

2.2 アクティビティの評価手法

本節においては、2.2.1 でマクロ評価方法を示し、2.2.2 以下では検討の経緯及び詳細を示している。

2.2.1 ミクロ評価の理論

ミクロ評価の各要素指標については、表の通りであり、以下にその考え方を説明する。

表 2.2.1 ミクロレベル評価の各アクティビティ別評価方針及び評価方法等整理表

	評価の視点		評価の考え方(マクロミクロ共通)	グラフ表示 要素指標	指標の種類		説明箇所
					必要性	困難性	
避難	二次被害からの避難	二次被害からの避難の必要性	(全ての人が必要と考える)	なし			-
		二次被害からの避難の困難性	避難地または幹線道路への到達困難性	一時避難(距離分布と非到達率)			(3)
	罹災避難	罹災避難の必要性	居住困難な倒壊建物の状況	建物罹災(棟別確率)			(2)(a)
		罹災避難の困難性	避難地への到達困難性	避難地避難(距離分布と非到達率)			(3)
	延焼避難	火災延焼範囲からの避難の必要性	延焼危険性	延焼(棟別確率)			(2)(c)
		火災延焼範囲外への避難の困難性	火災延焼範囲外への到達困難性	延焼避難(距離分布と非到達率)			(3)
消火	消火活動	消火活動の必要性	出火危険性	出火(棟別確率)			(2)(b)
		消火活動の困難性	火災発生場所への接近困難性(消防水利経由)	消火(距離分布と非到達率)			(3)
	延焼阻止活動	延焼阻止活動の必要性	延焼危険性	延焼(棟別確率)			(2)(c)
		延焼阻止活動の困難性	延焼危険場所への接近困難性(消防水利経由)	消火(距離分布と非到達率)			(3)
救出・救護	救出活動	救出活動の必要性	救出を必要とする建物倒壊の状況	全壊(棟別確率)			(2)(d)
		救出活動の困難性	救出対象への接近困難性	救出車到着(距離分布と非到達率)			(3)
	重傷者移送	重傷者移送の必要性	建物倒壊に伴う重傷者の状況	全壊(棟別確率)			(2)(d)
		重傷者移送の困難性	けが人発生場所への接近困難性	救急車到着(距離分布と非到達率)			(3)
	軽傷者対応	軽傷者対応の必要性	建物倒壊に伴う軽傷者の状況	全壊(棟別確率)			(2)(d)
		軽傷者対応の困難性	救護所へのけが人(発生場所から)の到達困難性	救護所到達(距離分布と非到達率)			(3)
	救護所における活動	救護所における救護活動の必要性	建物倒壊に伴う軽傷者の状況	全壊(棟別確率)			(2)(d)
		救護所における救護活動の困難性	救護所への兵站(部門からの接近)困難性	救護所兵站(距離分布と非到達率)			(3)

(1) 評価の目的から求められる評価指標の仕様

ミクロ評価の目的は、地区レベルで必要とされる活動の可能性の評価のみでなく、地区施設の改善策の提案支援も目的としている。具体的な改善策として意識されるものは、骨格的な施設整備として、地区の骨格的な道路の整備、避難場所、消防水利の整備など、街区レベルの整備改善として、路地の通り抜け化、区画道路・路地の拡幅、ポケットパークの整備、建築物の更新・セットバックなどである。また、これら改善策の実施は地域住民と密接であるため、その計画作りは住民参加型で行われることが前提である。

これらの点および実用の点からミクロ評価に求められる仕様は以下のようなものである。

- 1)防災施策はシビルミニマム的な施策であり、ある程度の水準までは地区内のどこでもおしなべて確保する必要がある。即ち最悪の場所が評価される必要があり、このため地区全体を面的に評価するものとし、評価単位は原則として建築物とする。
- 2)改善施策の抽出の観点から、道路閉塞の状況設定については原因までさかのぼれる必要がある。また、分析を行うという観点から、建築物、リンク、ネットワークと段階的に中間的な指標値が抽出できる必要がある。
- 3)基本的には、実施すべき施策の想定されるアクティビティー上の効果が、評価過程で適切に反映される必要がある。
- 4)これらの仕様を満足するためのデータとしては、詳細なデータを前提とする。このためには、既存のデータベース上に存在しなくても、住民の協力があれば取得できるデータも対象となりうるとする。(データが未取得の場合は、一般値などで代用できることが適当である。)
- 5)評価は各主体の行動パターンをもとに行う必要があり、このために、活動の評価は、行動のシミュレーション手法により行うことが適当である。

なお、地震に伴う状況設定は確率的にならざるを得ないので、計算される評価結果は確率もしくは確率分布として示される。このため、理解しやすい指標とするため、必要に応じてこれらを加工することが適当である。

(2)行動必要性の評価について

行動必要性は、行動可能性指標の仕様に対応するため、建築物単位で設定するものとする。評価上必要となる行動必要性指標は以下の5指標である。

(a)罹災避難の必要性(避難)

【評価指標】全壊確率(村尾らの研究(自治体式)の全壊率の読みかえ)

【評価単位】各建築物

二次被害の恐れからの避難の後、自宅等が居住困難であるため避難場所に行く必要のある率については、建物の全壊確率を用いる。

建物の被害状況の仮定については、建築物の耐震診断に応じて確率として設定することも考えられる。しかし、地区内の建物全ての建築診断を行うことは実際的でないので、地震に伴う建築物の全壊率データ等に基づき、設定することとする。具体的には、建築構造・建築年代別全壊率の計算式(値)を、当該建築構造・建築年代の建築物に関する全壊確率と読み替えて適用するものとする。なお、耐震補強等については、例えば「最新の建築物並みの補強」であれば、最新年代の全壊率を読み替える全壊確率を適用することで評価することとする。

値については、村尾らの研究で構造別、建築年代別に地震動指標(PGV)と全壊率の関係が関数形で示されているので、これを全壊確率と読み替えて、全ての建築物について計算する。なお、全壊は居住の可否なので、自治体調査の定義に対応したものをを用いる。

村尾修,山崎文雄:震災復興都市づくり特別委員会調査データに構造・建築年を付加した兵庫県南部地震の建物被害関数,日本建築学会構造系論文集,第555号,pp185-192,2002

(b)出火危険性(消火)

【評価指標】出火確率:当該建築物の用途に対応する用途別・加速度別出火率(表)等により、地震の加速度に応じた出火率を算定。

【評価単位】各建築物

各建築物の用途を、「都市計画基礎調査における建物用途現況調査」、「事業所・企業統計調査、国勢調査」、「固定資産税台帳調査」のいずれかで把握した後、本総プロの研究の一環である、「地震時におけるイベントツリー型出火危険性算定手法の整理業務 平成 15 年 2 月 株式会社三菱総合研究所」に示されている方法により算定される出火率を、出火確率と読み替えて用いる。

なお、マクロ評価では、以下の簡易法を用いており、必要な地区データが得られない場合は、これを用いることも考えられる。

【評価指標】出火確率 = 全壊確率（全壊率（自治体式）の読み替え）× 0.1923%

【評価単位】各建築物

火災危険性は、建物の被害状況の応じた出火確率によって算定する。建物の被害状況については(a)と同様、全壊率を読み替えた全壊確率を用いることとする。

兵庫県南部地震の出火率については、「直下の地震を踏まえた新たな出火要因及び延焼性状の解明と対策 H9.3 東京都火災予防審議会、東京消防庁」において示されており、出火件数の合計としては 183 件が数えられ、これを全壊及び半壊以下に区分し、全壊分を 49.3（不明分を割り振っているため小数点がある。）と推計し、全壊建物 1 棟当りの出火率を 0.0518%と計算（全出火要因合計）している。

しかしながら、全壊分は全体の 26.9%に過ぎず、過小に算出される恐れがある。このため、出火は地震被害との関係で発生すると考え、全壊率を全壊確率と読み替えることで全ての建物に出火確率が割り振られることを前提とすれば、一律に拡大係数をかけても大きな偏差はないと考えられる。（なお、半壊以下を無視するより合理的な発生確率が得られる。）

このため、以下のような考え方で、棟当りの出火確率を計算する。

全壊 1 棟当りの出火率 0.0518%を全壊建物の出火確率と読み替え、各建物の全壊率を全壊確率と読み替えて、この 2 つの積をとる。この確率は、各建物が全壊して出火する確率である。

全壊を含めた全体の出火確率は、全壊からの出火確率の 3.712 倍（1 / 26.9%）であるから、各建物の全壊して出火する確率に均等に拡大係数として割り振る。この結果、各建物の全壊確率に対する出火確率の比は 0.1923%となる。（この数値は全壊して出火する確率ではない。）

なお、全壊確率と読み替える全壊率については、村尾らの研究 によることとするが、前期の消防庁の調査が自治体調査の全壊率に対応したものであるため、これを用いる。

(c)延焼危険性（消火（避難にも活用））

【評価指標】延焼危険確率 = {(出火確率) × (消火活動困難性指標（不能率部分）)}
(の範囲は焼失想定範囲の各建築物)

【評価単位】各建築物

延焼危険性については、延焼評価の結果（焼失想定範囲：シミュレーションによる焼失範囲もしくは CVF のもととなるバッファの範囲）を受けて設定するものとする。

これに加えて、「火災危険性に対応する消火活動の困難性指標」を延焼に至る前に消火できない可能性と読み替えて用いるものとする。

具体的には、「焼失想定範囲」内の各建築物の「火災危険性」と「火災危険性に対応する消火活動の困難性指標」を乗じたもの（個別建築物段階で消火できない可能性）の総和が、当該区域全体の各

