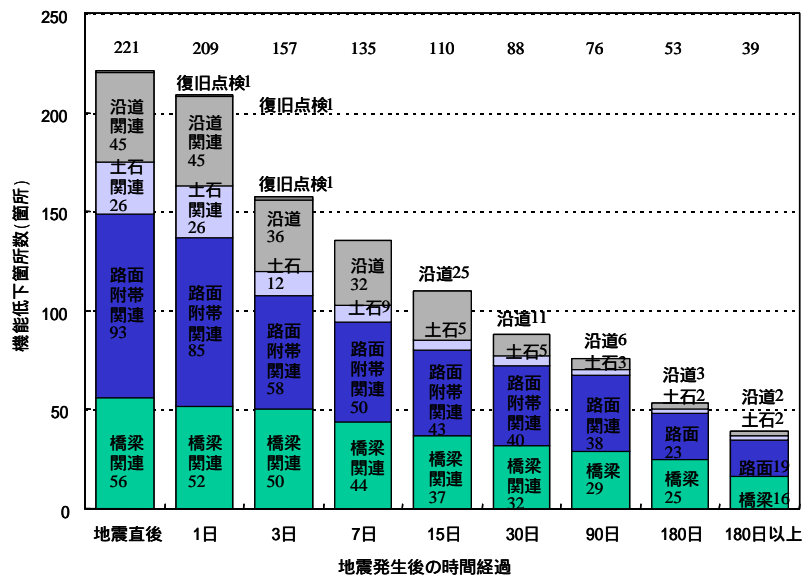
評価対象として、主に市街地を想定しているが、兵庫県南部地震においては、既往の市街地の地震に比べて復旧に長期間を必要としている点に留意し、復旧時期の道路機能障害評価にあたっては、推定地震被害の質・量を考慮する必要がある。



(a)山間部の地震



(b)市街地の地震



(c)大都市直下型の地震

図1.3.4 通行規制を伴う道路機能障害の時間変化

(2)道路機能障害と通行規制

既往地震の調査事例より、道路機能障害と道路管理者が実施した通行規制の関係について調査を行った。調査結果は、道路震災対策便覧^{2), 3), 4)}を参考とし、表1.3.2の通りとりまとめた。兵庫県南部地震は他の既往地震に比較して大規模な施設被害が多く生じたことから、橋梁・橋台の損傷、歩道橋被害、建物被害、道路上への桁落下による完全通行止めの事例が新たに見られた。幹線系道路の障害危険度評価にあたっては、この点に留意し、被害想定が過小評価にならないよう検討する必要がある。

表1.3.2 通行規制と道路機能障害の関係

道路機能障害(施設被害等)	交通規制の種類							
	交通整理	広域交通規制	完全通行止	車重 規制	夜間 通行 規制	走行 速度 規制	一方 通行	車 線 制限
1.欠崩								
2.亀裂、陥没、段差、隆起								
3.落石、土石崩壊								
4.上部工の傾斜、移動、落橋								
5.支承部の損壊								
6.橋脚、橋台、軀対の亀裂、剥離、基礎の破損								
7.橋台の裏込め土の崩壊								
8.橋梁取付部の段差								
9.歩道橋の被害								
10.地下道の被害								
11.信号機等の被害								
12.地下埋設管の被害								
13.建物の被害								
14.塀、石積の倒壊								
15.道路上への桁落下								
16.電柱、立木の傾斜、倒壊								
17.浸水								
18.市街地火災								
19.避難、緊急輸送活動								
20.車輛滞流								

印:新潟地震、伊豆大島近海地震、宮城県沖地震による通行規制例

印:兵庫県南部地震により新たに生じた通行規制例

1.3.3 地震時交通状況の評価フローの構築

(1)評価フロー構築の概要

第2項で示した過去の地震の被災事例調査の結果を踏まえ、各地域の災害想定に基づいて地震時および被災後の交通状況の評価し、幹線系道路を利用した各種緊急活動の安全性を事前評価するための枠組となる全体フローを、図1.3.5のとおり構築した。

本章では、この評価フローおよびその検討経緯について示す。

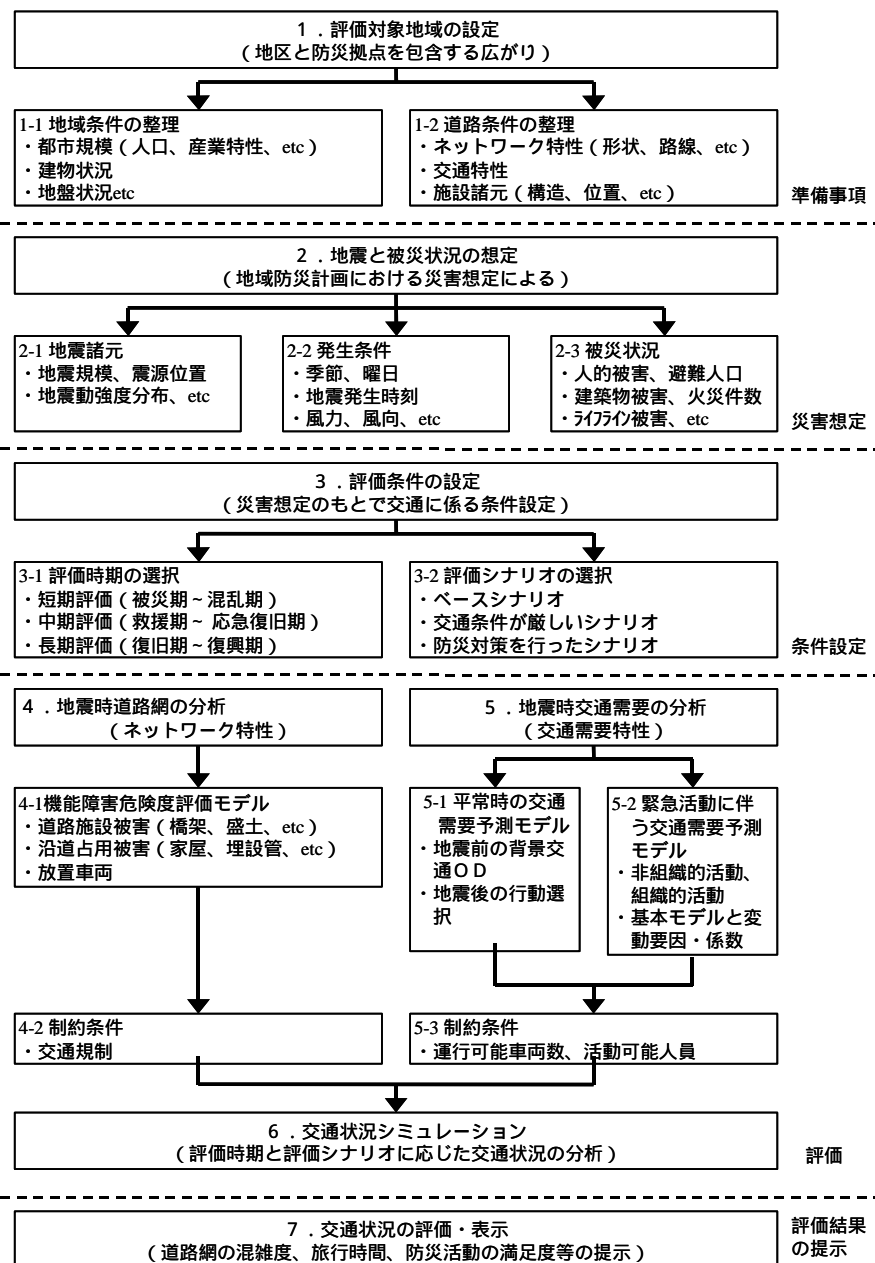


図1.3.5 地震時の交通状況評価の全体フロー

(2)地震と被災状況の想定

本研究では、自治体の防災計画などとの連携を考慮し、交通状況評価を行う上での前提条件として自治体等の被害想定を用いることとした。

そこで、各種評価モデルを作成するための基礎資料として、主な自治体などの11例の被害想定事例について調査を行い、それぞれの被害想定におけるシナリオの諸条件および被害想定を行う項目の整理を行った。

(a)想定に際しての諸条件の整理

各被害想定事例のシナリオの諸条件について整理したものが表1.3.3である。シナリオの設定条件としては、地震規模、震源位置の他、季節、曜日、発生時刻、天候、風向・風力などの項目が多くの被害想定で設定されている。その他では、埼玉県被害想定のように湿度を条件に加えているものもある。本調査結果から被害想定における標準的なシナリオの諸条件を、表1.3.4に示す。

表1.3.3 被害想定事例のシナリオの諸条件

対象圏域		小牧市	横浜市	川崎市	埼玉県	東京都	神奈川県	福井県	静岡県	大阪府	東京消防	国土庁
地震諸元	震源位置											
	地震規模											
	地震動強度分布予測											
発災条件	季節											
	曜日											
	発災時刻											
気象状況	天候											
	風向・風力											
	湿度											

・東京消防庁と国土庁は、地震による被害を推定するシステムの入力値を示している。

表1.3.4 被害想定標準的な前提条件

条件項目	標準的な条件	その他
地震規模	平均M7.4	最小M6.7～最大M8.0
震源位置	想定地震による	
季節	冬	比較対象として、夏、春・秋、梅雨をあげる所もある
曜日	平日	休日は比較対象としてもほとんどない
発生時刻	夕刻（17～18時）	比較対象として朝夕ラッシュ時、昼12時、午後3～4時等比較的多い
天候	晴れ	梅雨時期設定以外は全て晴れを設定している
風向	北～北西	設定季節での平均的な風向き設定となっている
風力	平均5.6m/s	最小3.0～最大10.0m/sまでバラツキが大きい

(b)被害想定項目の整理

各被害想定事例の被害想定を行う項目について整理したものが表1.3.5である。被害想定項目として多くの事例で取り上げられている主要な項目は以下の通りであり、それらについて整理したものが表1.3.6である。

建物被害

建物被害では、被害棟数が出力単位となっている。整理の軸は、建物構造別(木造、RC造、S造など)の整理と被害程度(全壊、半壊など)の整理となっている。

火災

火災については棟数と面積が出力単位となっているが、被害想定手法により出力内容に粗密がある。整理の軸は出火と延焼の別が多く、また建物構造別の整理を行っているものもある。

交通機関被害

交通機関被害については不通区間、被災箇所数が出力単位となっている。道路被害の整理が多く鉄道被害の整理は少ない。道路については緊急輸送路での被害箇所についての整理が多い。

ライフライン被害

ライフラインの被害を整理している事例はやや少なく、半数弱となっている。ライフラインとしては、上水道、下水道、電気、ガス、通信(NTT)の各項目である。

人的被害

人的被害の出力単位は被害人数である。整理軸は死者、負傷者別で、負傷者については負傷程度別となっている。また、被害原因別で整理しているものもある。

その他

地域の特性から、津波被害の算定や河川堤防被害の算定を行っている手法がある。また、災害後の救援、復旧を意識した避難所収容者数やガレキ発生量などを算定している手法もある。

表1.3.5 自治体等の被害想定項目

対象圏域		小牧市	横浜市	川崎市	埼玉県	東京都	神奈川県	福井県	静岡県	大阪府	東京消防庁	国土庁
建物被害	ゆれ											
	液状化											
	斜面											
	ブロック塀											
火災	落下物											
	出火											
延焼												
鉄道												
道路	高速道路											
	一般道路											
	緊急輸送路											
ライフライン	上水道											
	下水道											
	電力											
	ガス											
	電話											
人的被害	死者数											
	負傷者数											
帰宅困難者												
食料過不足												
医療需給不足												
教育制約												
ガレキ発生量												
就業制約者数												
津波災害												
河川堤防被害												
ため池被害												
その他												
				港湾被害・コンテナ被害	閉塞バス数、閉塞バス率		重要施設機能支障評価	地滑り被害想定、福井空港の地震時加速度、港湾、漁港の被害				

表1.3.6 標準的な被害想定項目

被害想定項目	出力単位	標準的内容
建物被害	被害棟数	建物構造別、被害程別
火災	棟数、面積	出火と延焼区分 建物構造別
交通機関被害	不通区間、被災箇所	道路被害中心、特に緊急輸送路被害
ライフライン被害	被害箇所数	上下水道、電気、ガス、通信
人的被害	人数	死者、負傷者(重傷、軽傷別)別
その他	地域特性により項目は異なる。災害後対策をにらんだ避難所収容人口や医療需給、ガレキ発生量等を推計している地域もある。	

(3)評価時期の設定

地震発生後、その状況は刻々と変化する。その変化する状況の中で、全ての状況を評価することは現実的ではない。そこで、地震後の活動が発生する時間(ここでは、発災後の時間経過)に着目し、各種の活動について整理した結果が図1.3.6である。この結果より、地震後の時間経過に伴って、短期、中期、長期の3種類の評価を行うこととした。

場面区分	被災期	混乱期	救援期	応急復旧期	復旧期	復興期
(時間目安)	~30分	~3時間	~3日	~1週間	~3箇月	
非組織的種別	安全確保					
	止火行動					
	家庭内安全確認					
		初期消火				
		救出・応急手当				
		付近の状況確認				
		家族等の安否確認				
		出先からの帰宅				
		情報収集(TVラジオ)				
		災害通報				
		関係者への連絡				
			地域外からの見舞い			
			物資搬送			
			一次避難			
組織的種別	津波観測					
		救急・救助				
		消火・消防				
			避難・収容			
			医療・救護			
			物資調達・物資供給			
				道路・交通系応急措置		
				ライフライン系応急措置		
				建築物系応急措置		
				危険物系応急措置		
				清掃・防疫		
					道路・交通系復旧	
					ライフライン系復旧	
					建築物系解体復旧	
						住宅関連措置
						教育関連措置
					その他被災者措置	

評価時期	短期的評価	中期的評価	長期的評価
時期の特徴	被災期～混乱期 非組織的活動：状況確認と安全確保 組織的活動：人命救助と災害拡大防止	救援期～応急復旧期 非組織的活動：生活環境の仮確保 組織的活動：被災者支援と緊急措置	復旧期～復興期 非組織的活動：生活環境の再構築 組織的活動：災害復旧と被災者ケア
道路を利用する主要な活動	非組織的活動：安否確認、救出、帰宅 組織的活動：救急・救助、消火・消防	非組織的活動：避難、見舞、物資搬送 組織的活動：医療・救護、物資搬送、緊急措置	非組織的活動：復旧行動、物資搬送 組織的活動：復旧活動、瓦礫処理
交通評価の視点	地域住民の視点：地域の状況想定、各種防災対策の検討 交通管理の視点：規制効果の確認・明示		交通管理の視点：交通管理方策の検討

図1.3.6 地震発生後の時間経過に応じた評価時期の設定

(a)短期評価(被災期～混乱期)

地震直後3時間程度までの混乱した時期の評価を行う。地震による1次被害が収まったころ、被

災状況が不明なまま、外出先から自宅へ向かう車輛等で渋滞が起こる時期と考えられる。代表的な時間は、地震発生後3時間とする。本評価では、時間交通量を用いる。

(b)中期評価(救援期～応急復旧期)

地震発生後3時間から1週間の間の混乱が収拾し応急復旧が行われている時期の評価を行う。道路の応急復旧時に、緊急物資輸送車両、個人の物資輸送等により、交通状況が悪化する可能性がある。代表的な時間は、地震発生後1週間とする。本評価では、日交通量を用いる。

(c)長期評価(復旧期～復興期)

地震発生後1週間以降の復旧が行われている時期の評価を行う。道路が完全に復旧しきらない状況で、復旧のための建設車輛と回復した日常交通により、交通状況が悪化する可能性がある。代表的な時間は、地震発生後1箇月とする。

(4)評価条件の設定

(a)シナリオ設定の目的

本研究ではシナリオを、震災後の交通状況に影響を与える諸条件の組合せと考える。ここで、全ての条件の組合せに対する評価モデルを構築することは現実的でないため、本研究では代表的なシナリオを設定した。