建築物に割り振られる延焼危険性指標とする。なお、焼失想定範囲内で均一の数字を与えることは、地区内に消防活動による延焼活動の阻止の観点が不十分であるように見えるが、その消防活動の困難性と対応する「必要性指標」であり、評価そのものは、これに「延焼危険性に対応する消防活動困難性指標」(数字上は火災危険性に対応するものと同じ)を乗じたものが各建物の評価値となる。

(d)救出・救護を必要とする建物倒壊の状況(救出・救護)

【評価指標】全壊確率(全壊率(震特委式)の読み替え)

【評価単位】各建築物

救出・救護を必要とする倒壊建物の状況は、建物の全壊・半壊などの被害状況に応じて算定すべきである。しかし、全壊と半壊の評価の差異については十分に解析できていないので、全壊のみで代表させ「各建築物の全壊確率(全壊率の読み替え)」を用いる。(読み替えなどの考え方については、火災危険性と同様である。)

また、救出困難な非木造倒壊建築物の状況は、各建築物の全壊率と構造を併せて示すことによって明らかにできる。なお、非木造建築物の半壊以下はレスキューによる救出が必要にならない程度の被害と考えることとした。

なお、全壊確率と読み替える全壊率については、村尾らの研究によることとするが、建物の倒壊状況に対応するものなので、震災復興都市づくり特別委員会の調査の全壊に対応する全壊率を用いる。

(3)行動可能性の評価について

行動可能性の評価はシミュレーションにより行う。これらは、それぞれの評価の場面での条件設定に応じて、評価値を計算する。シミュレーションは、想定される被害状況に応じた行動を、可能な限り忠実に表現する再現する方法で行う。

(3-1)行動可能性評価の各対象及び条件

評価対象とする行動可能性は表の通りである。

表 2.2.2 行動要素の一覧

	評価項目		構成要素	起終点		移動主体	経路情報	評価地点	その他	
	評価の視点	要素指標		起点	終点				制約条件	その他
避難	二次災害からの避難	一時避難(距離分布と非到達率)		地区内各所	避難地又は幹線道路	健常者	逐次情報*4	起点		
	罹災避難	避難地避難(距離分布と非到達率)		幹線道路	避難地*1	健常者	完全情報*4	終点		
	火災延焼範囲からの避難	延焼避難(距離分布と非到達率)		延焼の恐れのある地点*2	幹線道路等の防火帯となる地点	健常者	逐次情報*5	起点	延焼区域内は通行不能	延焼ケースごとに評価
消火	消火活動(延焼阻止活動)	消火(距離分布と非到達率)	消防水利まで	幹線道路	消防水利*1	消防車(大型車)	完全情報*4	-		同一のケース分け*6
			消防水利から	消防水利	地区内各所	消防士(健常者)	完全情報*4	終点	消防ホース長を限度	
救出・救護	救出活動	救出車到着(距離分布と非到達率)		幹線道路	地区内各所	大型車	完全情報*4	終点		
	重傷者移送	救急車到着(距離分布と非到達率)	近傍まで	幹線道路	近傍(ノード)*3	小型車	完全情報*4	-		同一のケース分け*6
			近傍から	近傍(ノード)*3	地区内各所	担架	完全情報*4	終点	限度長を設定(1.00m)	
	軽傷者対応	救護所到着(距離分布と非到達率)		地区内各所	救護所	担架(けが人)	完全情報*4	終点		
救護所における活動	救護所兵站(距離分布と非到達率)		幹線道路	救護所*1	小型車	完全情報*4	終点			

*1:これらは地区内の特定地点であるが、プログラム上の評価値の計算は、新設する場合の候補個所選定で活用するという観点から地区内の全ての点で行う。

*2:延焼に関する避難の起終点、制約条件については別図参照のこと。

*3:担架等から車に乗せる地点(近傍)については、プログラム構成上ノードに限定した。

*4:移動開始時に地区内道路の閉塞状況の情報がない場合を逐次情報、ある場合を完全情報と記載した。

*5:延焼避難時の逐次情報については、延焼範囲の閉塞情報のみは移動開始時からあるものとする。

*6:評価は閉塞状況を設定して行うが、構成要素となっている2つは同一の閉塞状況で連続して到達可能性を評価する。

表 2.2.3 「火災延焼範囲からの避難の困難性」における起終点設定、制約条件の考え方

	評価項目		構成要素	起終点		移動主体	経路情報	その他		
	評価の視点	要素指標		起点	終点			制約条件	その他	
避難	火災延焼範囲からの避難	延焼避難(距離分布と非到達率)		延焼の恐れのある地点	外周道路(延焼遮断施設)	健常者	逐次情報 1	延焼区域内は通行不能	延焼ケースごとに評価	
内訳: 火災の延焼推移に応じて、以下のように設定し評価する										
避難	火災延焼範囲からの避難	延焼避難(距離分布と非到達率)	時刻0	時刻2までの延焼範囲内の各地点	外周道路(延焼遮断施設)	健常者	逐次情報	なし	起点の区域の各建物を各リンク中心を代表値として評価	
			時刻1	時刻2～3の延焼範囲内の各地点	外周道路(延焼遮断施設)	健常者	逐次情報	時刻1での延焼範囲通行不能		
			時刻2	時刻3～4の延焼範囲内の各地点	外周道路(延焼遮断施設)	健常者	逐次情報	時刻2での延焼範囲通行不能		
			時刻3	時刻4～5の延焼範囲内の各地点	外周道路(延焼遮断施設)	健常者	逐次情報	時刻3での延焼範囲通行不能		
			時刻4	時刻5～6の延焼範囲内の各地点	外周道路(延焼遮断施設)	健常者	逐次情報	時刻4での延焼範囲通行不能		
			時刻5	避難終了						時刻5での延焼範囲通行不能
			時刻6	避難終了						幹線道路区域内通行不能

注) ある程度近接した時点で避難を開始し、外周道路(幹線道路)等の延焼遮断効果のある施設まで避難すると想定。その時点では延焼範囲の近傍まで使えたと設定。なお、本来は連続的に考慮すべきだが、シミュレーションの関係で時間のインターバルで設定する。設定間隔は延焼区域の移動が100m程度の時間と想定する。なお、避難開始区域(起点区域)と延焼区域(通行不能)の間に通行可能区域を設けたのは、避難の確実性が確保されていない人(袋小路に住む人、地震で前面道路が袋小路化した人など)の避難は、隣家が延焼はじめた時点でなく、延焼に気がつき避難可能性がある時点であると考えられるからである。

*: 延焼避難時の逐次情報については、延焼範囲の閉塞情報のみは移動開始時からあるものとする。

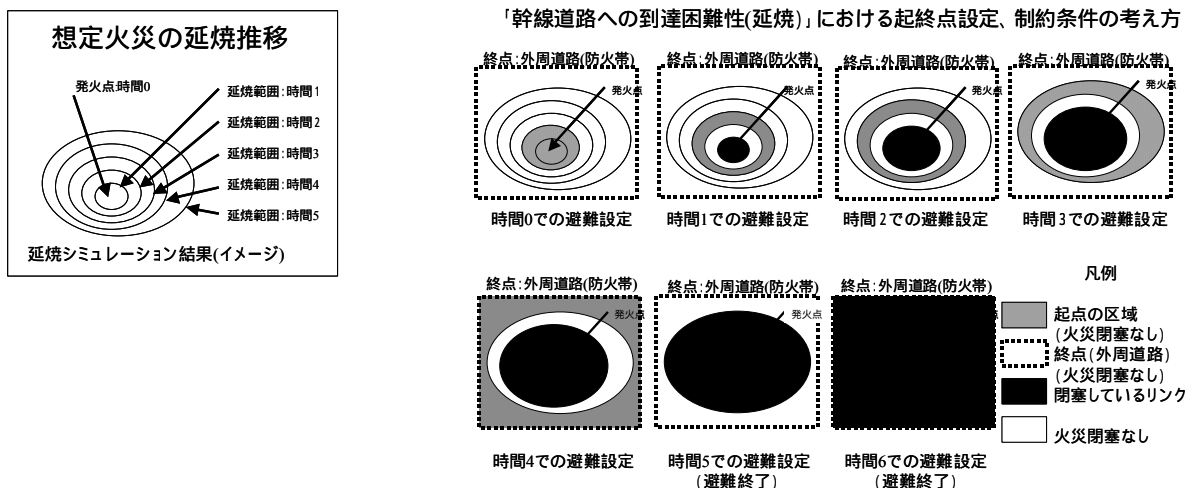


図 2.2.1 「火災延焼範囲からの避難の困難性」における起終点設定、制約条件の考え方

(3-2)行動可能性評価の手法

評価は地区全体の道路ネットワークが地震(及び地震後の火災)により閉塞した状態で、その健全性の程度を計算することで行う。このためには、基本的には以下の考え方で計算する必要である。