シナリオの設定方法

本研究で扱うシナリオは、以下の手順で設定する。図1.3.7に手順フローを示す。

1)既存被害想定での諸条件の整理

検討地域の被害想定事例を収集整理し、前提条件を整理する。

2)被害想定条件によるシナリオの設定

検討地域の既存被害想定における標準的な前提条件によるシナリオを設定する。

3)交通状況の評価に係わる諸条件

震災時の交通状況の評価検討に係わる諸条件を整理する。

4)交通状況に関する各種条件の重要度の判定

交通状況の評価に係わる前提条件について、その影響度、生起確率等から、検討すべき最も危険な条件を抽出する。

5)前提条件を追加・修正したシナリオの設定

被害想定によるシナリオの前提条件の項目に、交通状況に影響を与えるパラメータの追加・修正を行ったシナリオを設定する。

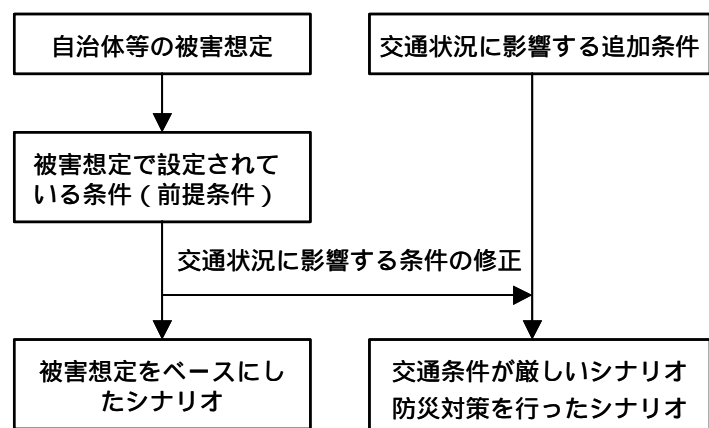


図1.3.7 交通状況評価シナリオの設定手順

シナリオの種類

をもとにして、シナリオの評価の視点と名称を設定した。その設定にもとづき、諸条件を組み合わせる。本研究では、シナリオとして表1.3.7の3種類を設定する。

表1.3.7 シナリオの種類

評価の視点	シナリオ名
現在の自分たちの住んでいる町の幹線系道路を利用した、防災活動の安全性を把握する。	被害想定をベースとしたシナリオ
最も交通条件が厳しい場合の状況を把握する。	交通条件が厳しいシナリオ
緊急・災害復旧車両等の交通を円滑に行うための対策の効果を把握する。	防災対策を行ったシナリオ

1)被害想定をベースとしたシナリオ

被災直後の時期に町の幹線系道路を利用した防災活動の安全性を把握する目的で使用する。そのため、条件としては被害想定をそのまま使用する。

本シナリオの適用時期は、短期(被災期～混乱期)のみである。

2)交通条件が厳しいシナリオ

最も交通条件が厳しい場合の状況を把握することを目的に使用する。そのため、短期評価における背景交通需要については最も交通量の多い時間帯を用いて推定する。標準的な時間帯としては、平日の出勤時の交通量となる場合が多い。中期評価、長期評価においては、日交通量の多い日を選択する。また、防災対策は考慮しない。他の条件は、被害想定に基づく。本シナリオの適用時期は、短期(被災期～混乱期)、(中期救援期～応急復旧期)、長期(復旧期～復興期)の全てが対象となる。

3)防災対策を行ったシナリオ

本シナリオは、道路施設管理者が最も交通条件が厳しい場合における緊急・災害復旧車両等の交通を円滑に行うための対策の効果を把握することを目的に使用する。そのため、背景交通需要については最も交通量が多く条件が厳しいシナリオの交通量を使用し、その上で防災対策を考慮する。他の条件は、被害想定に基づく。本シナリオの適用時期は、短期(被災期～混乱期)、中期(救援期～応急復旧期)及び長期(復旧期～復興期)の全てを対象とするが、各時期により考慮する対策は異なる。

4)シナリオのまとめ

シナリオの適用時期をまとめると表1.3.8となる。また、シナリオの関係は、図1.3.8のとおりである。

表1.3.8 シナリオの適用時期

シナリオ名	適用対象時期		
	短期	中期	長期
被害想定をベースとしたシナリオ			
交通条件が厳しいシナリオ			
防災対策を行ったシナリオ			

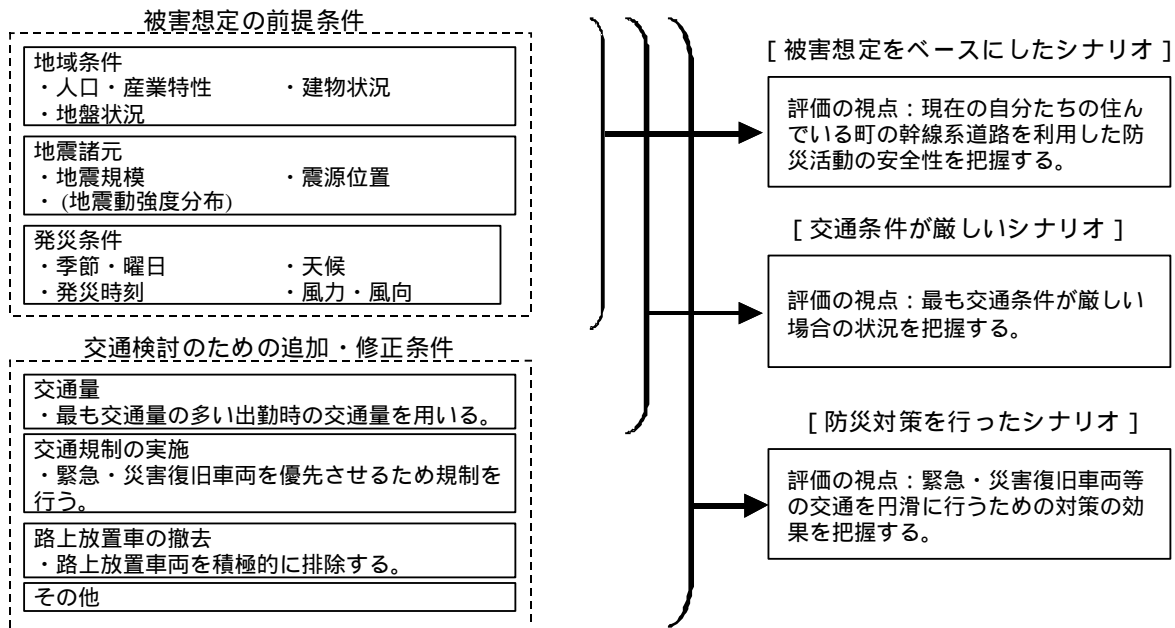


図1.3.8 評価シナリオの設定

(5)評価モデルの作成方針

(a)評価モデルの定義

本研究では、幹線系道路を利用した各種防災活動の評価するために、図1.3.9に示す3種類の評価モデルを定義した。

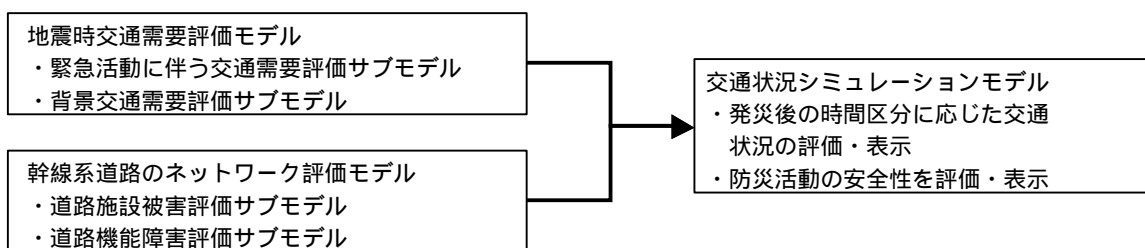


図1.3.9 各種防災活動の評価のためのモデル

震災時交通需要評価モデル：

幹線ネットワークを利用する車両交通需要を推定するためのモデル。バックグラウンド交通を把握するための平常時交通需要評価サブモデルと緊急活動に伴う交通需要評価サブモデルから構成する。

幹線系道路のネットワーク評価モデル：

地震に起因するネットワーク寸断や機能低下を推定するためのモデル。道路施設被害評価サブモデルと路上障害物の発生に伴う機能障害評価サブモデルから構成する。

交通状況シミュレーションモデル：

地震時の幹線系ネットワークと交通需要から、発災後の評価区分ごとに交通状況を推計するためのモデル。

(b)評価モデルの要求性能

評価モデルの具体的な検討にあたっては、要求する性能を以下のとおりとした。

本研究で設定した3種類のシナリオに共通して使用できること。

入力として地震被害想定的前提条件、被害想定事項、交通状況に影響する条件が与えられた場合に、防災活動の安全性(例えば、連結性、迅速性、大量性、防災活動ごとの満足度など)を分かりやすい形で出力できること。

任意の自治体で汎用的に利用できること。すなわち、地震被害想定的前提条件や被害想定内容の変化に柔軟に対応できること。

(c)評価モデルの留意事項

評価モデル(サブモデル)間で、モデル精度(評価レベル)の整合を図る。すなわち、経験モデルや理論モデルの別によらず、最終的に道路リンク単位での評価が可能な程度の精度を確保する。

経験モデルによる場合は、特定の条件下での事例であることに留意しつつ、兵庫県南部地震による被災の実態データを十分に活用する。

理論モデルによる場合には、平常時の交通量分析等に一般的に用いられている手法の応用を図る。評価モデル(サブモデル)はモジュール構造とし、研究の進捗を反映したモデルの改善が容易に行えるように工夫する。

(d)評価モデルの検討手順

要求性能と留意事項を勘案して、評価内容に応じたモデル化の方法を設定する。

評価シナリオの諸条件(被害想定的前提条件、被害想定項目、交通状況に影響する条件)のうち、評価内容に影響する条件を選定し、表1.3.9に示すように評価モデルのパラメータとして位置づける。パラメータの影響について検討し、モデル構造を定める。例えば、火災に対する消防車等の交通需要における原単位の作成、構造物に対するフラジリティー曲線の作成、等である。

表1.3.9 モデルに対するパラメータの影響

評価モデル		震災時交通需要評価モデル		幹線系道路のネットワーク評価モデル	
サブモデル		緊急活動に伴う交通需要評価サブモデル	平常時交通需要サブモデル	道路施設被害評価サブモデル	道路機能障害評価サブモデル
諸条件	地域条件				
	地震諸元				
	発災条件				
被害想定項目	建物被害				
	火災				
	交通機関の被害				
	ライフラインの被害				
交通状況に影響する条件	人的被害				
	路上放置車両の撤去				
	交通規制				

注：表中の記号の意味は以下の通りである。

：大きく影響するため、パラメータとして位置づける。

：影響が小さい、または、他の条件をパラメータとすることで影響を反映できる。

記号無し：影響しない

1.3.4 幹線系道路のネットワーク評価モデルの検討

(1) 幹線系道路区間の機能障害危険度評価

本節では、機能障害危険度評価についての検討結果を示す。本検討において、評価の基本となる道路区間は、交差点から交差点の間としている。基本的な考え方としては、まず、道路施設(橋梁関連・路面付帯施設関連・土石関連)、沿道構造物(建築物)、占用施設(ライフライン)の被害の発生頻度および幹線系道路への影響度より、図1.3.10 - に示すフラジリティー曲線を本検討対象と選定された施設について設定する。その後、図1.3.10 - に示す道路施設が被害を受けた場合に生じるネットワークの遮断、通行可能車線数の減少などの道路ネットワークへの影響あるいは沿道・占用施設被害、路上駐車車両、防災対策などが道路機能に対して与える通行可能車線数の増減、通行速度の変化などの影響について調査結果よりとりまとめた。

検討結果として構築した道路区間の機能障害危険度評価の全体フローを図1.3.11に示す。これは、完全閉塞要因と車線減少要因より、道路区間の閉塞確率を算出し、これに放置車両の影響を加味することにより、道路区間のフラジリティーを算出するものである。また、本研究では、道路区間の状態別閉塞確率から交通容量の期待値を算出し、評価の指標とするとともに、ネットワーク解析に用いる。

以下、機能障害危険度評価の全体フロー作成およびその検討経緯を示す。

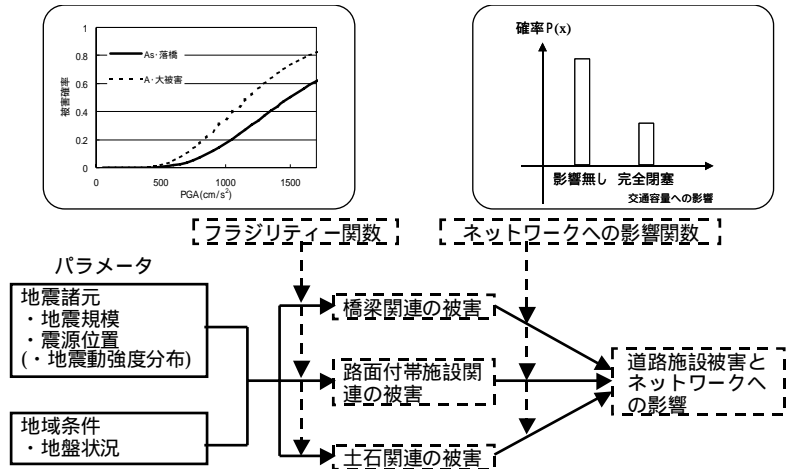


図1.3.10 道路施設被害評価サブモデル

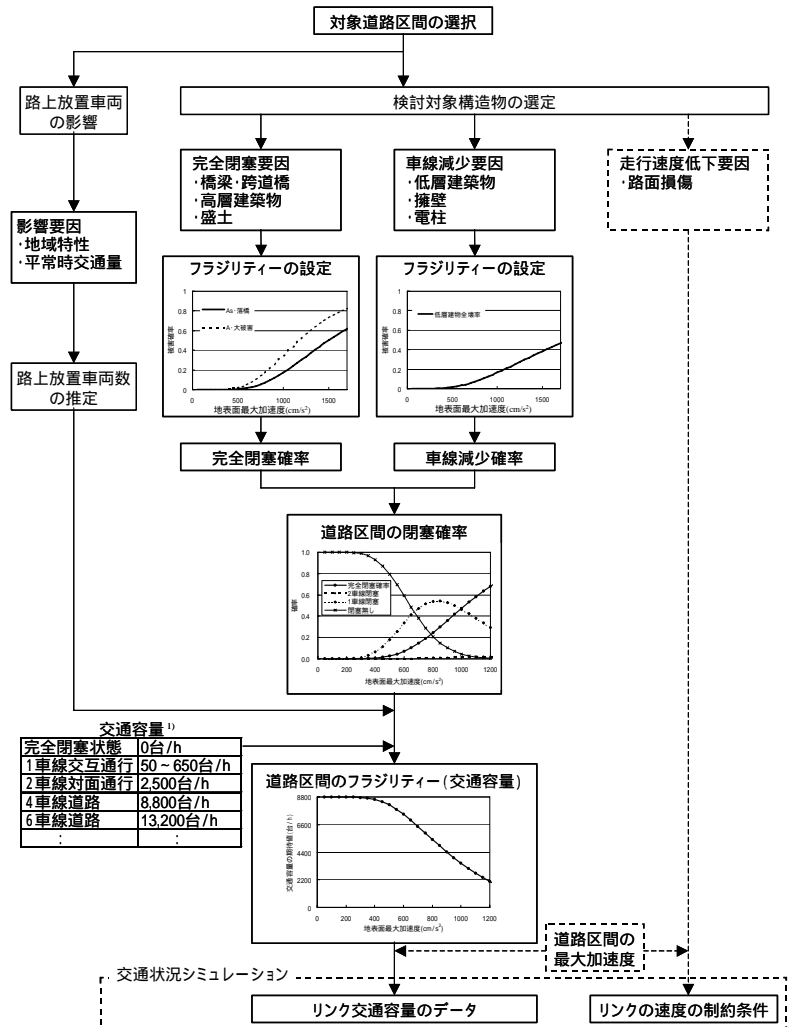


図1.3.11 道路区間の機能障害危険度評価の全体フロー

(a)道路機能障害に影響の大きい施設の絞り込み

本研究で対象とする幹線系道路は幅員が8m以上と広いために、路面の全面的な損傷や橋梁部分の被災、跨道橋の落下等による通行不能を除けば、沿道施設の倒壊により道路が完全に閉塞する可能性は低い。幹線系道路の機能障害を評価する場合には、完全閉塞の有無だけでなく、通行可能な車線数の減少や、自動車の自由走行速度の低下という段階的な評価を行う必要がある。そこで、兵庫県南部地震の被災例を主とした報告を調査し、その被害の発生頻度と交通に対する影響について、表1.3.10にとりまとめた。