地震による道路閉塞のない状況を基本ネットワークとする。

この基本ネットワークの中の各リンク(区画道路)の各地点それぞれについて、閉塞の程度に応じた閉塞可能性(確率)を計算する。

全てのリンク地点毎の閉塞の程度毎の全ケースについての道路ネットワークの状態を想定する。

で想定された各ネットワークについて、起点から終点に至る経路の健全性を計算する。

の全ケースの発生確率に応じて、の結果を集計することで評価結果を得る。

しかしながら、このまま行なうと計算量が膨大となり現実的には対応できないので、これを各段階のバランスを考慮しつつ次の通り簡易化して計算することとした。

基本ネットワークに関して

- ・基本的には建物単位ではなく、交差点をノード、交差点間の道路の区間をリンクとするネットワークを組む。

- ・道路の往復は区分しない。

閉塞状況の設定に関して

- ・閉塞状況の設定は、i)移動主体別の必要幅員に応じて、ii)半リンクごとに、iii)閉塞・非閉塞の2区分で、行なう。
- ・閉塞は建物倒壊に基づくもののみとし、モデルに基づき、半リンクごとに閉塞確率として与える。

道路ネットワーク状態の想定に関して

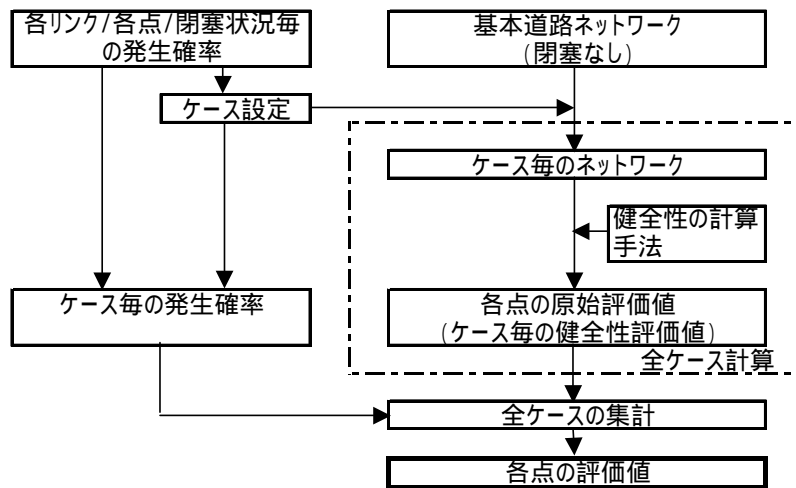
- ・全ケースではなく、(モンテカルロシミュレーションによって)一部のケースのみを想定する。

経路の健全性の計算に関して

- ・起終点のいずれかが建築物である場合、本来は全ての建築物で計算すべきであるが、中間点(半リンクの場所)で代表させる。(と関係)
- ・健全性の計算はリンクごとに指標値(長さ、時間など)を与えて、経路情報条件に応じた最短経路探索によりその指標値の合計を求めること(又は非到達)で行なう。

発生確率の集計に関して

- ・発生確率の集計は、モンテカルロシミュレーションによって単純合計で行なう。
- ・計算回数は評価値の性質に応じて、統計的に決定する。



マイクロ評価のモデル

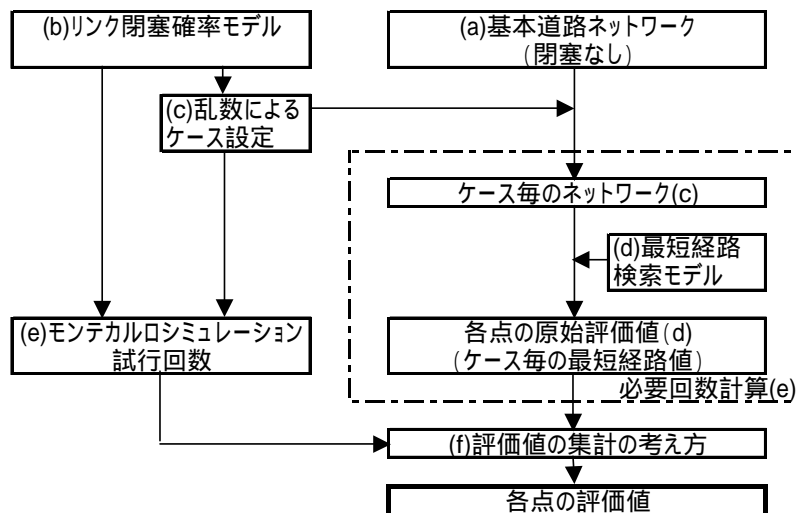


図 2.2.2 評価値の算定方法

(a)基本道路ネットワーク

ネットワーク規模からの制約

本モデルは、基本的に幹線道路に囲まれた区域を対象とする。その範囲は道路の整備状況によって異なるが、都市計画道路が模式図的に完成している場合には 25ha（建物軒数にして 1000～2000 戸程度）である。この点から類推すると、都市計画道路が未整備な場合であれば、この 10 倍として多い場合は 20000 戸程度の家屋が想定される。

この最大の場合をイメージし、ノードを全ての家屋に対応させると大きな容量と膨大な計算が必要となるため、ノードを交差点、リンクは交差点間の区間として、建築物はリンクにぶら下がる構造とした。

詳細設定の可能性

家屋数が多くなく、詳細な計算を行ないたい場合は、以下の様な詳細設定が可能である。

i)リンクを分割して、例えば全ての家屋を別のリンクにぶら下がる形に設定すること

閉塞モデルの項参照：リンクを分割しても、一連での閉塞確率が変わらないモデルを用いている。

ii)交差点の隅切り状態の考慮として交差点の方向別接続状況リンクを設定すること

但し、1 本の道路を往復別で持てない（＝同一の閉塞状況を与える構造になっていない）ため、バックやスイッチバック等の無理な移動も可能とした場合に当る。

リンクの情報

リンクの情報は、距離及び幅員、各建物（データ）の接道状況とする。なお、経路探索に用いる情報については、最短経路探索モデルにおいて、距離のみでなく、時間などに変換して用いる。

(b)リンク閉塞確率モデル

この基本ネットに対し、地震による閉塞条件をリンク毎に設定し、到達可能性、到達距離（時間）などの評価値を計算する。なお、人や自動車等の通行主体によって必要な通行可能幅員が異なるため異なり、閉塞条件として与える閉塞確率も異なる（表 2.2.4 参照）。

表 2.2.4 通行可能幅員

種別	主体	想定される対象	通行可能幅員
徒歩	健常者	避難住民、消防士	- 1m 瓦礫の乗り越えを考慮
	ケガ人	担架に乗せられたケガ人	0.75m 道路構造令の解説の歩行者の幅
自動車	小型車	救急車、けが人輸送自家用車	2.0m 小型車の幅員 + 側方余裕
	大型車	消防車、レスキュー隊用車両	3.0m 自動車の幅員 + 側方余裕

建物倒壊に伴い、道路に瓦礫が流出した状態で、有効幅員が通行可能幅員以上であれば、そのリンクは通行可能として、経路検索を行う。

兵庫県南部地震の道路の閉塞は大部分が建物の倒壊に伴うものであったことから、建物の倒壊を原因とする閉塞モデルを用いる。既存のモデルでは、実施が想定される施策（区画道路の拡幅、通り抜け化、建築物の補強・更新・除却など）の効果を勘案できず、また、評価過程から施策の抽出ができ、適切な施策評価を実施できるよう、道路（リンク）閉塞を建物レベルに遡って記述する理論を構築し、既存の研究結果等を活用してモデル化した。

建物レベル

各沿道建物の倒壊可能性及びこれに伴う瓦礫流出幅を確率として計算する。

i) 建物の倒壊可能性

倒壊可能性はフラジリティカーブ（地震規模に応じた構造別、建築年別全壊率の計算式）を全壊確率と読み替え、建物 1 棟ごとに適用して計算する。

$$P_R(x) = ((\ln x - \mu) / \sigma)^2$$

ここで、 $P_R(x)$ ：ある地震動 x のときに、被災ランク R 以上の被害の発生する確率

x ：地表面最大速度(PGV)

μ 、 σ ： $\ln x$ の平均値および標準偏差

「村尾・山崎：震災復興都市づくり特別委員会調査データに構造・建築年を付加した兵庫県南部地震の建物被害関数、日本建築学会構造系論文集第 555 号、2002 年」の考え方を適用

ii) 道路側瓦礫流出確率

倒壊した建物のうち道路側にガレキを発生させるガレキ流出確率 P_F は、建蔽率との関係を検討した結果に基づき、下式を用いる。

$$P_F = \min \{ 1, 1.1753 \cdot (\text{建蔽率}) - 0.0514 \}$$

iii) 瓦礫流出幅の確率計算

路側に瓦礫が流出する条件のもとでの、各建物前の道路閉塞確率 (P_B) を次式で計算する。

$$P_B = \exp(- (W_r + W_b - W_t) / a)$$

ここで、 W_r ：道路幅員、

W_b ：建築物と道路の間隔(セットバック幅)

W_t ：ある移動主体が移動するのに必要な通行可能幅員

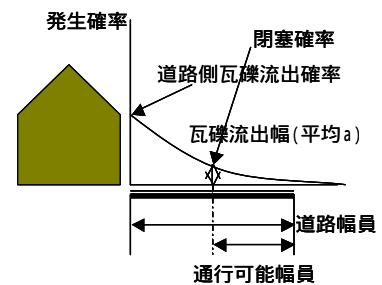


図 2.2.3 ガレキ流出モデル図

なお、 a は平均瓦礫長で、次式で示される。

$$a = 2.58 \times (\text{地区の全壊率})^{0.379} + 0.210 \times (\text{容積率/建蔽率})^{2.23} + 4.90 \times (\text{建蔽率})^{12.0}$$

「家田・望月・上西：街路閉塞現象による機能的障害と地区の危険度評価法、土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集」のうち、瓦礫流出幅部分の考え方を適用。

リンクレベル

リンク毎の沿道建物の全てに関して、建物レベルの確率を掛け合わせ、リンクとしての閉塞確率を計算する。

この確率は次式で与えられる。

$$(\text{リンク閉塞確率}) = 1 - \prod (1 - P_i)$$

i 沿道建物

即ち、沿道の建物全てに関して通過確率を計算し、その積がリンク全体の通過確率になるという計算を行なう。

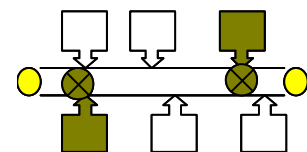


図 2.2.4 個別沿道建物による閉塞

(e) ケース設定とネットワーク

リンク内代表値の設定

基本ネットワークでは、計算負荷の低減のため、ノードを交差点、リンクを交差点間の区間とし、各建築物はリンクにぶら下がる構造として設定した。一方、評価値は本来、建築物単位で計算するこ

とが望ましいが、このような簡略化を行なったこと、及び、計算負荷の低減の観点から、各リンクに代表点を置き、この代表点をもって評価することとする。

代表点については、安全側の評価を行なうという考え方から、常識的にリンク内での最も危険と考えられる点として、両側のいずれのノードにも行き着けない確率の最も高い点を採用した。

全体通過確率Pのリンクがあった場合、任意の中間点での右側への通過確率を、左側への通過確率をとすると、以下の関係が成り立つ。

$$x = P$$

また、当該中間点から左右いずれかに到達できる確率Fは次の通りである。

$$F = 1 - (1 - x)(1 - x) = x + (P/x) - P$$

ここで、Fをxで微分すると、

$$dF/dx = 1 - P/x^2 = (x^2 - P)/x^2$$

であり、Fは

$$x = \sqrt{P}$$

で唯一の極値をもち、それは最小値である。したがって、左右の通過確率が同一の場所が、当該リンクから出る上で最も危険な点である。そこで、この点を代表点とし、半リンクごとのネット構成を行うこととした。

リンクの評価

リンク内の評価は、リンクでの代表値を用いるため必ずしも十分でない。即ち、リンク内で2箇所以上の閉塞が起こり、到達できない建築物が発生するという問題に対しては評価できない。(この確率は半リンク閉塞確率の二乗とは異なる。)

このためリンク評価として、2箇所以上閉塞する確率を用いることとした。この確率は以下の考え方で容易に計算できる。

リンクを通過できる確率Pは、各建物(前)を通過できる確率をP(Hi)と書いた場合、

$$P = \prod_i P(H_i)$$

とかける。従って、閉塞確率は $1 - P = 1 - \prod_i P(H_i)$ である。

ここで、j番目1箇所のみで閉塞する確率Q(j1)は、

$$Q(j1) = (1 - P(H_j)) \times \prod_{i \neq j} P(H_i)$$

である。従って、1箇所のみで閉塞する確率Q(1)はNを建物数として

$$Q(1) = \sum_j \{(1 - P(H_j)) \times \prod_{i \neq j} P(H_i)\} = \sum_j \{P(H_i)\} - N \times \prod_i P(H_i)$$

であり、2箇所以上の閉塞確率Q(2箇所以上)は以下の通り書ける。

$$Q(2 \text{箇所以上}) = 1 - \prod_i P(H_i) - \sum_j \{(1 - P(H_j)) \times \prod_{i \neq j} P(H_i)\} \\ = 1 + (N - 1)P - \sum_i \left(\frac{P}{P(H_i)} \right)$$

乱数による閉塞状況の割り振り

ネットワーク設定は、従って半リンクごとの閉塞・非閉塞を設定することとする。

半リンク閉塞確率は、各半リンクに移動主体毎(健常者、けが人、小型車、大型車の別)に一意的

に定まるので、半リンクごとに $[0,1]$ の乱数を発生させ、この数値が閉塞確率を下回る場合は閉塞と設定し、上回る場合は非閉塞と設定する。

なお、複合ケース(消火、救護のけが人発生場所への救急車等の接近)については、同一の条件で、2つの移動主体に対して閉塞・非閉塞を与える必要があるため、同一の乱数に対して、2つの移動主体に対応する閉塞確率を対応させて設定する。(たとえば、消火のケースについては、i)消防車・消防士とも閉塞(乱数 \times 消防士閉塞確率) ii)消防車閉塞・消防士非閉塞(消防士閉塞確率 $<$ 乱数 \times 消防車閉塞確率) iii)消防車、消防士とも非閉塞(消防車閉塞確率 $<$ 乱数) の3通りとなる。)

(c)短経路検索モデル及び原始評価値

「起点から終点に至る経路の健全性」のケースごとの評価値(評価に用いる集計後の評価値と区別するため以下「原始評価値」と記述する。)については、最短経路探索結果によって求めることとした。評価は、「地震後の状況での行動のしやすさ」を評価するものであり、単一の経路の健全性ではなく、道路ネットワークとしての効果を加味する必要がある。

原始評価値と経路探索に係る基本的考え方

地震による街路閉塞が起こっている状態では、移動を行なう者は、閉塞状況の情報の有無にかかわらず、最良と考えられる経路を選択しようとする筈である。

その経路選択行動(何を最良経路と考えるか?)は、徒歩の行動は通常の場合と同様最短距離を志向する、または二次被害を受けにくい安全な経路を志向する、が考えられ、また、車についてはのほかに、早く走れる広い道路を志向する、などが考えられるが、いずれにしても「最良経路の実現」を目指して経路選択が行なわれると考えて良い。

この「最良経路の実現」の考え方が経路選択モデルであり、その実現された経路が原始評価値となるべきである。即ち、(1)原始評価値は行動者が最小化を図ろうとする指標値と合致させることが適当であり(行動者の価値観との一致必要性) また、(2)経路選択モデルは原始評価値を最小にしようとするモデルであることが適当である(行動者と同様の経路選択行動性向に基づくモデル)。

最短経路探索モデル(基本モデル)

一般論として、原始評価値はリンクごとに割り振ることが可能である(例えば距離、通過時間など)より厳密に考えればノードにおいても評価値を割り振る(例えば自動車の行動であったら右折は時間ロスを含むなど)ことも考えられるが、基本道路ネットワークの設定条件から、この考え方はとらない(交差点の隅切り状態の考慮としての交差点の方向別接続状況リンクを設定することは可能である)。原始評価値をリンクに割り振ることができれば、経路検索モデルは最短経路探索モデルを用いることができる。

従って、経路検索探索モデルは最短経路探索モデルを用い、原始評価値は最短経路の距離(単位は長さ、時間など)とする。

リンクごとの原始評価値

リンクごとの原始評価値は、評価目的に応じて、距離(距離そのまま) 時間(距離/速度) 幅員別時間(距離/幅員別時間)など、設定可能とした。なお、基本は距離、または、時間(複合ケースの場合、主体別の速度を設定する)とすべきと考えられる。ここで閉塞リンクについては、これらはいずれも無限大(プログラム計算上は非常に大きな数)として設定する。

なお、計算速度向上のため、閉塞単位を半リンクとし、半リンク閉塞状況を閉塞・非閉塞の2区分としたため、例えば「瓦礫が押し寄せて幅が狭くなっている」という状況はモデル計算上表現されな

い。この制約のため、速度設定などのリンク原始評価値の設定は、閉塞なしの基本ネットワーク条件に対して設定する形とした。

経路情報について

地震直後の行動は経路情報のない逐次情報、ある程度の時間経過後は経路情報を有する完全情報と仮定した。ここでいう経路情報とは、閉塞情報を含んだリンクについての情報である。

この経路情報の状況については、以下のように経路探索モデルで取り扱うものとする。

(完全情報) 起点において全ての閉塞状況を把握しているという前提で最短経路探索を行なって、経路移動を行なう。

(逐次情報) 移動ノード毎に最短経路探索を行ないつつ経路移動を行なう。この移動ノードでの経路選択は、移動において経由したノードに接続するリンクのみの閉塞状況が把握され、その他の未知のリンクは全て非閉塞と想定した主観ネットワークをもとに最短経路探索を行なうものとする。

(d)モンテカルロシミュレーションの試行回数

全ての半リンクの閉塞・非閉塞の状況に対応した全ケースを行うことは困難である。このため、乱数により閉塞状況を設定するモンテカルロシミュレーションにより評価値を推計することとしている。この試行回数は、評価値に求められる精度に従って決定される。

モンテカルロシミュレーションは全ケースに関して、重複を許した上(無限母集団)での無作為抽出法による標本抽出である。評価値として求めるべき真の確率(例えば非到達確率) p に対して、標本数(試行回数) n で計測される確率 p' は以下の式で与えられる。

$$\text{期待値 } E(p') = p$$

$$\text{分散 } V(p') = p(1-p)/n$$

ここで、この分布を中心極限定理にもとづき正規分布と仮定して計算すれば、確率の推計に関し、試行回数と信頼度との関係は、以下のように示せる。

$$95\% \text{ 確率} = p \pm 1.96$$

$$99\% \text{ 確率} = p \pm 2.58$$

例えば、 $P = 5\%$ を 1 ポイントの範囲(4% ~ 6%) について信頼度 95% で推計しようとするれば約 2000 回(1825 回)を要する。

(e)評価値集計の考え方

モンテカルロシミュレーションを行なった結果、各起終点についての原始評価値が試行回数分取得される。これを小さい順に並べれば、評価値系の分布が求められる。この分布が評価値となる。