調査結果は、以下の通りである。

- ・トンネル・地下街などは特別な場合を除けば被災していないことが明らかとなったため、本検討の対象外とすることとした。
- ・電柱などは実際に交通に影響を及ぼしているが、その程度が現段階では関数化されていない。評価手法に組み込むには、事例データを集め、その影響を明らかにする必要がある、今後の課題とした。
- ・路面損傷は発生頻度が比較的高いものの、多くの場合は道路の自由走行を妨げ交通速度を低下させる程度の被害である。この事象も、各地点の地震動強度と路面損傷の関係および路面損傷と速度低下の関係については調査研究が十分には行われておらず、今後の課題とした。
- ・落橋等橋梁の大被害については、ひとたび発生すれば幅員に関係なく通行止め(完全閉塞状態)を引き起こす可能性が極めて高い。これに対し、低層建築物の被災は面する1車線を閉塞させる程度の被害が多い。

以上のように、各道路閉塞要因により、道路サービス機能に与える影響の程度が大きく異なるため、障害危険度の評価手法としては、これを類似したグループごとに分類して評価を行うのがよいと考えられる。

表1.3.10 震災直後の幹線系道路に影響する被害施設の絞り込み

機能障害要因等 対象施設		想定被害	サービス低下の種別	影響性		整備・利用の現状		閉塞要因としての考慮の有無*
				被害発生確率	被災時サービス低下量	被害発生確率	被災時サービス低下量	
道路施設	路面	ひび割れ、段差	速度低下	高	中	無	無	
	橋梁	落橋、損傷	車線数減少	中	多	有	無	
	盛土	法面の崩壊	車線数減少	中	多	無	無	
	トンネル	抗口の崩落	車線数減少	低	少	無	無	×
沿道・占用施設(地上)	跨道橋	落橋、損傷	車線数減少	中	中	有	有	
	歩道橋	落橋、損傷	車線数減少	高	少	無	無	×
	擁壁	倒壊	車線数減少	中	中	無	無	
	電柱	倒壊	車線数減少	高	中	無	無	
	低層建築物	倒壊	車線数減少	高	中	有	有	
	高層建築物	倒壊	車線数減少	中	中	有	有	
沿道・占用施設(地下)	水道管	損傷	速度低下	中	少	有	無	×
	ガス管	損傷	速度低下	中	少	有	無	×
	地下鉄	崩落	車線数減少	低	少	無	無	×
	地下街	崩落	車線数減少	低	少	無	無	×

*検討項目の選定の記号の意味

○ : 検討対象として考慮する。

△ : 検討対象として考慮する(データが少なく、手法が確立していない)。

× : 検討対象として考慮しない。

(b)施設被害等の交通容量への影響に関する検討

交通への影響度合いによる要因のグルーピング

表1.3.10に示した項目の中で、検討対象の項目を、交通に対する影響の度合いにより分類した結果を図1.3.12に示す。

「完全閉塞要因グループ」は、車線数減少要因の中で、路線の高架構造部分、高層建築等で被害の発生確率は低いものの、倒壊によって路線が完全に閉塞する危険性があるグループである。

「車線減少要因グループ」は、車線数減少要因の中で、低層建物、電柱等のように、比較的被害が頻発するが幹線系道路のように幅員が広い場合は、路線を完全に閉塞させる危険性は少なく、倒壊によるガレキのはらみだしにより一部車線の走行が制限されることによる幹線系道路のサービス低下を引き起こす要因となるグループである。

「走行速度低下要因グループ」は、路面や埋設管等を示し、震災によって生じた段差や亀裂などによって自由な走行が妨げられ速度低下による幹線系道路のサービス機能の低下を引き起こす要因となるグループである。

また、幅員、歩道の有無など道路の基本条件等評価に不可欠な条件を、「道路区間条件グループ」として図1.3.12に合わせて示している。

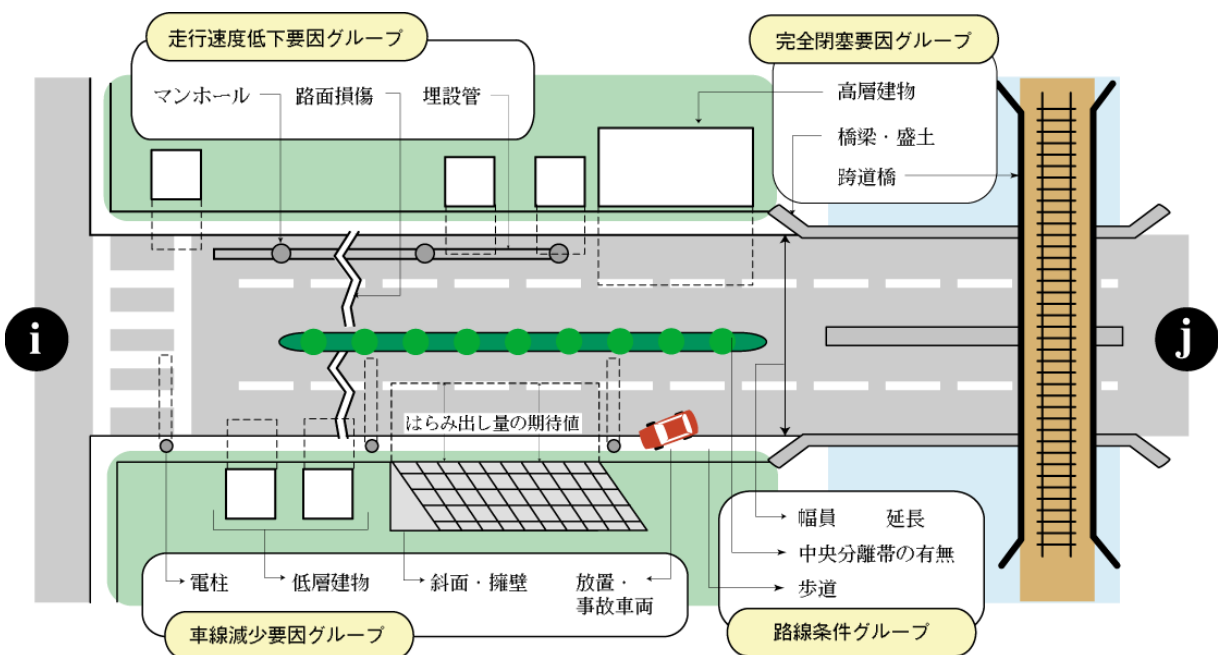


図1.3.12 交通への影響度合いによる要因のグルーピング

各要因グループの評価方法

「完全閉塞グループ」については、要因*i*ごとに被災関数により被災確率 P_i を求める。本グループは、被災し交通に影響が生じた場合、必ず完全閉塞すると仮定し、対象路線の完全閉塞確率 P_p は閉塞しない確率 $(1 - P_i)$ の積を1から減じて求める。要因数が*n*の場合は、(式1)より算定する。

$$P_p = 1 - (1 - P_1) \times \dots \times (1 - P_n) \quad \dots (式1)$$

「車線減少要因グループ」については、各要因により生じたはらみだし量の最大値により影響を判断する。はらみだし量の確率密度関数の算出法について以下に概説する。

幅員減少要因が片側の沿道に直列に並んでいる場合は、はらみだし量の大きいものが、車線数減少量の計算対象となる。このことから、図1.3.13に示すように、幅員減少要因 a, b が沿道に直列した場合を考える。要素 a, b それぞれの被災関数が加速度の関数 $F_a(\cdot), F_b(\cdot)$ として得られているとき、ある地震によりそれぞれに作用する地盤加速度が a, b である時、要素 a によって生じるはらみ出し量 x の確率密度関数は $p_a(x)$ 、要素 b によって生じるはらみ出し量の確率密度関数は $p_b(x)$ と求められる。これより、この二つの要因を同時に考慮したはらみだし量の確率密度関数 $p_{ab}(x)$ は、(式2)のように示される。

$$p_{ab}(x) = p_a(x) \int_0^x p_b(\tau) d\tau + p_b(x) \int_0^x p_a(\tau) d\tau - p_a(x)p_b(x) \quad \dots (式2)$$

要因 c が増えた場合は $p_{ab}(x)$ に対し、 $p_c(x)$ を同様の演算で追加することが出来る。

「走行速度低下要因グループ」については、「車線減少要因グループ」と同様に要因ごとの速度低下量を表す確率密度関数を用いて、最も大きな影響により、判断すればよい。しかし、本要因についての確率密度関数については、実用的な関数が得られておらず、今後の検討課題である。

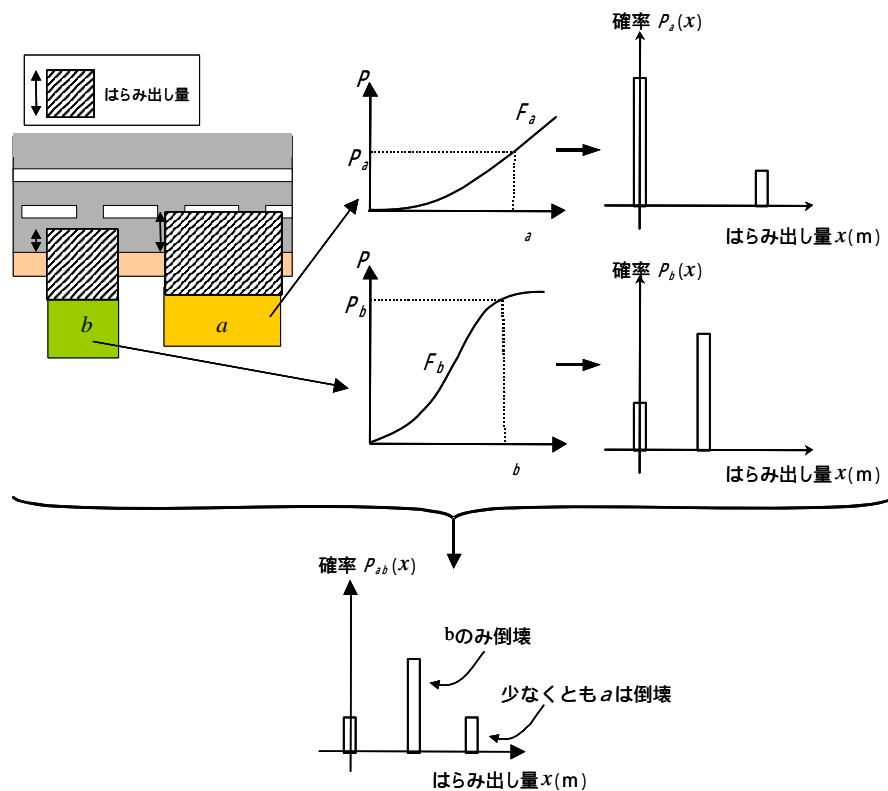


図1.3.13 要因が直列の場合におけるはらみだし量の確率密度関数算出イメージ

各要因グループの影響の重ね合わせ

図1.3.11に示すように、完全閉塞要因と車線減少要因より、道路区間の閉塞確率を算出し、これに放置車両の影響を考慮することにより、道路区間のフラジリティーを算出する。なお、走行速度低下要因の扱いについては検討課題であるが、路面損傷による走行速度への影響が明らかになれば、道路ネットワーク解析を行う際のリンクパラメータとして用いることとする。

また、本研究では、道路区間の状態をよりわかりやすく表現するための指標の一つとして、道路区間の状態別閉塞確率から算出される交通容量の期待値を用いることとした。

(c) ケーススタディー

本検討では、現時点において被災関数等が明らかになっている橋梁、高層建築物、低層建築物を評価対象としたケーススタディーを行った。その結果を以下に結果を示す。ケーススタディーの対象とした道路は、橋梁、跨道橋が存在し、高層建築物、低層建築物が混在している区間である。

検討対象施設

検討対象とした施設は、幹線系道路に対して影響を与える施設の内、既往の研究よりその影響が明らかになっており、フラジリティー曲線などが整備されているものとし、橋梁・跨道橋、高層建築物(3階建て以上の建築物)、低層建築物(2階建て以下の建築物)のフラジリティーをそれぞれ図1.3.14～1.3.16に示した。

なお、図1.3.14に示した橋梁のフラジリティーについては、兵庫県南部地震以後の耐震補強を行っていない状態のものである。耐震補強を行った橋梁についてのフラジリティーについては、現在研究中であるが、現時点では被害が発生しないと扱うのが妥当であると考える。

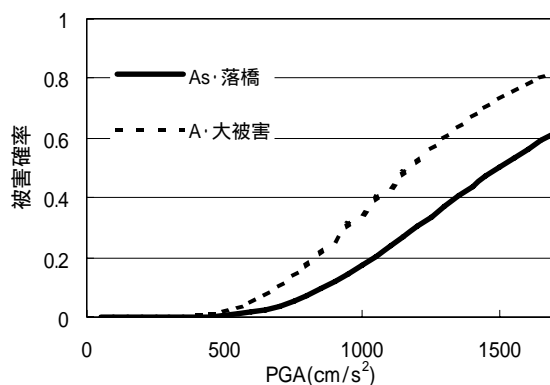


図1.3.14 橋梁のフラジリティー⁵⁾

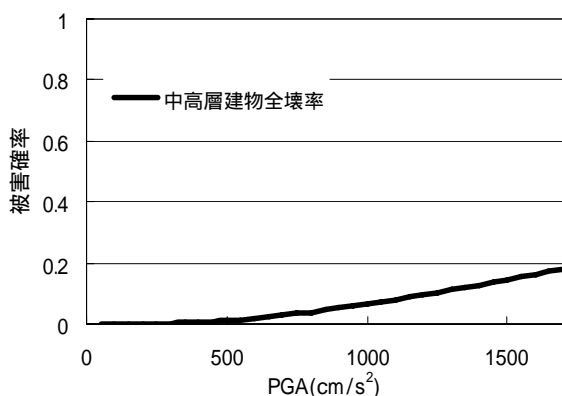


図1.3.15 高層建築物のフラジリティー⁶⁾

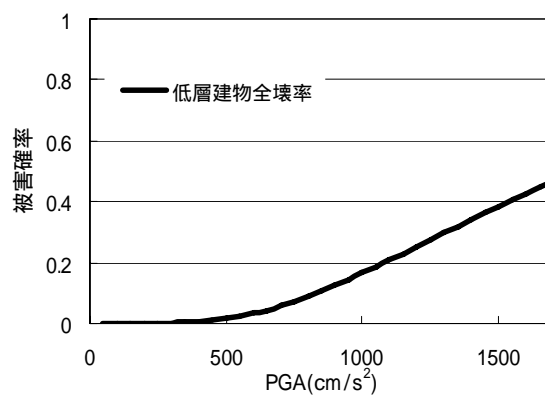


図1.3.16 低層建築物のフラジリティー⁶⁾

ケーススタディーにおける計算条件

1) 施設被害時の影響の設定

a) 橋梁の被災時の影響

橋梁が検討対象区間の道路施設である場合は図1.3.14に示す山崎⁵⁾の被災関数において、被害ランクA(被害大)およびAs(落橋)のとき完全閉塞を起こすものとした。また、跨道橋の場合は被害ランクAsの場合に、完全閉塞するものとした⁴⁾。

b)高層建築物の被災時の影響

高層建築物が、被災し幹線系道路に倒れてきた場合は、必ず完全閉塞するものとした。被災関数としては、種々検討されている中から図1.3.15に示す林らの関数⁶⁾を用いた。ただし、被災した高層建築物が幹線系道路に倒れ込む確率については、神戸市中央区の被災事例において、被災高層建築物のうち路線の交通に影響を与えたものの割合が約3%であったことから、最終的に完全閉塞を起こす確率は、「被災確率×0.03」とした。

c)低層建築物の被災時の影響

低層建築物の被災関数として、高層建築物と同様に、図4.1.7に示す林らの関数を用いてみた。被災時に幹線系道路にガレキがはらみ出す確率は、阪神・淡路大震災調査報告⁷⁾より、0.482とした。また、はらみ出す量については、同報告書を参考にし、最大量と考えられる一律6mに設定した。