評価に用いる主要な指標で、最も重要なのが「非到達確率」である。この値が大きい場合は、行動の必要性・重要性を勘案しつつ、その低下を検討すべきである。

サービス水準の指標としては、中央値、90%値、95%値などを用いることもできる。

なお、これら値については(e)で示した誤差を含むものである。

(4)評価結果について

(a)各指標の関係

各指標の関係、用いるデータ等の関係は図 2.2.4 の通りである。

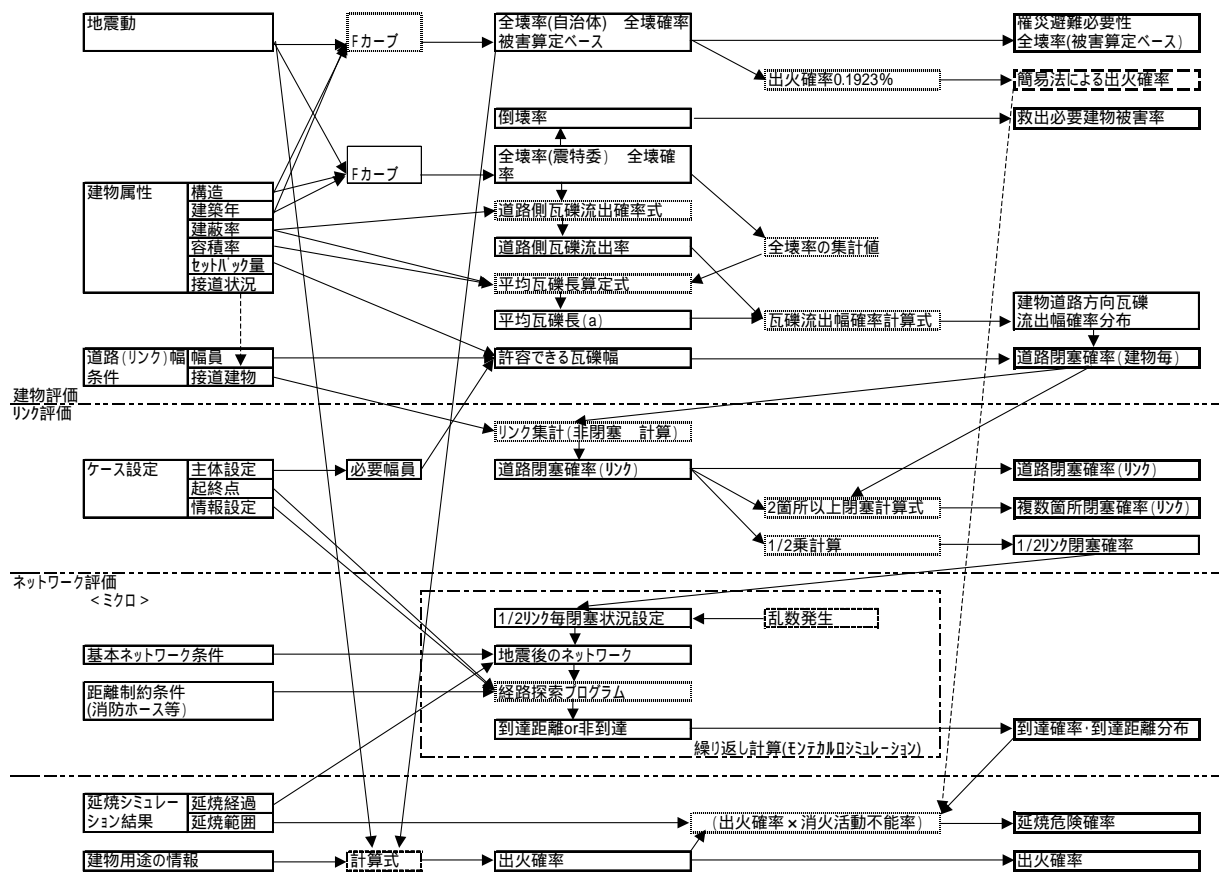


図 2.2.4 防災性能評価の各項目の算定手順

(b)指標の統合

行動必要性指標と行動可能性指標は掛け合わせて1本化することが可能である。この場合、行動可能性指標で掛け合わせるべきものは非到達確率である。

(c)指標値の扱い

指標値は各建築物に割り振られる。行動可能性指標はリンク単位の代表値であるが、この扱いも同様である。これらについては、地図情報として、劣悪な場所の抽出に用いる。ここで用いるべき指標は非到達確率である。

安全性確保という立場では、非到達確率は0であるべきであるが、モデル計算上は0にはなり得ない。このため、その値は相対的に用いるべきである。

(d)評価値の改善施策

評価結果に基づき、防災性向上を検討するにあたっては、マイクロ評価のプロセスから、次のように整理される(表 2.2.5 参照)。

終点等の改善

起終点等の改善(新たな防災施設の整備など)は、地区の街づくりとしての経路改善と同様に効果的である。特に、火災発生場所の到達困難性が100%(到達不可能)の場合は、消防水利の追加以外に対応策はない。

表 2.2.5 評価値の改善のための対策の方向性

指標		改善の観点	起終点等の改善				経路の改善	
			幹線道路の整備	避難地の追加	消防水利の追加	当該建築物の改善	直近経路の改善	ネットワークの改善
行動困難性指標	避難	二次災害からの避難困難性						
		避難場所への到達困難性						
		火災延焼範囲からの避難困難性						
	消火	火災発生場所への到達困難性						
		消防水利への到達困難性						
	救出	救出対象への到達困難性						
	救護	けが人発生場所への到達困難性						
		近傍への到達困難性						
近傍からのけが人の救護所への到達困難性								
必要性指標	避難	罹災避難必要性						
	消火	火災危険性						
	避難消火	延焼危険性	1		2		2	
	救出救護	倒壊建築物の状況						
	救出	非木造倒壊建築物の状況						

1 主として火災遮断帯として効果によって改善される。
2 消火活動の円滑化に伴い改善される。

これらの位置の検討においては、評価結果が活用できる。例えば、避難地（救護所）、消防水利の設置位置は、i)到達困難な範囲や距離の遠い範囲をカバーするような位置で、ii)外周道路からのアクセス性の高い位置を選択することが適当である。なお、これらの位置の妥当性については、設置場所案に整備した場合のマイクロ評価を行ってみることで、効果を検証できる。

なお、起終点の改善と、次に述べる の経路の改善を併せて行うことで、効果的に防災対策ができると考えられる。

経路の改善

経路の改善の検討については、i)直近経路の改善、ii)ネットワークとしての改善の2つの方向が考えられ、特定箇所のみが悪い場合はi)、まとまった範囲が悪い場合はii)を行なうべきと考えられる。これらの観点での検討フローを以下に示す。なお、直前経路が劣悪であれば、ネットワークを改善しても防災性はある程度以上向上しないし、また、逆も成り立つので、バランスよく対応する必要がある。

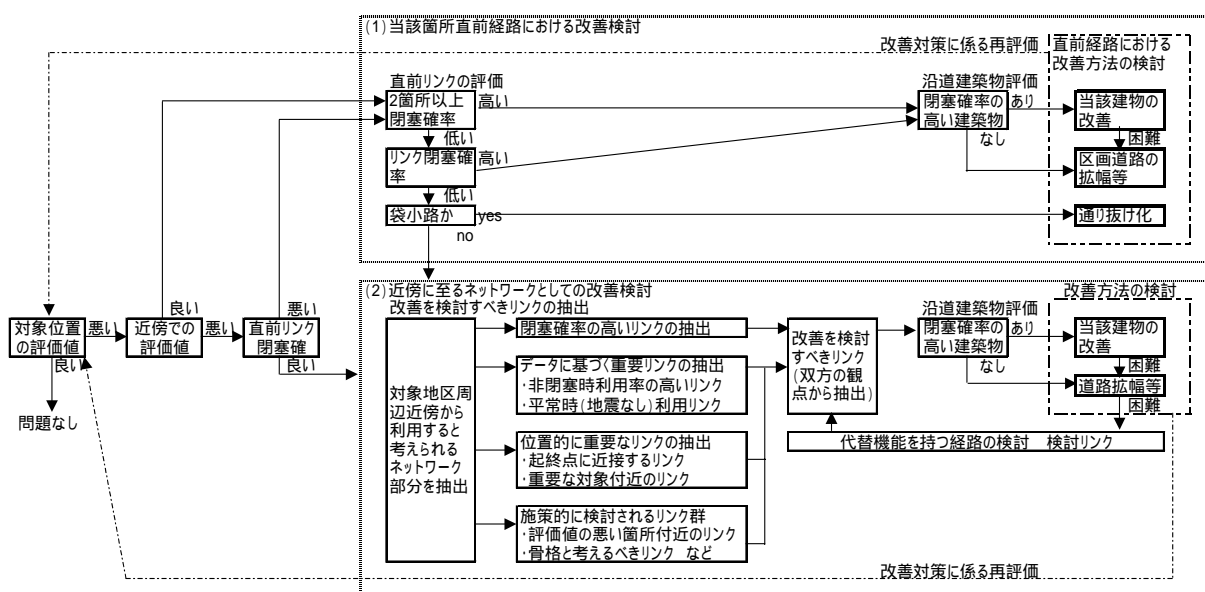


図 2.2.6 経路の改善による行動困難性指標改善の検討フロー

なお、この検討フローは防災性の向上効果のみを目的として地区改善を検討する形となっているが、実際の検討にあたっては、地域の日常活動の観点、計画・事業としての妥当性などの観点から、総合的に施策実施可能性を検討する必要がある。