2)道路区間評価時の考え方

a)通行可能車線数の考え方

低層建築物の被災は通行車線数を減少させるが、この場合少しでも車線にはらみ出しがかかった場合には、その車線は使用不能であるとした。

b)閉塞状態の生起確率の考え方

閉塞状態は、最初にそれぞれの加速度に対する完全閉塞確率、2車線閉塞確率、1車線閉塞確率を求めた。この際に、「完全閉塞確率」と「2車線閉塞確率、1車線閉塞確率」は、独立して計算しているため、完全閉塞確率はそのまま生起確率として用いるが、2車線閉塞確率、1車線閉塞確率については、完全閉塞事象の余事象に対する生起確率となるため、 $(1 - \text{完全閉塞確率})$ を乗じて生起確率とした。

c)評価指標

評価指標は交通容量の期待値とした。この期待値は、各加速度において使用可能な路線数の生起確率に対し、1車線あたりの容量2,200台/h⁸⁾を乗じて算出したものである。各ケースとも4車線道路であるため、被災していない状態では、交通容量は8,800台/hである。なお、被災時における車線あたりの容量の低下については考慮していない。

3)ケーススタディー

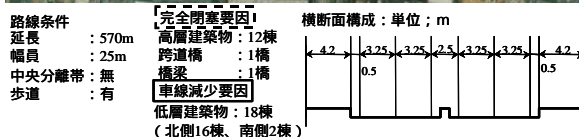
ケーススタディーを行った道路区間の特徴と結果は下記および図1.3.17に示すとおりである。

道路区間の特徴

- ・橋梁および跨道橋をそれぞれ1橋ずつ含む。
- ・沿道施設として、高層建築物と低層建築物が混在する。
- ・建築物は比較的大きなものが多く、沿道施設の棟数は少ない方である。

計算結果

- ・橋梁と跨道橋があることから完全閉塞の発生確率が高い。
- ・向かい合う低層建築物が少ないことから、2車線閉塞の発生確率は低い。
- ・交通容量の期待値は、400gal程度から落ち始め、1,000galでは被害が無い場合の約40%まで低下している。
- ・この道路区間の耐震性は低い方であると考えられる。



対象路線条件

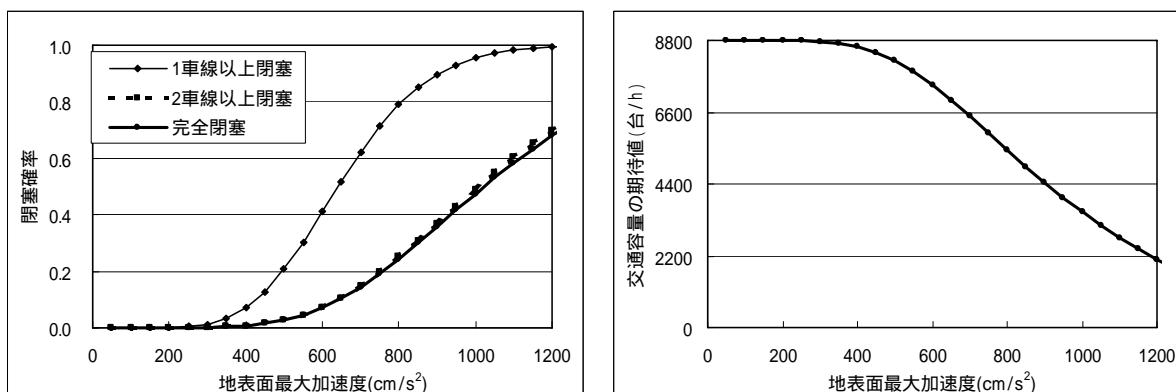


図1.3.17 ケーススタディー試算結果

(d)中・長期評価における道路ネットワークの作成手法について

道路ネットワークにおける被災後の中・長期評価については、短期評価における被害想定を基本とし、そこから復旧状況を設定することにより作成する。

幹線系道路の交通容量に影響する被災施設の復旧について

幹線系道路の交通に影響を与えた被災施設の復旧については、施設の被害程度、被災箇所の位置関係、被災施設が影響を与えている道路の性質(緊急輸送道路か否かなど)、各道路管理者の持つ復旧能力など、多様な要素が関係する。また、制限はあるものの政策的判断により着手する優先的を決定できる場合や、逆に沿道施設の所有者の合意が得られない場合もある。このような現象を一義的に決めることは困難であり、また適切ではない。

しかしながら、何らかのデータがないと目処が立たない場合もあるので、参考として、兵庫県南部地震の被災からの復旧状況の調査結果¹⁾より得られた結果を表1.3.11に示す。表1.3.11の基となったデータも、国道、県道、市道などが混在しているものであり、また当時の優先判断が作用していることは、考慮しておく必要がある。橋梁の被害程度は、道路震災対策便覧(震災復旧編)⁴⁾による表記を用いている。

また、表1.3.11の使い方として、被災箇所が決定されていれば、復旧箇所を決めればよいが、本手法においては、被災の影響は期待値で算出されているため、優先的に復旧する場所を検討する場合は、対象箇所の交通容量を回復

表1.3.11 阪神・淡路大震災における施設被害の復旧状況

被害程度	応急復旧率	
	1週間後	1月後
橋梁被害(As):落橋	0%	0%
橋梁被害(A):大被害	40%	55%
高架橋被害(As):落橋	15%	75%
高層建築物	50%	100%
低層建築物	55%	88%

させればよく、最初に全体的な傾向を把握したい場合は、各道路区間の被災確率を表の応急復旧率で減じれば大まかな傾向が把握できる。

高速道路の設定について

高速道路は短期評価時には用いないが、中・長期評価にはその影響を考慮する。兵庫県南部地震による高速道路の被災程度と、1週間及び1月後の通行状況より¹³⁾、傾向として、多少とも通行可能な状況になると、まず緊急車両のみの利用とし、その後復旧して一般利用となっている。被災程度と各期間の通行状況の関係をまとめると表1.3.12の通りである。

表1.3.12 高速道路の通行設定

被害程度	1週間後	1月後
D, C	制限無し	制限無し
B	緊急車両のみ	制限無し
A	通行不能	緊急車両のみ
As	通行不能	通行不能

(2)交差点の交通容量

道路区間の交通容量については、前述の地震被害による容量低下の他に、交差点の影響を考慮する必要がある。平常時における交差点の交通容量は文献⁸⁾を踏まえて設定した。概ね2車線道路で平常時の道路区間80%、4車線以上の道路で40%程度である。解析では、対象とする道路区間の交通容量よりも両端いずれかの交差点の平常時交通容量が少ない場合、その少ない値を道路交通容量に用いることで、交差点による交通容量の低下の影響を反映する事が可能となる。

(3)路上駐車車の交通容量への影響

(a)路上駐車車両算定の基本的考え方

推定対象とする車両の属性

路上放置車両となる要因は、種々の理由が考えられるが、本研究において考慮するのは、その中から総合的な影響を考慮し、以下の2種類とする。

- 1)路上駐車中車両の放置車両化(運転者の意志による放置)
- 2)走行中車両の放置車両化(運転者の意志による放置)

ここで、1)は路上駐車車両の内、地震直後に車両で自宅・勤務先等へ向かわず、運転者が徒歩で避難場所等へ行くことにしたため放置された車両を示す。また、2)は地震発生時の走行車両の内、車両を路肩に止め運転者が徒歩で避難場所等へ行くことにしたため、放置されたものを示す。

検討対象とする時期

検討対象時期は大きく3種類に分けられるが、1)で推定対象とした車両が放置されると考えられる時間帯は、主に被災期～混乱期であると考えられる。応急復旧期以降の時間帯については、新しい放置車両の発生は少ないと考えられる。よって、ここでは震災直後における路上放置車両の推定方法について検討する。なお、応急復旧期以降の時間帯については個人の回収及び道路管理者の強制撤去をパラメータとし、今回の推定数から推定する事が可能と考える。

モデル化の検討

1)路上駐車中車両の放置車両化

災害発生時に路上駐車中の車両の放置車両化については、通常時の路上駐車台数推定方法から求められた台数に、放置される確率を乗じて求める手法が妥当であると判断する。

2)走行中車両の放置車両化(運転者の意志による放置)

災害発生時に走行中の車両の放置車両化については、通常時の走行車両台数推定方法から求められた台数に、放置される確率を乗じて求める手法が妥当であると判断する。

算出のフロー

上記を基にした、路上駐車車両台数の算出フローを図1.3.18に示す。このフローに基づき、路上放置車両台数を推計し、幹線系道路への影響の度合いを検討する。

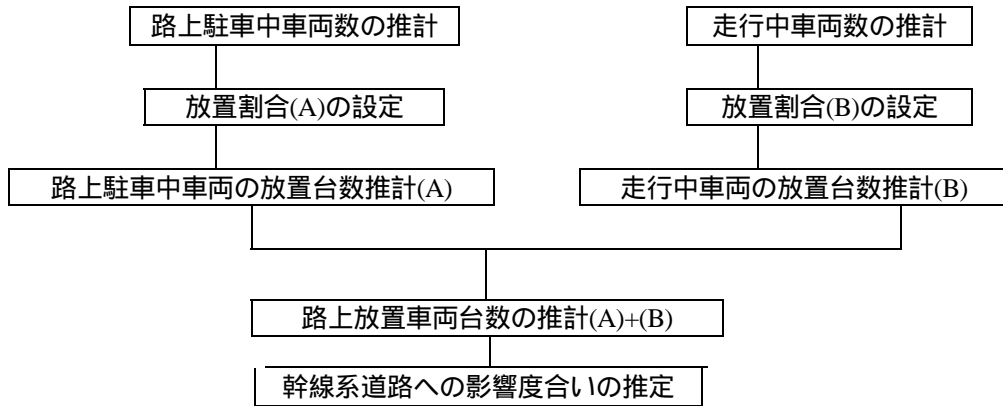


図1.3.18 放置車両の影響検討フロー

(b) 放置車両の推計及び幹線系道路への影響度合いの推定

推定法選定の方針

推定法を選定するにあたり、放置車両の位置づけをまとめる。

- 1) 放置車両は、道路機能障害に影響し、道路ネットワークの交通容量に反映されるパラメータである。
- 2) ネットワーク上での影響は、車線数の減少という表現が考えられる。そのため、放置車両数が1台単位まで正確である必要性は低い。
- 3) 道路の機能障害に関しては、沿道構造物の被害、占用構造物の被害等のパラメータもあり、放置車両もそのうちの一つのパラメータにすぎない。

以上から、放置車両の台数としては1台単位の正確さを必要とする性格のものではなく、本推計法については正確な方が好ましいが、それよりも、ある程度の精度で手間及び費用がかからない手法という観点を優先することが必要である。

路上駐車中車両の放置台数の推計

1) 路上駐車中台数の推計法の検討

路上駐車中台数の推計法については、以下のような手法が考えられる

- a) 実際の路上駐車台数についての現地調査を行う。
- b) 航空写真等を撮影し、路上駐車台数を調査する。
- c) 既存の調査から、路上駐車台数を推定する。
- d) 既存の航空写真等を撮影し、路上駐車台数を調査する。

いずれかの手法により、既に把握されている場合は、その結果を用いればよい。また、そのような調査結果がない場合のために、概略把握できる推定手法について検討する。また、これに関し国土交通省都市局においては、道路交通センサス、国勢調査、精密数値情報土地利用データから、あるエリアにおける路上駐車の時空間分布あるいは空間分布を推定しており⁹⁾、こちらを参考になると考える。

2) 路上駐車中車両の放置割合についての検討

路上駐車中している車両を放置する確率については理論的なものではないと考えられ、阪神大震災の時の状況調査をしている事例も見あたらない。また、事例調査があっても、早朝の状況と昼間の状況あるいは夜間の状況において、放置割合は大きく異なることが予想される。よって、放置割合については、アンケートによることが妥当であると考え。

本研究に対応したアンケート事例はないが、以下のようなアンケートが行われている¹⁰⁾。

- ・アンケート名：震災前後交通実態調査(京阪神都市圏交通計画協議会)
- ・想定条件：震度6の地震が発生し、公共交通機関は止まっている。
- ・アンケート結果：会社や学校にいる場合に被災した時

その場にとどまる	31%
自宅に向かう	45%
最寄りの避難所に向かう	8%
その他	16%

上記結果より、一つの見方として、自宅に向かう人に相当する台数が移動を始めるとすると、放置割合は最大でも55%となる。

走行中車両の放置台数の推計

1) 走行中台数の推計法の検討

走行中台数の推計法については、以下のような手法が考えられる

ア) 実際の走行台数についての現地調査を行う。

- a) 本研究のために調査を行う。
- b) 既存の調査結果を用いる。

イ) 航空写真等を撮影し、走行台数を調査する。

- a) 本研究のために航空写真等を撮影し、走行台数を調査する。
- b) 既存の航空写真等を用いる。

以上から、既存の現地調査結果を用いることが合理的であると考え。具体的には、交通センサスであれば、全国を網羅しており、問題ないとする。なお、交通センサスのデータで公開されているものは12時間データである。さらに細かいデータもあるが、12時間データより、必要とする時間帯の交通量を求めても、大きな誤差はないとする。具体的な式を以下に示す。

$$\cdot \text{走行中車両台数(台/km)} = \text{時間あたり交通量(台/h)} / \text{平均旅行速度(km/h)}$$

ここに、時間あたり交通量：交通センサスの12時間平均交通量(台/12h)と時間あたり交通量の分布との関係より求める。

平均旅行速度：ラッシュ時を想定する場合は、交通センサスの混雑時平均旅行速度を用いる。その他の場合は、市街地の走行速度として30km/hを用いる。

2) 走行車両中の放置割合についての検討

走行中の車両を放置する確率についても、路上駐車車両と同様の理由で、アンケートによることが妥当であるとする。

路上駐車と同じアンケートの別の項目に以下のようなものがある。

- ・アンケート名：震災前後交通実態調査(京阪神都市圏交通計画協議会)¹⁰⁾
- ・想定条件：震度6の地震が発生し、公共交通機関は止まっている。
- ・アンケート結果：自動車により、通勤・通学途上の場合。

- ・走行車両放置率 ……前記より、13%とする。
- ・大型車混入率 ……交通センサスより、16%とする。

普通車両数 $N_s = (6 \times 0.55 + 94 \times 0.13) \times 0.84 = 13$

大型車両数 $N_l = (6 \times 0.55 + 94 \times 0.13) \times 0.16 = 3$

駐車車両占有長 $N_s \times L_s + N_l \times L_l = 13 \times 7 + 3 \times 15 = 136\text{m}$

以上より、厳しい交通条件にした場合でも、路上放置率が低ければ、片側2車線道路の場合、完全に通行できなくなることはないと考えられる。しかし、片側に16台程度が駐車した場合でも、その道路は1車線の機能しか発揮できず交通容量は大きく低下することになる。