また、フローにも示しているが、提案施策の防災上の効果は、当該施策案を組み込んで再度マイクロ評価をすることで確認ができる。

2.2.2 到達困難性についての既存検討

(1) 既存検討事例の特徴

震災時の到達困難性について、既存の研究を整理した結果、そのまま採用すべき適切なモデルが存在しなかったため、既存研究をもとに後にみるような新たなモデルを作成した。

(a) 既存研究における評価指標の考え方

既存の研究事例では到達困難性の評価指標について2つの方向がある。

ほとんどの研究では、到達困難性として、リンク通過（確率）を評価の指標としている。

いま1つの方向は到達時間を評価指標とするもので、東京都の地震による地域危険度調査で採用されている。

(b) リンク通過（確率）を評価の指標とするもの

リンク通過確率を評価の指標とする研究一般的な算定手順は以下のようなものである。

- ・ネットワークのモデルを想定する。
- ・ネットワークを構成する個々のリンクに閉塞確率を与える。
- ・各リンクについて乱数を発生させ、当該リンクが閉塞するかどうかを判断し、災害時ネットワークを作成する。
- ・ネットワーク外周から到達不可能なノード数の全ノード数に占める比率を算定し、これを評価指標とする。

裏返せば内部ノードから外周に到達できないノードの全ノードに占める比率を到達困難性指標としている。

この『リンク通過（確率）を評価の指標とするもの』についても幾つかのタイプがある。

タイプ1：ネットワークに含まれる個々のリンクに同一の閉塞確率を与えるもの

a 『都市防災対策手法マニュアル』（都市防災実務ハンドブック）

評価指標：閉ノード率（外部に到達できないノードの全ノードに占める比率）

タイプ2：閉塞モデルを作成しこれによりリンク毎に別の閉塞確率を与えるもの

各論文で評価指標のタームは異なっているが、表現している内容は同一のものである。

b 『防災性を考慮した街路網構成に関する研究』

（塚口他 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集）等

評価指標：孤立ノード率（外部に到達できないノードの全ノードに占める比率）

c 『震災時の連結信頼性からみた住区内街路網構成の評価』

（石田他 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集）

評価指標：連結信頼性指標（最小到達確率、完全到達地点率、平均到達確率）

d 『地震災害時の道路閉塞推定システム』

（鹿島建設 東大工学部都市工学科）

評価指標：不到達点発生率（外部に到達できないノードの全ノードに占める比率）

タイプ3：到達困難性を直接に評価しているわけではないが、同様な手法によるもの

e 『街路閉塞現象による機能的障害と地区の危険度評価法』

(家田他 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集)等

評価指標：到達困難性としての表現は無い。ただし、地区の街路閉塞率（閉塞する街路リンクの期待相対度数 = 各リンク閉塞確率 / リンク総数）の値と街路閉塞に伴う各種活動の危険度評価(阪神・淡路大震災を経験した消防隊員が「非常に危険」と判定した比率)を関連づけて、「街路閉塞危険指数 BRI」を提案している。

(c)到達時間を評価指標とするもの

f 『地震に関する地域危険度測定調査(第4回)』(東京都都市計画局)

評価指標：避難時間

500m メッシュについてメッシュに存在する人口がすべて避難場所まで避難するのに要する時間(延べ避難時間)を町丁目単位に変換した結果を避難危険度としている。

避難所までの距離と避難速度から避難時間を算定する。

避難速度は道路混雑および液状化による路面性状の悪化を考慮する。道路混雑の要因として、障害物(固定系、移動系)及び延焼による道路遮蔽、避難人口を考慮する。

固定系障害：木造建物、ブロック塀、電柱等、電話ボックス、自動販売機、看板

移動系障害：放置自転車、バイク、自動車

道路上の障害物が道路を遮蔽し、また延焼による道路遮蔽があり、有効道路面積が減少する。この有効道路面積に対する避難人口(群集密度)の関数により道路混雑による速度低減率を作成する。

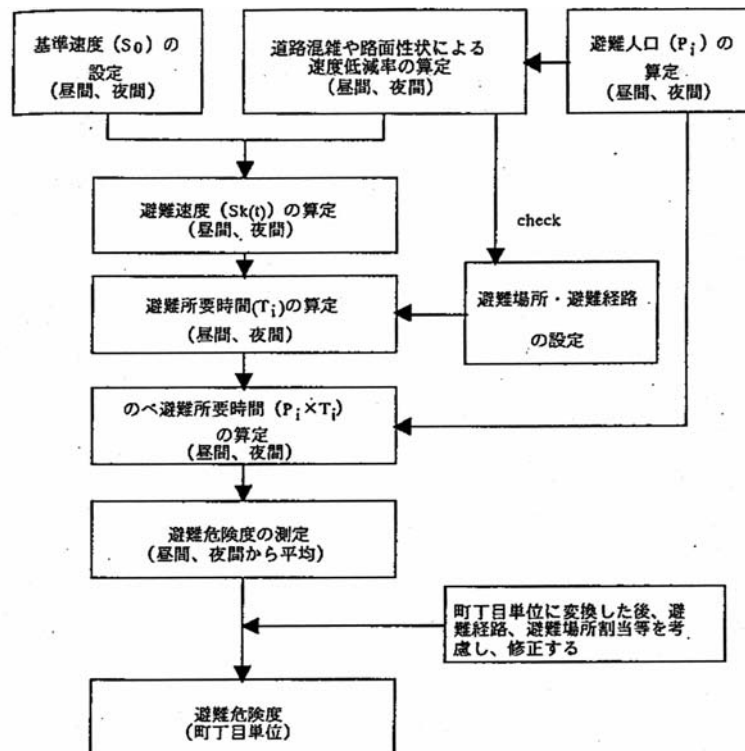


図 2.2.7 避難危険度算定フロー

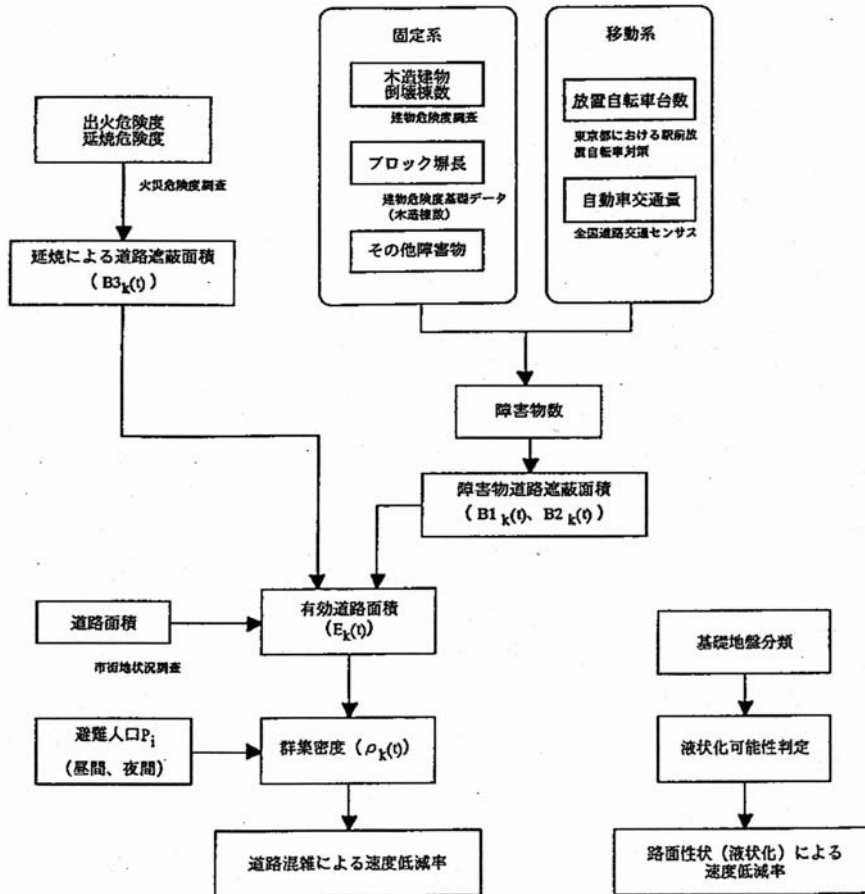


図 2.2.8 速度低減率の算定フロー

(d)到達困難性の既存評価例の特性

リンク通過（確率）を評価の指標とするもの

- ・リンク、ノード形式となっているのでリンクに様々な条件を付すことができ、多くの要素を含めて評価できる。リンク毎に異なる種類の条件を与えることもできる。
- ・各検討例とも個別リンクについての評価を「通過が可能であるか」、「不可能であるか」（閉塞しているか、閉塞していないか）の2段階で行っており、通過に要する困難度や通過主体に応じた多段階の評価となっていない。
- ・「脱出や到達が可能か、不可能か」で評価がされるが、脱出や到達が可能であれば良く、脱出や到達にどこを通るかという経路についての評価がなされていない。

到達時間を評価指標とするもの

- ・評価指標が時間であるので、評価は2値ではなく多段階となる。
- ・リンクに切れていない（単位の連続でない）ので、単位ごとに条件を与えることが出来ず、全体で1つの条件になることが多い。このため一部の地域の条件変更効果を把握しにくい。

(2)既存事例からみた到達困難性評価指標の算定方法

(a)今回研究への適用の考え方

到達困難性評価指標・方法に求められる要件

- i)市街地整備手法の適用による効果が測定可能

- ii)限られた地域単位での評価が行える
- iii)評価指標が段階的である
- iv)到達ルート上の様々な条件を変更した場合の到達困難性の変化を容易に評価できること。

表 2.2.6 到達困難性評価指標・方法に求められる内容からみた既存検討事例

評価	検討事例	個々の地点について評価可能	到達困難性評価指標が多段階	ルート上の個別条件変更が可能
通過可能性	a 『都市防災対策手法マニュアル』	不可能	不可能	不可能
	b 『防災性を考慮した街路網構成に関する研究』	可能	不可能	可能
	c 『震災時の連結信頼性からみた住区内街路網構成の評価』	可能	不可能	可能
	d 『地震災害時の道路閉塞推定システム』	可能	不可能	可能
	e 『街路閉塞現象による機能的障害と地区の危険度評価法』	可能	不可能	可能
時間	f 『地震に関する地域危険度測定調査(第4回)』	不可能	可能	不可能

上表のように今回検討に求められる要件に完全に適合する検討はない。各要件で見れば、

- ・『個々の地点についての評価が可能』という要件に適合するのは、閉塞モデルを作成し、リンク単位に閉塞確率を与えているものである。個々の地点への到達性が別個に評価可能である。一方、地域全体で条件を設定するものでは、当然ながら個別地点への到達可能性は同一となる。
- ・『多段階で到達可能性を評価可能』という要件に適合するのは、所要時間を評価指標としているものである。閉塞モデルを使用したものでは到達可能かどうかの判定を行うだけなので今回検討には不十分である。
- ・『ルート上の個別条件の変更が可能』という要件に適合するのは、閉塞モデルを使用したものである。閉塞モデルを拡張することにより多様なリンク条件を持ちこむことができ、また、個々のリンクの条件も自由に変更が可能である。地域全体で条件を与えるものではリンクごとの条件は同一となる。

結果として、閉塞モデルを使用し、リンク条件を個々のリンクで変更可能とし、リンクごとに閉塞確率を与える評価方法であり、評価指標として、所要時間、避難距離、到達確率といった量的、確率的な評価指標を使用する方法が望ましいこととなった。

2.2.3 リンク閉塞モデル

(1)リンク閉塞モデル

(a)リンク閉塞モデルの基本的考え方

リンク閉塞モデルは次の2点を勘案して設定することとした。

道路閉塞の原因

道路閉塞の原因については、塚口らの調査（阪神・淡路大震災における道路閉塞状況に関する研究 塚口博司、戸谷哲男、中辻清恵土木計画学会研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集 P377～388）によると、図 2.2.9 に示すように対象地区においては道路を塞ぐ最も顕著な原因は、崩壊した家屋である。リンク内の単独の家屋崩壊による街路閉塞も少なくないが、複数の家屋が崩壊していることによって街路が閉塞されている場合が特に多くなっている。また、家屋の崩壊と他の原因が複合して街路が通行不能となる場合も少なくない。その他、電柱の倒壊、ビル等からの構造物の一部が落下して、

自動車の通行を阻害する原因となっている場合もある。

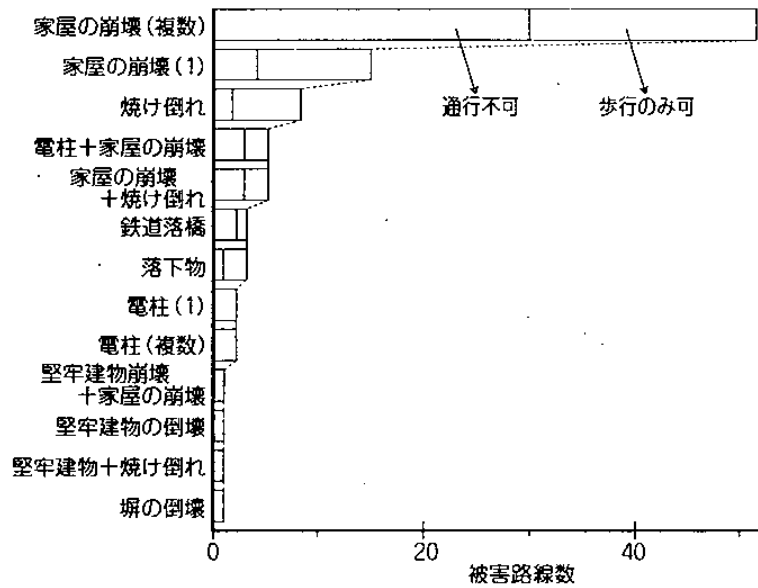


図 2.2.9 道路の閉塞原因

防災対策の適切な評価

一方で、地区防災対策として検討される施策は、i)骨格的な施設整備として、地区の骨格的な道路の整備、避難場所、消防水利の整備など、ii)街区レベルの整備改善として、路地の通り抜け化、区画道路・路地の拡幅、ポケットパークの整備、建築物の更新・セットバックなどであり、これらの効果が適切に評価できる必要がある。

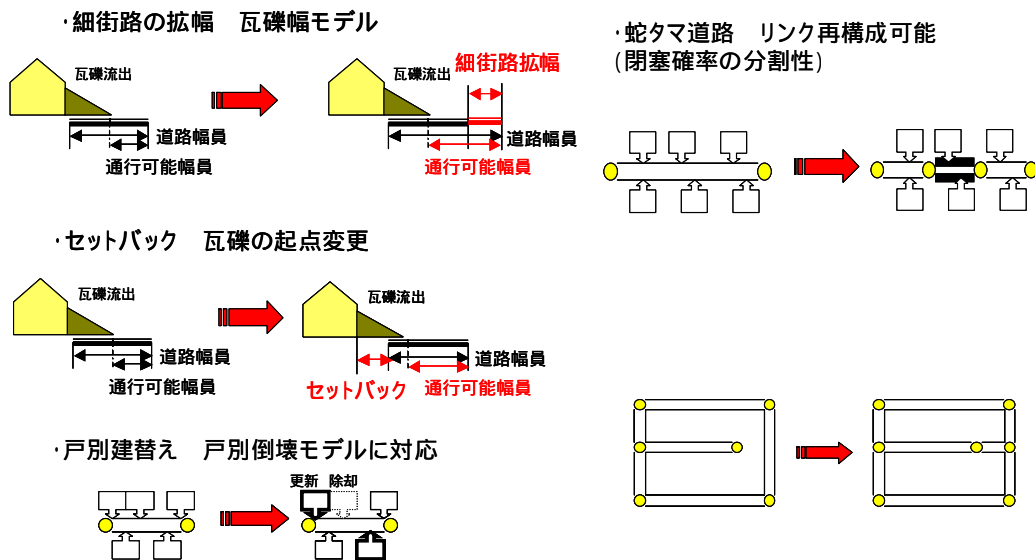


図 2.2.10 地区レベルの地震防災施策検討の観点から街路閉塞モデルに求められる仕様

これらの観点を満たすモデルとしては、道路閉塞の原因を家屋倒壊に遡ることが適当であり、そのモデル形式は図 2.2.11 のように想定される。

しかしながら、図のようなモデルは、「単独の建物倒壊に伴う道路閉塞を記述するモデル」としては適当と考えられるが、兵庫県南部地震での道路閉塞は複数建物の倒壊によって起こっており、これ

らを含めたモデル化が必要である。このため、以下で、この図の形式のモデルに関して、複数建物の崩壊による道路閉塞も含め個別建物の崩壊との関連付けができることを示し、個別建物の改善や除却、区画街路の拡幅等の効果を的確に反映できる街路閉塞モデルの形式を提案し、既存研究成果をもとにそのモデル化を行った。

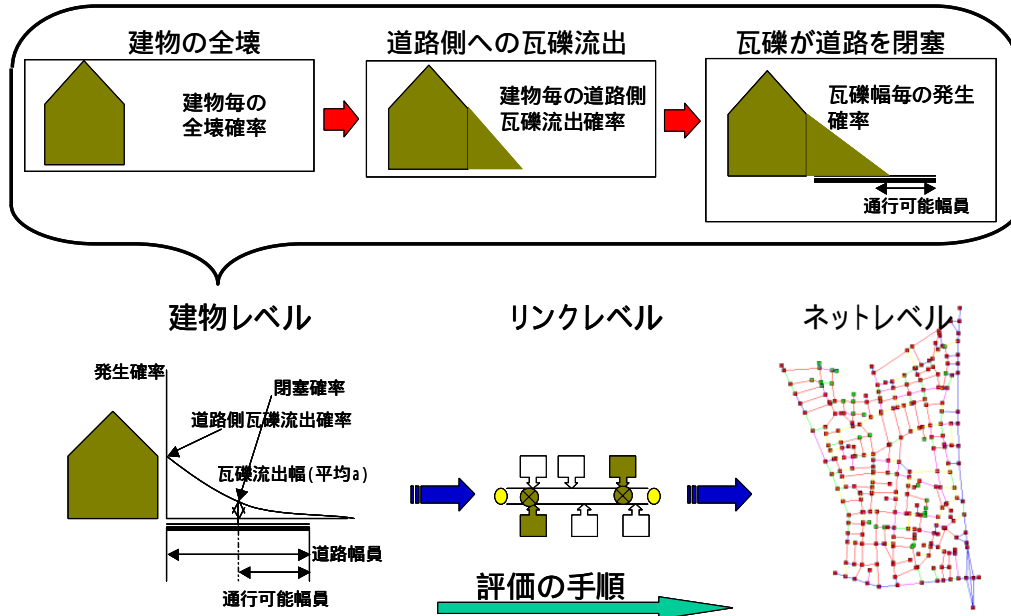


図 2.2.11 評価手順

(b)建築物の倒壊と街路閉塞

以下において、複数建物による閉塞確率が、1 棟のみの崩壊による閉塞確率と概ね同形の式で記述できることを、個別建物が異なる場合でも個別建物の倒壊に原因を帰着させることで成り立つことを示すとともに、同一建物である等の単純な場合の定式化から係数設定が常識的な範囲で可能であることを示す。このことによって、複数建物による街路閉塞についても、個別建物倒壊型モデルで表現できることを明らかにする。