よって、地震前からの路上駐車、地震発生に伴う車両の路上への放置は、いずれの道路区間でも発生する可能性があるが、占有率は高く15%程度である。ある程度の長さの道路区間では路上駐車車両の存在は避けられないものと考えられる。

1.3.5 地震時交通需要の予測手法

(1)短期評価における地震時交通需要の予測手法

短期評価用ODの構成は、図1.3.19に示すとおりである。以下に各ODの作成概要を示す。

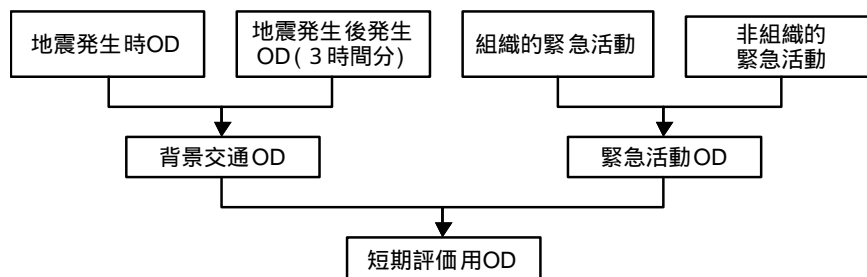


図1.3.19 短期評価用ODの構成

(a)地震後の背景交通ODの考え方

短期評価用背景交通ODは、パーソントリップ調査より求めた(本研究における神戸市のケーススタディでは、第3回京阪神都市圏パーソントリップ調査結果(1990年)を用いた)。この調査では活動目的を5種類(通勤、通学、自由、業務、帰宅)に区分しているが、地震後の背景交通ODは、これら平常時ODに対して地震時に地震後に行われた京阪神都市圏交通計画調査¹⁰⁾のアンケート結果を基に、活動の変更を考慮して表1.3.13に示すとおり設定した。以下、これら2つの地震発生による活動変更後のODについて、前者を地震発生時OD、後者を地震発生後発生ODと区分して呼ぶ。

表1.3.13 短期評価のための平常時ODから地震後のODへの置き換えの考え方

対象	地震前の目的	地震後発生後の行動
地震発生時OD	通勤	帰宅80% 行動継続20%
	通学	帰宅80% 行動継続20%
	自由	帰宅80% 行動継続20%
	業務	帰宅80% 行動継続20%
	帰宅	帰宅100%
地震発生後発生OD	通勤	通常時の25%が発生
	通学	通常時の25%が発生
	自由	通常時の0%が発生
	業務	通常時の0%が発生
	帰宅	通常時の55%が発生

(b)短期評価用背景交通ODの推計

短期評価用背景交通ODの推計フローを図1.3.20に示す。パーソントリップ調査結果を基に地震発災時ODと地震発生後発生ODを推計し、両者を合わせて短期評価用背景交通ODとする。

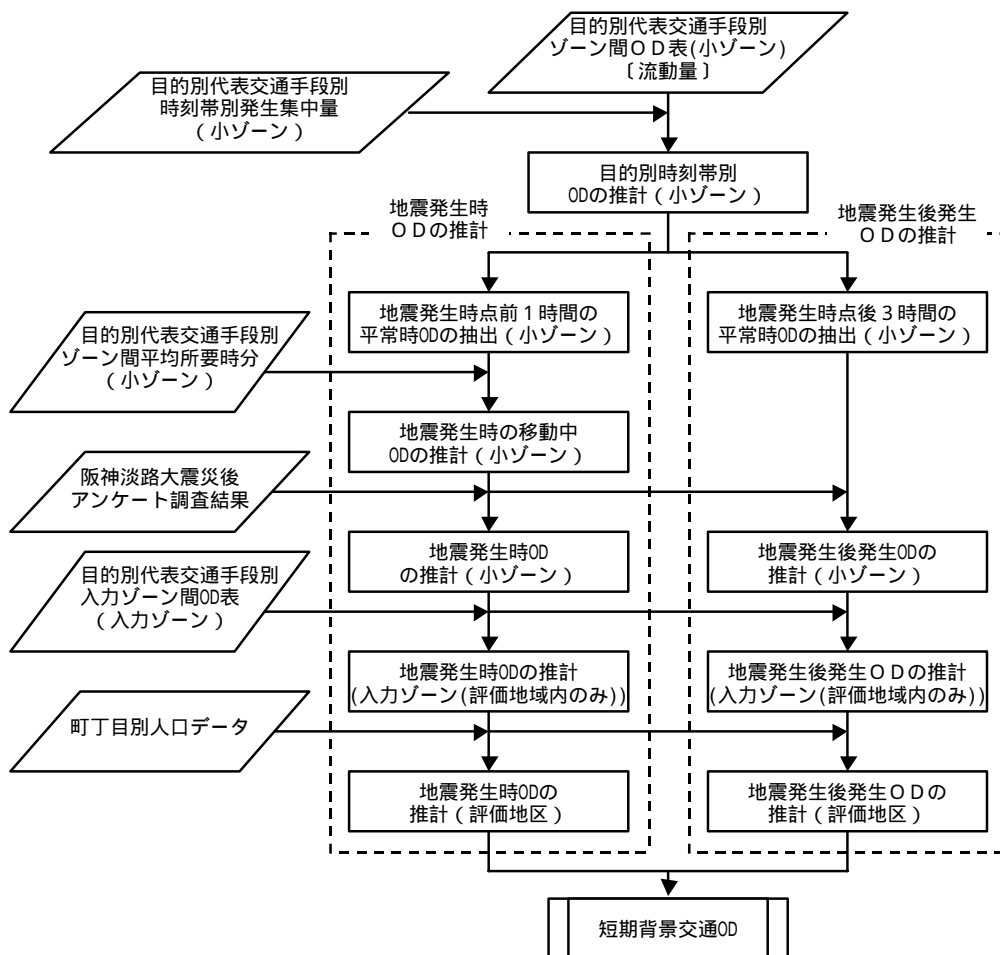


図1.3.20 短期評価用背景交通OD推計フロー

(c)組織的緊急活動ODの推計

組織的緊急活動ODは表1.3.14に示すように、主として消防署の行う活動としての救急・救助および消火・消防を取り扱い、阪神・淡路大震災時のデータから求められた発生原単位を基に推計する。

(d)非組織的緊急活動OD

非組織的緊急活動ODとしては、表1.3.15に示すとおり、避難(広域・域外)、人の搬送を取り扱い、阪神・淡路大震災時のデータから求められた発生原単位を基に推計する。

避難活動ODは、広域避難場所及び域外への避難を想定し、人口、人口に対する避難トリップの発生原単位、地震発生後3時間以内の避難者の実績調査結果より求める。

搬送活動ODは、個人による傷病者の最も近い一次医療機関への搬送を想定し、人口、人口に対する避難トリップの発生原単位(3時間内に集中すると仮定)より求める。

表1.3.14 組織的緊急活動の種類と交通需要

緊急活動等の種類	対象とする緊急活動等の内容	活動発生時期			交通ボリューム (原単位は、阪神・淡路大震災の調査結果から、昨年度調査で求めたものである。)	制約条件	評価	ネットワーク上交通量への反映				評価指標としての採否
		発災直後～3時間程度	中期1週間程度	長期1ヶ月程度				発生量	ODの		反映の	
									具体的な	反映法		
救急・救助	消防署による救助・救急活動を対象とする。	○	△		調査より、消防署の救助関連トリアの原単位は1.75台/被救助者であり、また救急では1.05台/被搬送人となっている。神戸市の全域日平均のべ出場台数は、それぞれ救助332台、救急375台であった。	各消防署に配置されている出動可能な車両数が制限となる。	量的にはやや多い。また、人命に直接関わる活動であり、重要である。また、本ODを具体的に設定することは困難である。	○	△	想定されるODを各消防署の管内地区人口比で割り振り、ODとする。	○	○
消火・消防	消防署の消火活動に伴う消防車両を対象とする。	○	△		調査より、消防署の消防車両の原単位は8.74台/火災1件となっている。神戸市の全域日平均のべ出場台数は154台であった。	各消防署に配置されている出動可能な車両数が制限となる。	救急・救助と同じ意味で重要と考える。また、特性も同等である。	×	△	想定されるODを各消防署の管内地区人口比で割り振り、ODとする。	×	○
物資調達・物資供給	域外から配送拠点(域外輸送)、配送拠点から避難所等への移動(域内輸送)の2種類の輸送とも対象とする。		○	○	調査より、ピーク時の域外への輸送では480回/日となっており、域内輸送では1,200回/日となっている。また、物資輸送等の目的で予備も含めた自衛隊車両約3,000台が使用可能であった。	利用可能車両数が制限条件となる。	域外輸送ODは各地域の防災計画に基づいて作成する。また、量的には1人当たり物資必要量から算定することを考える。	○	○	目的は、防災計画の物資集積所とする。発災は、外部に割り振る。	○	○
電力	電力復旧は応急復旧(災地域全域での送電可能相手への応急送電を行う)と復旧措置(分断ルートの復元や電柱の建て替え等各戸への配電復旧の2段階を考慮する。		○	△	調査より、応急復旧の停電戸数当りの車輦数は43.75台/万軒、復旧の停電戸数当りの車輦数は183.28台/万軒となっている。応急復旧時の17市町村合計の一日の最大動員車輦数は約2,000台である。	利用可能車両数が制限条件となるが、各地域の車輦数を正確に算定することは難しい。	応急復旧、復旧の原単位は日当たり換算して使用する。具体的なODは不明なため、防災計画等においては、基地と管轄区域とのODとして定可能である。管轄区域内での移動はゾーン内移動と見なす。	○	△	想定されるODを各地区人口比あるいは被害予測数で基地からのODとして割り振る。	○	○
ガス	ガスの復旧作業のための車両を対象とする。		○	△	調査より、原単位としては供給停止世帯当り、0.38台/戸となっている。17市町村合計の一日の最大動員車輦数は約4,800台である。			○	△		○	○
水道	水道の復旧作業のための車両を対象とする。		○	○	調査より、断水世帯当り43台/戸となっている。17市町村合計の一日の最大動員車輦数は約1,000台である。			○	△		○	○
道路・交通系復旧	交通系の復旧処理は、応急措置と復旧の2段階を考慮する。		○	△		特に無し	量の想定、ODの想定ともに困難である。	○	△	目的地は処分地とし、出発地は被害に応じて設定する。	○	○
建築物系解体、がれき処理	道路上のがれきや倒壊建築物のがれき処理等の作業用車両を対象とする。			○	阪神・淡路では所有権の問題からがれき処理にりかかるのに若干時間がかかっている。このことも含めて完結には長期間を要している。検例では倒壊棟数当り車輦数18.99台/棟、がれき量では105.22t/棟などがある。	特に無し	復旧期間より原単位を日単位に変更する必要がある。また、ODについては防災計画で処理場と想定される場所と全域間で設定する。	○	△	目的地は処分地とし、出発地は被害に応じて設定する。	○	○

表1.3.15 非組織的緊急活動の種類と交通需要

非組織活動等の種類	対象とする非組織活動の内容	活動発生時期			交通ボリューム (原単位は、阪神・淡路大震災の調査結果から、昨年度調査で求めたものである。)	制約条件	評価	ネットワーク上交通量への反映				評価指標としての採否
		発災直後～3時間程度	中期1週間程度	長期1ヶ月程度				発生量	ODの		反映の	
									具体的な	反映法		
避難(広域・域外)	広域・域外への避難を主とする。地域外居住者による域外への避難補助も考慮する。	△	○		調査より、避難トリアの原単位は0.012トリップ/人・日となっている。また、域外居住者による訪問の仮に1/3が避難補助だとすれば、昨年度検討から0.05トリップ/世帯・日(往復)とよかっている。	特に無し	ODの想定は困難である。方向別の域外人口比で分割して割りつけることが考えられる。	○	△	人口に比例させ、全体に配分する。	○	○
人の搬送	病院等への個人による搬送を対象とする。	○			調査より、人の搬送トリアの原単位は0.012トリップ/人・日となっている。	特に無し	発災状況により、は発災直後の行動は大きく異なる。ODの想定も困難である。	○	△	人口に比例させ、全体に配分する。	○	○
家族等の安否確認	勤務先等出先からの帰宅行動や、親戚等の安否確認行動等を対象とする。	○			調査より、安否確認トリアの原単位は0.136トリップ/人・日となっている。	特に無し	阪神・淡路では比較的重の大きなものとなっているが、発災状況により、行動は大きく異なる。また、ODの想定は困難である。	○	△	人口に比例させ、全体に配分する。	○	× ¹⁾
物資搬送	個人的な支援物資の輸送や物資調達に伴う移動を対象とする。		○		調査より、物資の搬送トリアの原単位は0.055トリップ/人・日となっている。	特に無し	ある程度の量は状況によらず必ず発生する。しかしODの想定は困難であり、また、地区内での移動が多くなるとも考えられる。	○	△	人口に比例させ、全体に配分する。	○	× ²⁾
付近の状況確認	近隣の被災状況把握行動である。	○			調査より、状況把握トリアの原単位は0.054トリップ/人・日となっている。	特に無し	近隣の移動であり、地区内での移動がほとんどと考えられる。	×	×	幹線系道路に発生しない。	×	× ³⁾

注：1)家族棟の安否確認については、対象地域内行動においては、出発地および目的地いずれも不特定多数であることから、幹線系道路の評価指標からは外した。
 2)物資輸送については、地区内の街路の利用が多く、また幹線系道路を利用したとしても、出発地および目的地いずれも不特定多数であることから、幹線系道路の評価指標からは外した。
 3)付近の状況確認については、ほとんどのトリップが地区内街路を利用すると考えられるので、幹線系道路の評価指標からは外した。
 上記1)～3)については不特定多数に供するための加工した具体的な個別の評価指標(例：○病院までの所要時間等)を作成しないことを示し、各行動の推定所要時間は、各時期に対応した交通状況評価より求めることが可能である。

(2)中・長期評価における地震時交通需要の予測手法

中・長期評価におけるODは、短期評価と同様に、背景交通と緊急活動に伴う需要を合わせて作成する。背景ODの作成フローを図1.3.21に示す。

背景ODは、平常時のODに対する、中期及び長期評価対象時期におけるODの発生比率をもとに、概略推計する。ここでは、ODの発生比率として、阪神淡路大震災時の調査結果を基にした値を表1.3.16に示す。また、各評価時期において考慮すべき緊急活動は、表1.3.13および表1.3.14に示す通りである。

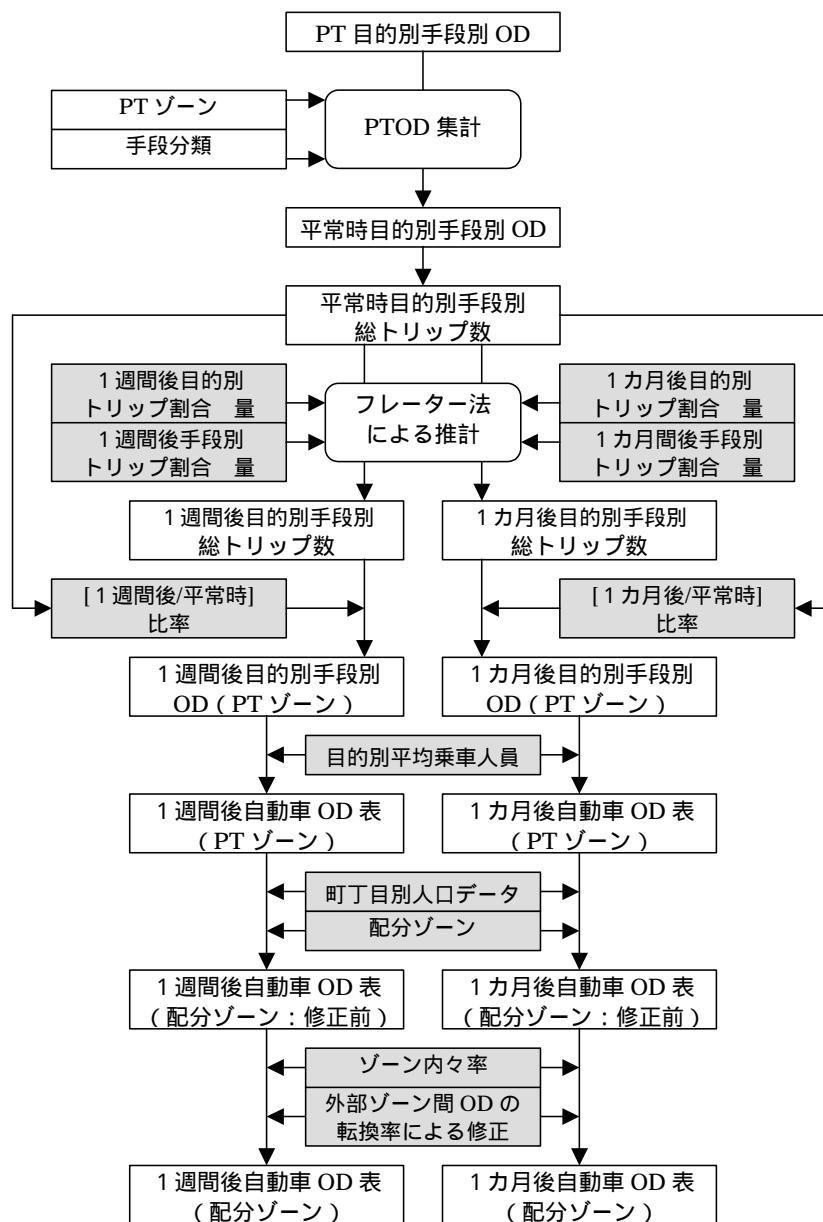


図1.3.21 中期・長期評価における背景OD算出フロー

表1.3.16 阪神・淡路大震災時における交通の平常時比

目的種別	1週間後	1カ月後
通勤	60%	80%
通学	60%	80%
業務(勤務業務を含む)	60%	80%
私事(その他私事を含む)	10%	35%
帰宅	各目的の裏行動	

1.3.6 地震時の交通状況の評価手法

(1)短期評価

(a)ケーススタディー地区における幹線系道路と内部セントロイドの設定

図1.3.22に、対象とする幹線系道路を示す。また、同図に特に着目する評価地区を赤で示す。機能障害危険度を評価する幹線系道路については、以下の基本方針により設定している。

- ・都市計画法による都市計画道路の幹線街路を基本ネットワークとする。
- ・幹線街路であっても、2車線以上の道路幅員を有していない場合は、対象外とする。
- ・都市計画道路以外であっても、交通状況から判断して重要と考えられる2車線以上の道路は対象として加える。
- ・高速道路については、地震直後に通行規制(通行止め)を実施するため対象外とする。

また、内部セントロイド(幹線系道路を利用したODの発着の単位となる地区)の設定については、以下の考え方に従って、地区分割を行った。

- ・一つの地区は、幹線系道路に囲まれた区域を基本とする。
- ・地域住民の移動の障害となる河川、地上および高架の鉄道の区域については、地区の区切りとする。
- ・一つの地区は、概ね小学校区程度を基本とする。
- ・町丁目は最小単位とし、分割しない。

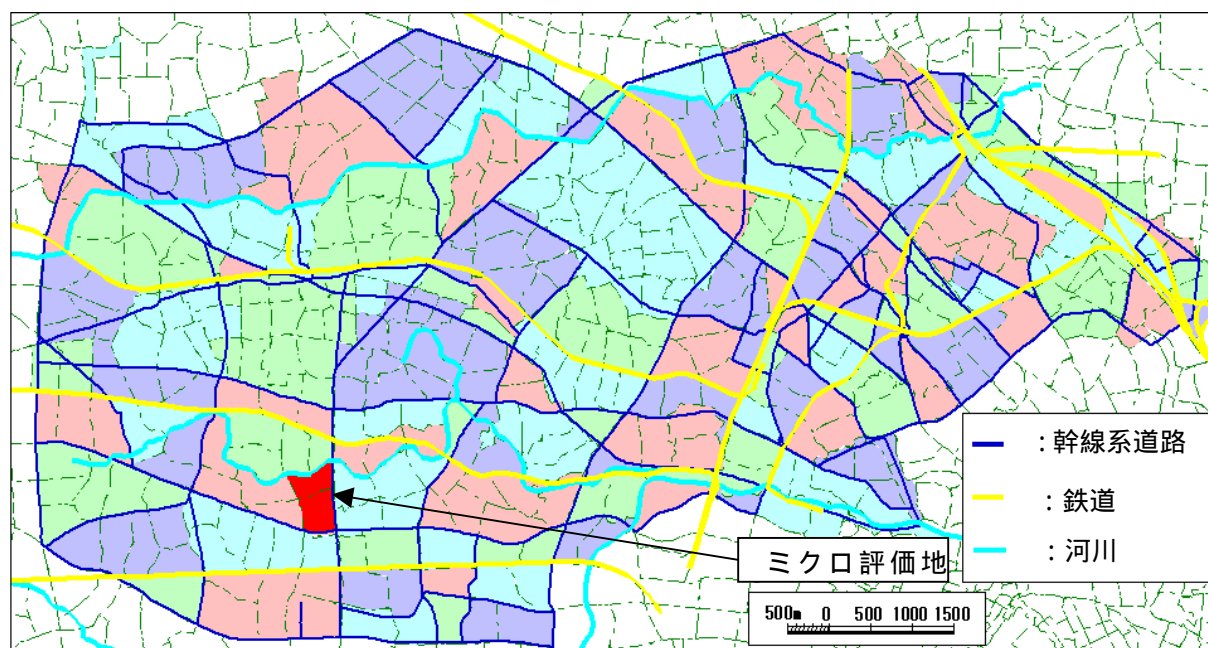


図1.3.22 ケーススタディー範囲と対象幹線系道路

(2)入力地震動と地震時の交通容量

入力地震動については、地域防災計画に基づくという基本の考え方に従い、東京都の想定¹⁵⁾を元にして、図1.3.23に示すとおり設定した。この地震動が作用した場合の交通容量を図1.3.24に示す。地震時の交通容量は、作用加速度が低く地震被害による交通容量低下が少ないことから、支配的要因が交差点の交通容量あるいは放置車両による影響となっている。

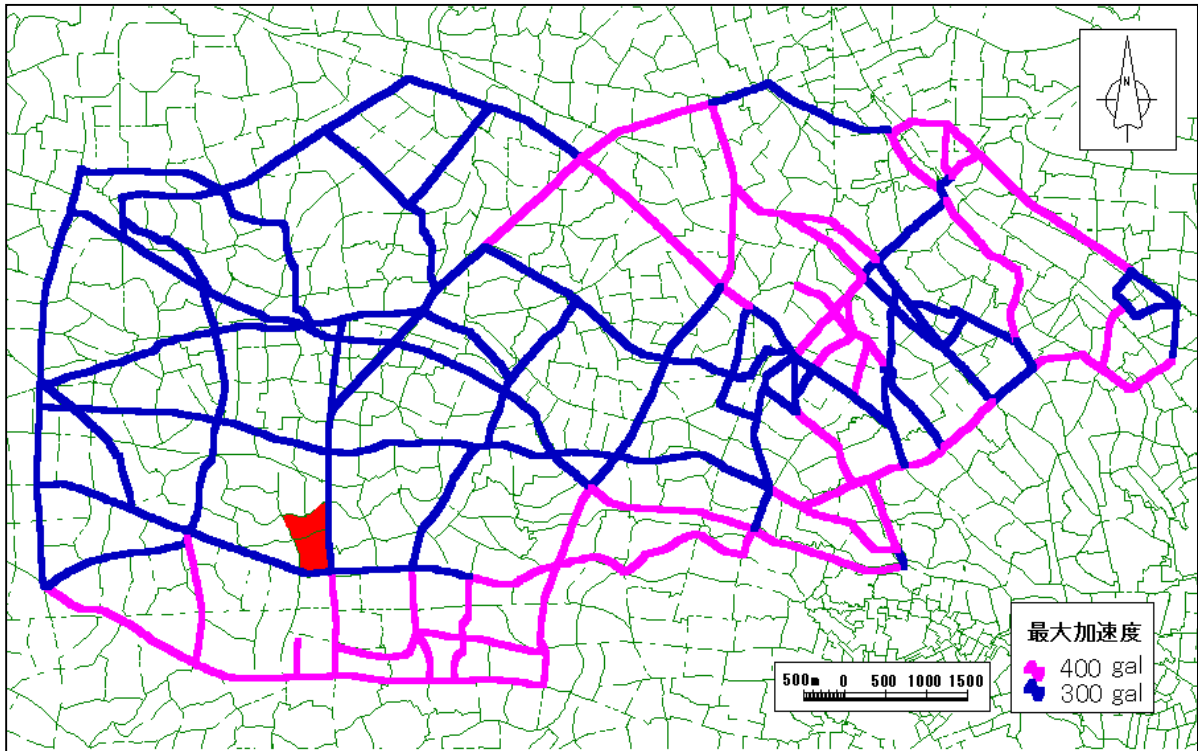


図1.3.23 各リンクの入力地震加速度

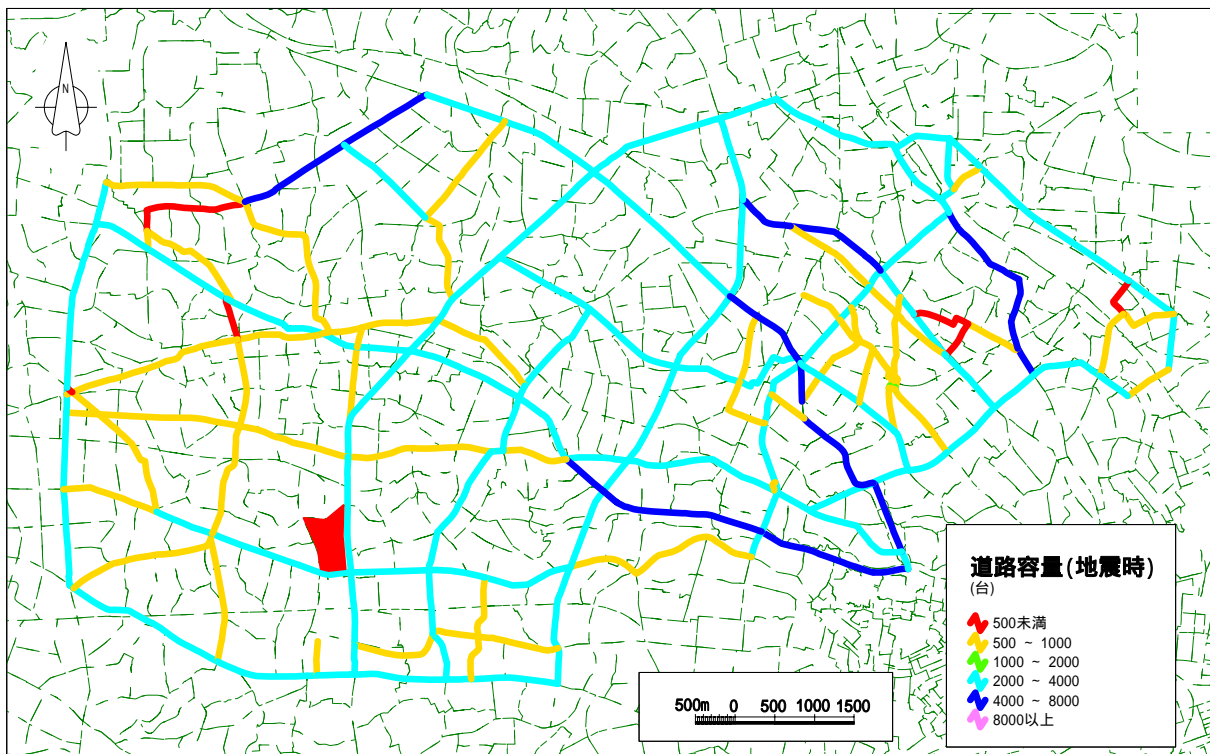


図1.3.24 地震時の各道路区間の交通容量

(3)解析結果と評価

(a)解析条件

リンク速度の設定

リンク速度は道路交通センサスの箇所別基本表に記載されている指定最高速度を用いる。なお、道路交通センサスにおいて記載のない対象リンクは、表1.3.17の条件の通り設定する。

表1.3.17 リンク速度設定条件

道路種別	車線数	設定速度
一般国道	4車線以上	60km/h
	4車線未満	50km/h
一般県道・主要地方道・その他道路	4車線以上	40km/h
	4車線未満	30km/h
全路線共通	1車線	30km/h

交通配分シミュレーション手法

交通量配分手法は、OD表の交通量を分割(5分割均等)して各リンクの距離、QV条件により設定した所要時間より最短時間となるOD間の経路を探索し、各リンクに交通量を累加する方法を用いる。

本ケーススタディーで用いるQVモデル式を図1.3.25に示す。短期評価では、時間単位の評価を行うため、このQVモデルがもっとも適していると考えた。

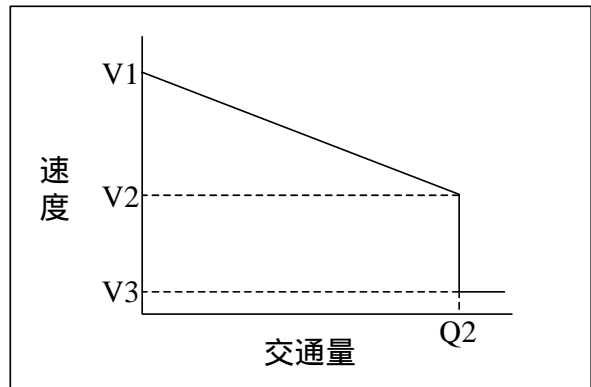


図1.3.25 QV条件図(短期評価(時間単位)用)

各パラメータは、以下のように設定する。

1)交通容量

- ・ Q2(可能交通量、台/h)：交差点および路上駐車を考慮した交通容量を設定する。

2)速度

- ・ V1(自由流速度、km/h)：規制速度とする。
- ・ V2(限界速度、km/h)：V1の2分の1とする。
- ・ V3(渋滞速度、km/h)：V1の10分の1とする。

(b)解析結果

解析結果として、図1.3.24に示す地震時のネットワークに表1.3.18に示す短期評価用ODを発生させた結果を図1.3.26に示す。なお、表1.3.18のODのうち、緊急活動によるOD数は約38,000である。

本手法の評価の仕方について、以下に示す。

- ・ 図1.3.24に示すように、各道路区間の交通容量が示されるため、その値により危険性を示すことが可能となる。道路構成に違いが大きい場合は、交通容量の平常時比を用いることも有効である。

表1.3.18 ケーススタディーの短期評価用OD数(1時間当たり)

発 / 着	評価域内	評価域外	合計
評価域内	18,000	25,000	43,000
評価域外	46,000	55,000	101,000
合計	64,000	80,000	144,000

- ・ 図1.3.26に示すように、各道路区間の混雑度が分かるため、各地区に対する緊急活動が必要とする時間の目安を得ることができる。また、やむを得ず車を用いて避難しなければならない場合の目安ともなる。特に着目した評価地区について具体的に所要時間を算出すると、まず周辺の緊急活動関係施設位置は、図1.3.27に示すとおりであり、緊急活動に必要と想定される時間は表

1.3.19の通りである。また、他の評価結果と合わせる場合に、この時間を用いることが可能である。

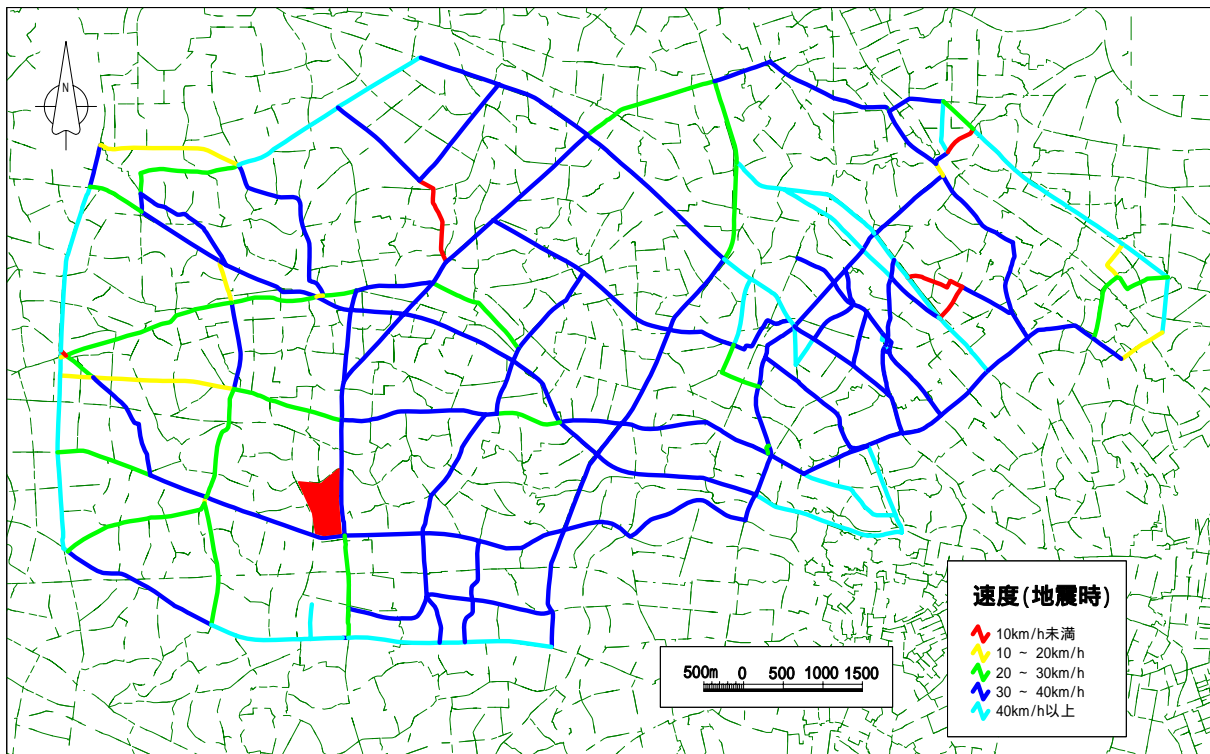


図1.3.26 短期評価の解析結果(各道路区間の走行速度)

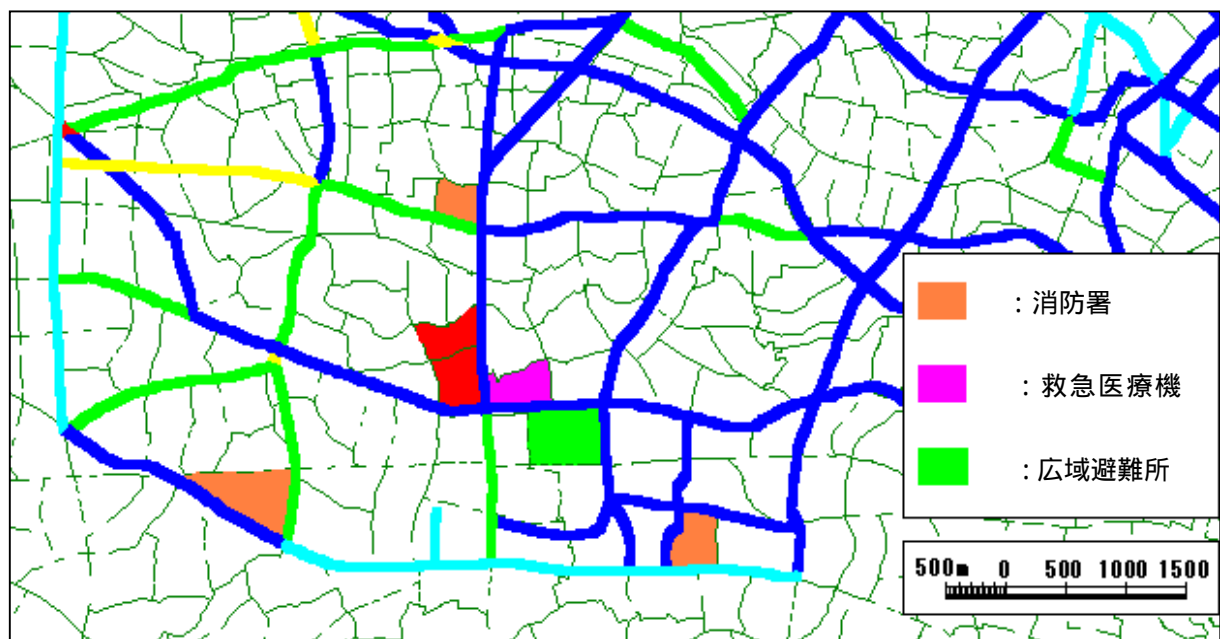


図1.3.27 ミクロ評価地区周辺の緊急活動関係施設(地区周辺を拡大)

表1.3.19 ミクロ評価地区の緊急活動に必要な推定時間

活動の種類	所要時間(東側幹線系道路)	所要時間(南側幹線系道路)
消防	2.4分	3.6分
救急(搬送)	0.8分	0.4分
避難	2.1分	1.7分

(4)中期評価のシミュレーション

(a)解析条件

中期評価は、1日単位での評価になるため、時間交通容量を基本とした短期評価とは異なる。1日の交通容量は交通量配分マニュアル(案)¹²⁾に示されている表1.3.20の値を用いる。日単位の評価に用いるQ-V図は図1.3.28のとおりであり¹²⁾、図中の各記号は表1.3.20と対応している。

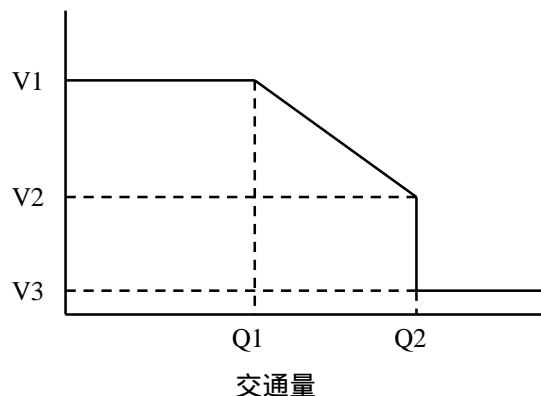


図1.3.28 QV条件図(中・長期評価(日単位)用)

表1.3.20 道路のリンク速度設定条件

車線数	種別	地形	級別	Q 1 自由流 限界 交通量 pcu / 日	Q 2 可 能 交通量 pcu / 日	V 1 自由流 速 度 km	V 2 臨 界 速 度 km	V 3 洪 滞 速 度 km
多車線道路 (1車線当たり)	第4種	都市部	第1級	8,200	16,300	60	30	5
			第2級	7,100	14,200	60,50,40	30,25,20	5
			第3級	7,100	14,200	50,40,30	25,20,15	5
2車線道路 (2車線当たり)	第4種	都市部	第1級	10,300	20,600	60	30	5
			第2級	9,000	17,900	60,50,40	30,25,20	5
			第3級	9,000	17,900	50,40,30	25,20,15	5
1車線道路	第4種	都市部	第4級	3,100	6,100	40,30,20	20,15,10	5

(b)解析結果

(a)に示した交通容量を基本とし、地震による被害とその応急復旧を考慮した、中期評価用道路ネットワークの交通容量を図1.3.29に示す。なお、ここでは道路啓開は終了しているものとして、放置車両は無いものとしている。作用地震動が小さく、地震時の被害が大きくないため、中期評価における交通容量の低下はさほど大きくない。

図1.3.29のネットワークに作用させるODを表1.3.21に示す。ここで、高速道路については、B程度の被害が発生し、中期評価では緊急車両のみ通過可能であり、一般車は通行できないと設定している。全OD数は、約500,000であり、このうち緊急活動によるOD数は約10,000である。

表1.3.21 ケーススタディーの中期評価用OD数(1日当たり)

発 / 着	評価域内	評価域外	合計
評価域内	43,000	121,000	164,000
評価域外	121,000	206,000	327,000
合計	164,000	327,000	491,000

ケーススタディーの解析結果として、図1.3.29に示す地震時のネットワークに中期評価用ODを発生させた結果より、混雑度を図1.3.30に、走行速度を図1.3.31に示す。東西方向に比べ南北方向のODが多いため、比較的南北方向の道路の混雑度が高くなっている。全体的にみると、交通需要を地震の影響を反映させ、図1.3.21に示すとおり減少させて平常時の6割弱に低下しているのに対し、地震の被害が少なく、中期評価においては道路の交通容量は1割も低下していないため、混雑度は高くなっていない。図1.3.31には走行速度を示しているが、道路が合流して交通が集中しているところで走行速度が低くなっている。

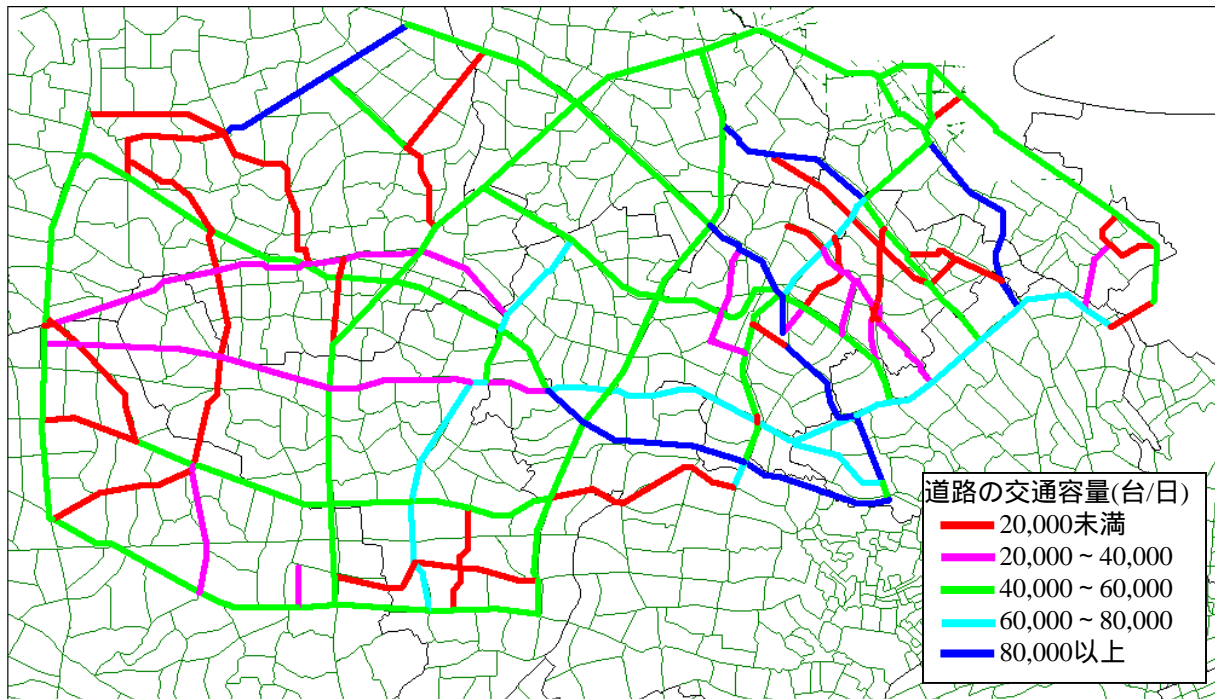


図1.3.29 中期評価用ネットワークの交通容量

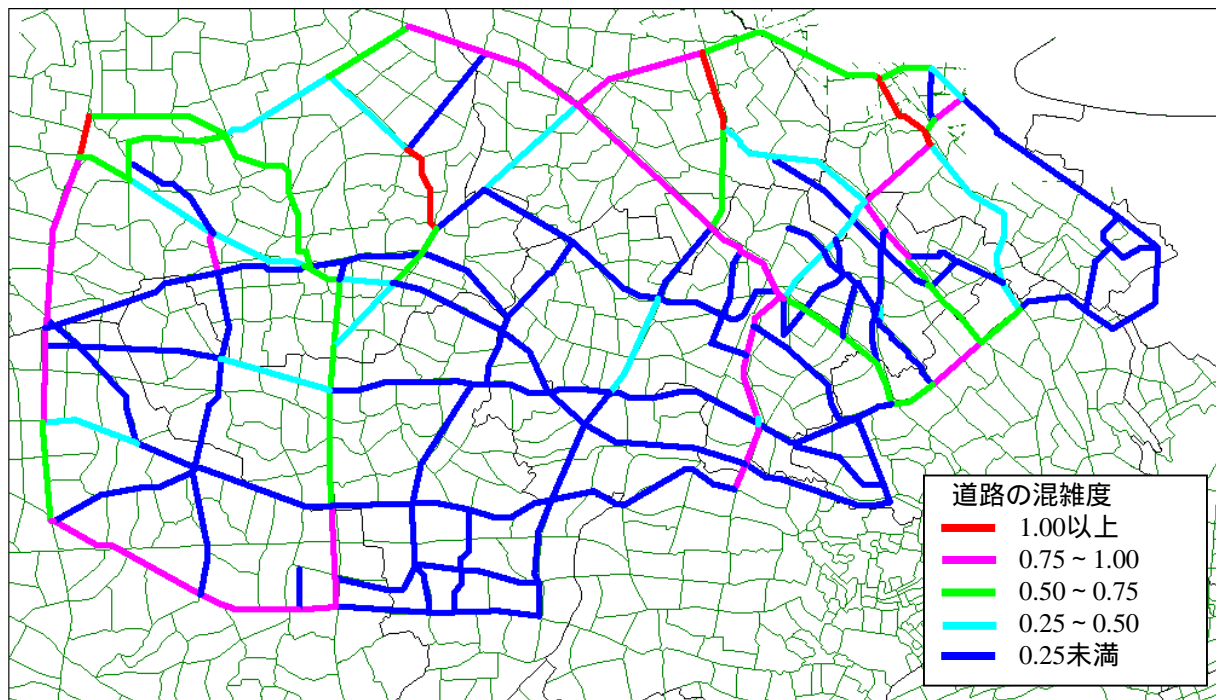


図1.3.30 中期評価の解析結果(各道路区間の混雑度)

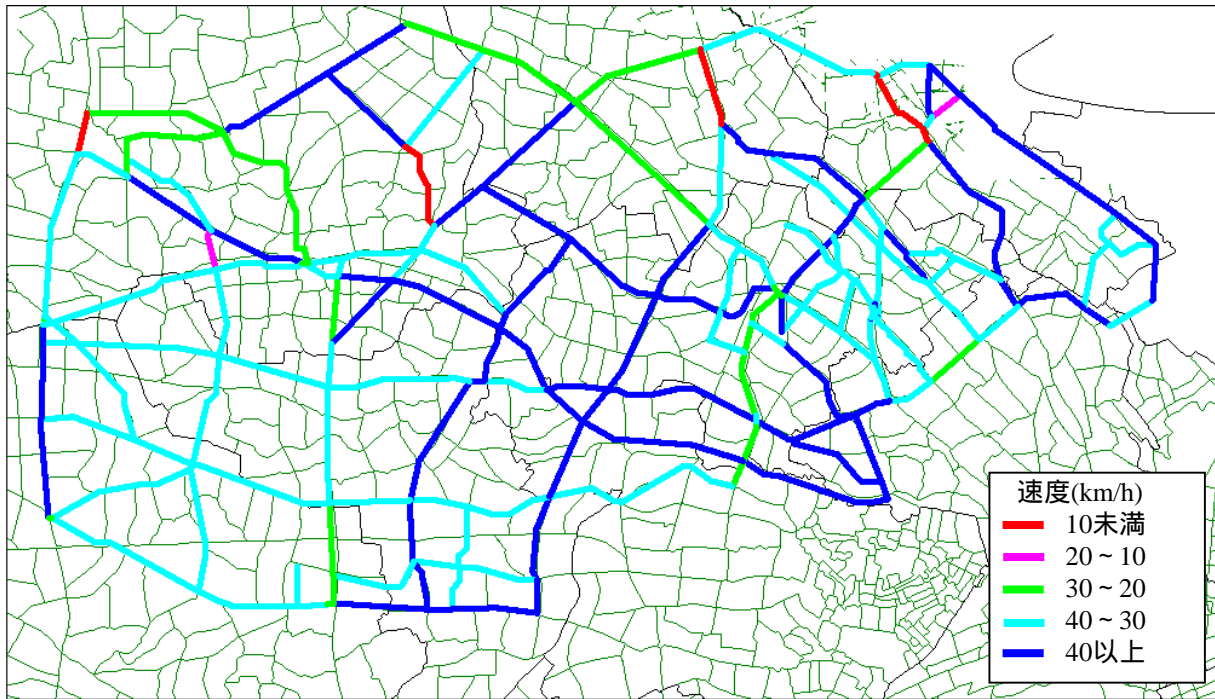


図1.3.31 中期評価の解析結果(各道路区間の走行速度)

(5)長期評価のシミュレーション

(a)解析条件

長期評価の基本的な解析条件は、中期評価と同じである。長期評価用の道路ネットワークおよびODを作成し、解析を行う。

(b)解析結果

(4)の(a)に示した交通容量を基本とし、地震による被害とその応急復旧を考慮した、長期評価用道路ネットワークの交通容量を図1.3.32に示す。なお、ここでは中期評価と同様に放置車両は無いものとしている。

表1.3.22 ケーススタディの長期評価用OD数(1日当たり)

発 / 着	評価域内	評価域外	合計
評価域内	59,000	148,000	207,000
評価域外	149,000	250,000	399,000
合計	208,000	398,000	606,000

図1.3.33のネットワークに作用させるODを表1.3.22に示す。ここで、高速道路は被害Bの1月後として、通行可能と設定している。そのため、高速道路を利用可能なトリップについては、に示す式により、その1部が高速道路を利用するものとし、その分だけODを減少させている。全OD数は、約600,000であり、このうち緊急活動によるOD数は約8,000である。

ケーススタディの解析結果として、図1.3.32に示す地震時のネットワークに長期評価用ODを発生させた結果より、混雑度を図1.3.33に、走行速度を図1.3.34に示す。OD数の回復度合いが、交通容量の回復度合いよりも大きいことから、中期評価に比べて混雑度が全体的に高くなっており、そのため走行速度も低下している。

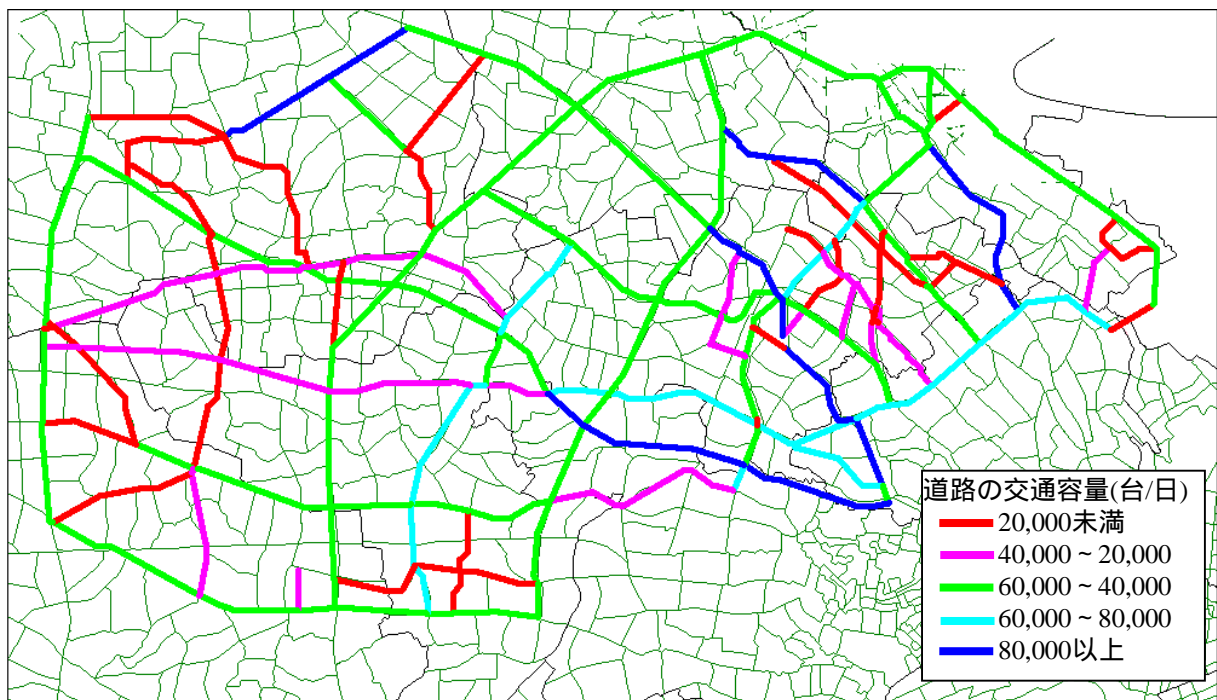


図1.3.32 長期評価用ネットワークの交通容量

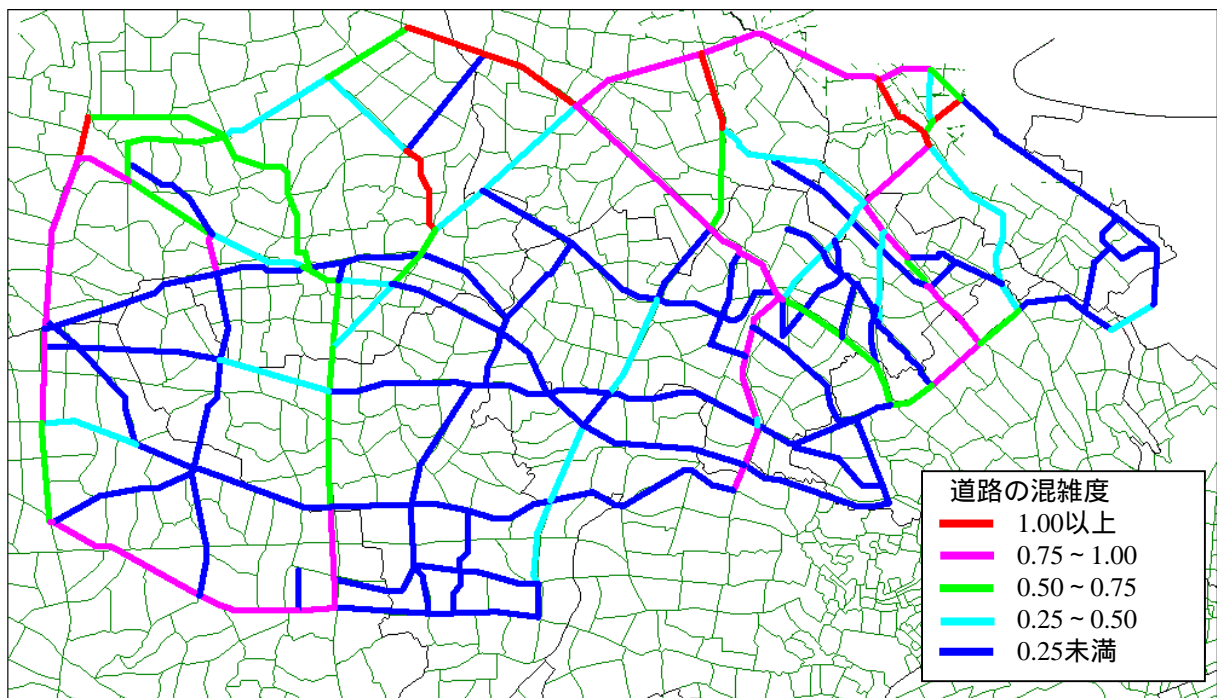


図1.3.33 長期評価の解析結果(各道路区間の混雑度)

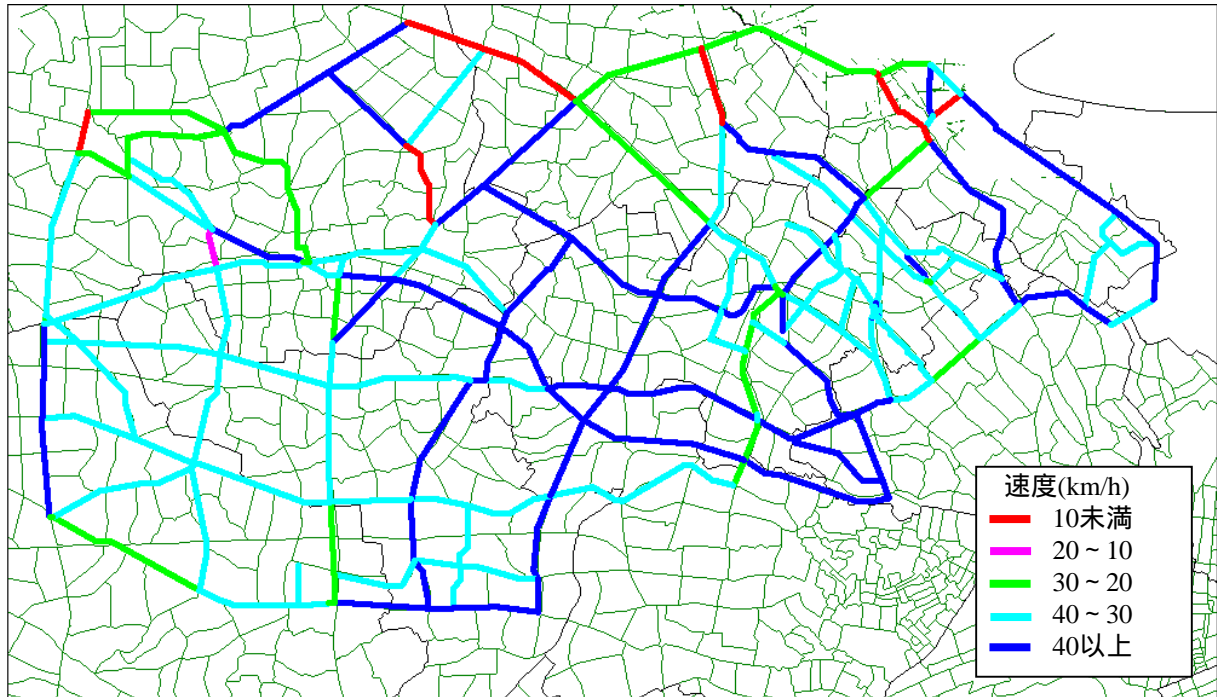


図1.3.34 長期評価の解析結果(各道路区間の走行速度)

(6)防災対策の解析時における反映方法

防災対策を行ったシナリオを評価する際は、主としてネットワークモデルを修正する必要がある。

表1.3.23に防災対策とデータへの反映方法を示す。

表1.3.23 防災対策とモデルへの反映方法

	対策名	対策等の内容	シミュレーションへの反映方法	具体的な反映箇所
ソフト的な対策	警察官による信号停止箇所の誘導	停電・倒壊等により、信号による制御が停止した主要交差点で、警察官による誘導を行う。	交差点ノードに繋がるリンクの容量を修正することで表現する。	ネットワーク解析モデル
	流入規制	流入規制については、次の2種類が考えられる。 ある地域への組織的な緊急活動に伴う車両以外の流入を禁止する。 地域通過車両に対しては、通過ルートを限定する。	対象車両のODを他の車両のODと分割し、対応したネットワークに配分した後、これを合算して算定する。	ネットワーク解析モデル
	車線規制(緊急車両専用レーンの設置)	主要路線の一部あるいは全部を緊急車両専用レーンにする。	専用レーンを設置するリンク容量を低下させて、緊急車両以外の車両のシミュレーションを行う。	ネットワーク解析モデル
	幹線道路の早期啓開	主要幹線を早期に啓開することにより、域外からの物資搬入や地域通過交通の効率的な通行を図る。	短期のシミュレーションにおいて、地震被害により低下したリンク容量を回復させる。	ネットワーク解析モデル
	代替バスの早期運行	軌道系公共交通機関の途絶に伴い、通勤交通等が自動車利用に転換し道路交通が増加する。この交通を早期にバスに吸収し、道路混雑の低下を図る。	転換交通について、代替バス利用率により、自動車利用量を減少させる。もしくは鉄道ネットワークに代替バス路線を含めて設定し、分担率を再計算することで効果を算定する。	ネットワーク解析モデル
	放置車両の規制強化	震災前の対策として、違法放置車両の取り締まりを強化する。	対応するリンクの交通容量を変化させる。	道路区間の評価モデル
ハード的な対策	新規路線の整備	幹線系道路が近くにない場所において、新規路線を整備する。地区内の道路を幅8m以上に拡幅する場合を含む。	ネットワーク上に計画新規路線を設定し、その効果を示す。	道路区間の評価モデル ネットワーク解析モデル
	既存路線の強化整備	防災上ボトルネックとなる道路を強化整備する。強化の内容として、耐震性の向上と、交通容量の増加が考えられる。	道路等の耐震性の向上は障害危険度評価モデルの中で評価する。道路拡幅等についてはリンク容量の拡大として反映する。	道路区間の評価モデル
		電線の地中化による電柱の撤去	障害危険度モデル評価の中で評価する。	道路区間の評価モデル
		中央分離帯への開口部の設置	障害危険度モデル評価の中で評価する。	道路区間の評価モデル
	沿道・占用施設の耐震性向上	交通容量に大きな影響を及ぼしている沿道・占用施設の耐震性を向上させる。	リンクの耐震性が向上し、交通容量の低下割合が減少することにより反映する。	道路区間の評価モデル

参考文献

- 1) 土木研究所：占用・沿道施設の耐震性評価に関する調査(その1)平成7年兵庫県南部地震における被災調査，土木研究所資料第3557号，1999.1
- 2) 日本道路協会：道路震災対策便覧(震前対策編)，1988.2
- 3) 日本道路協会：道路震災対策便覧(震後対策編)，1996.10
- 4) 日本道路協会：道路震災対策便覧(震災復旧編)，1988.2
- 5) 山崎文雄,大西淳一,田山聡：高速道路構造物の早期被害推定法の提案,第3回都市直下地震災害総合シンポジウム, pp.403-406, 1998.10
- 6) 林康裕, 宮腰淳一, 村田和夫：1995年兵庫県南部地震の地震動強さと建物被害の検討, 清水建設IRI研究報告 97-01, 1997.3
- 7) 阪神・淡路大震災調査報告(交通施設と農業施設の被害と復旧): 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会, 土木学会, 1998.2
- 8) 日本道路協会：道路の交通容量, 1984.9
- 9) 中村英樹：総合都市交通戦略としての駐車管理、交通工学 Vol34, No1, 1999
- 10) 京阪神都市圏交通計画協議会：京阪神都市圏交通計画調査, 1995.7
- 11) 岸野敬一、本田武志：震災後の交通行動に関する考察、土木計画学研究委員会、阪神淡路大震災調査研究論文集
- 12) 近畿地方建設局：交通量配分マニュアル(案), 1994.4
- 13) 土木学会：阪神・淡路大震災調査報告10巻「交通施設と農業施設の被害と復旧」, 1998.2
- 14) 岸野敬一、本田武志：震災後の交通行動に関する考察、土木計画学研究委員会、阪神淡路大震災調査研究論文集
- 15) 東京都：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書, 1997.8