建物が異なる場合の一般論

帰納的な考え方によって定式化可能性を示す。

i)1 棟倒壊による街路閉塞

複数建物による閉塞を考慮しないと、1つの街路リンクにnの建物があった場合、i番目の建物の単独崩壊による閉塞確率を P_{li} とすれば、1棟のみでの街路の閉塞確率 F_1 は式(1)の通りである。

$$F_1 = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{li}) \quad \dots\dots(1)$$

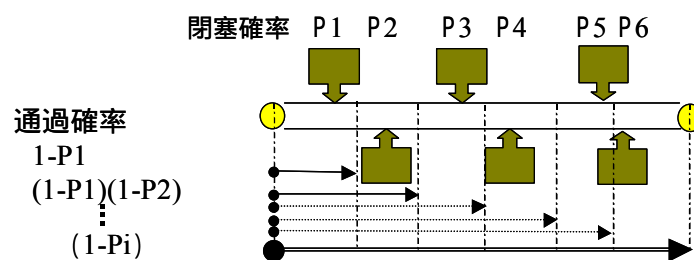


図 2.2.12 通過確率算定の考え方

ii)複数棟 (k 棟) 倒壊による閉塞確率

k 個のまとまりまでで閉塞する確率 F_k は、k-1 棟以下の倒壊で閉塞していないという条件で番号 j から j+k-1 までの k 個で閉塞する確率を P_{kj} と書けば、以下のように書ける。

$$F_k = 1 - (1 - F_{k-1}) \prod_{j=1}^{n-k+1} (1 - P_{kj}) \dots\dots(2)$$

ここで、 $1 - P_{kj} = \prod_{j=1}^{n-k+1} (1 - P_{kji})$ となる P_{kji} を定義することが可能である。この意味は複数棟による倒壊についても、その構成棟のいずれかに原因を分担させるという考え方が可能ということである。さらに、n 棟の建物が存在するリンクに関し、

$$1 - P_i = \prod_{k=1}^n \prod_{j=\max(1, i-k+1)}^{\min(n-k+1, i)} (1 - P_{kji})$$

とおけば、このリンクでの閉塞確率 F は、

$$F = F_n = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \dots\dots(3)$$

と表現でき、複数建物の場合であっても、 P_{kji} の定義により 1 棟のみでの閉塞の場合と同一の定式化が可能である。

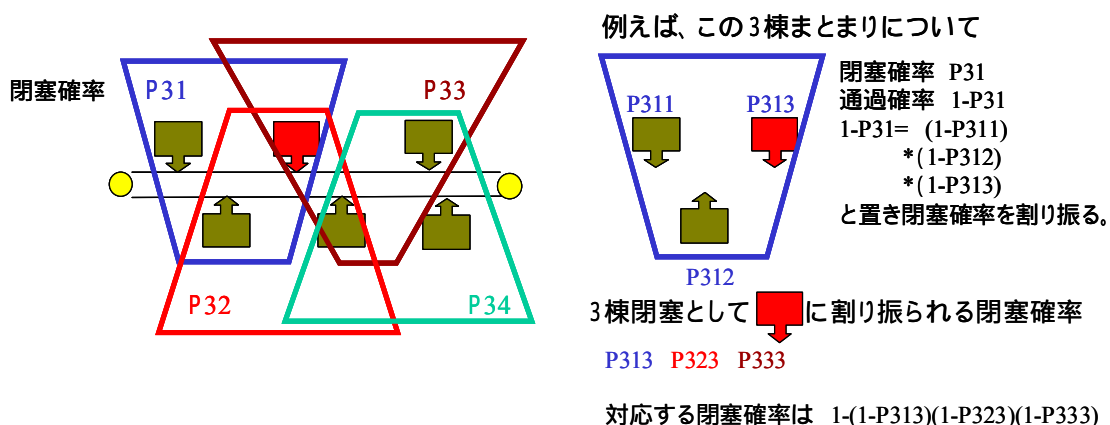


図 2.2.13 複数棟倒壊による閉塞確率算定の考え方

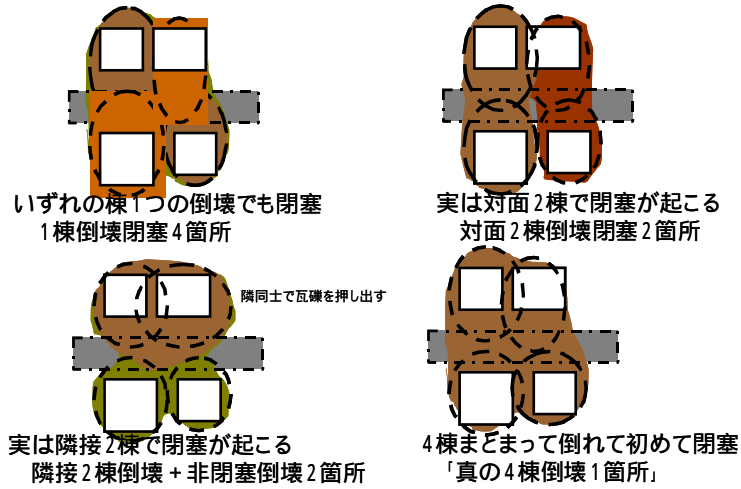
なお、ここでは P_{kji} の具体的設定手法は示していないが、 P_{li} との相関を持って設定すれば P_i と P_l の相関性は高くなる筈である。この場合、地区内建築の類似性を仮定すれば P_i に関し周辺状況ではなく、棟別情報が支配的となり、これによる設定が可能になると考えられる。

同一建物の連坦状態モデルでの検討

単独崩壊でなく、複数倒壊による街路閉塞ストーリーとしては、i)対面、斜めペアなどの倒壊により街路の両側から瓦礫が押し出される、ii)隣の同時倒壊により瓦礫長が 1 棟の場合より伸びる、といった状況が基本と考えられる。このことから、複数棟といっても隣接対面の 4 棟を単位で検討すれば、閉塞確率の大部分を考慮できると考えられる。

また、複数倒壊が発生する要因としては i)各々独立、ii)地震波が集中しやすい地形地質条件などでのまとまった崩壊、iii)凭れ掛りなどの連鎖的な倒壊、が考えられるが、ここでは全ての建物の倒壊確率が同一であり、各々の倒壊は独立であり、家は各々体面して整然と建っていると仮定する。

複数棟の倒壊による閉塞とは？(思考実験:4棟倒壊とは？)



実は1棟倒壊、2棟倒壊による閉塞が大部分で4以上は少ない？

図 2.2.14 複数棟の倒壊による閉塞

i)1 棟倒壊による閉塞確率

1 棟での閉塞確率を P1 とした場合は

$$F1 = 1 - (1 - P1)^n$$

となる。この閉塞状態になる P1 は 建物が倒壊し、瓦礫が道路側に出て、その瓦礫長が「街路幅員 必要幅員」(以下 w とする。)を超えた場合と想定でき、これらを備えた建物からの瓦礫長分布確率関数を g(x) とすれば、1 棟のみによる閉塞確率 P1 は、

$$P1 = \int_w^{\infty} g(x) dx$$

と書ける。(小型車、大型車、歩行者で各々必要幅員が異なり、使い分けての検討が必要のためこのような表現を用いた。)

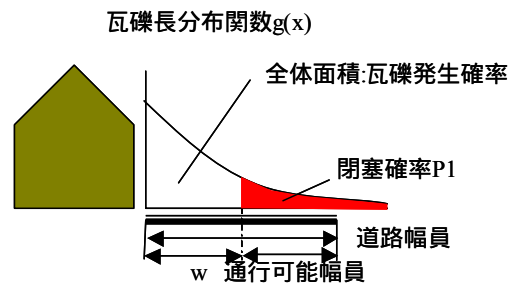


図 2.2.15 1 棟倒壊による閉塞確率

ii)対面 2 棟倒壊による街路閉塞

道路幅員が広く、1 棟の流出瓦礫幅では閉塞が起こりにくい場合、対面 2 棟による閉塞及び以下に示す 3

棟閉塞が閉塞の基本パターンになると考えられる。対面 2 棟倒壊の場合、それぞれの瓦礫長の合計が「街路幅員 必要幅員」を超えた場合閉塞状態になるので、同様の瓦礫長分布確率関数 g(x) を用いて、対面 2 棟の (1 棟のみの場合を含まない) 閉塞確率 P2 は、

$$P2 = \int_0^w g(x) \left(\int_{w-x}^w g(y) dy \right) dx$$

と書け、対面 2 棟までの街路閉塞確率 F2 は、

$$F2 = 1 - (1 - F1)(1 - P2)^{(n/2)}$$

となり、(1 - P2)^(1/2) = 1 - P22 と置けば、以下のようなになる。

$$F2 = 1 - \{(1 - P1)(1 - P22)\}^n$$

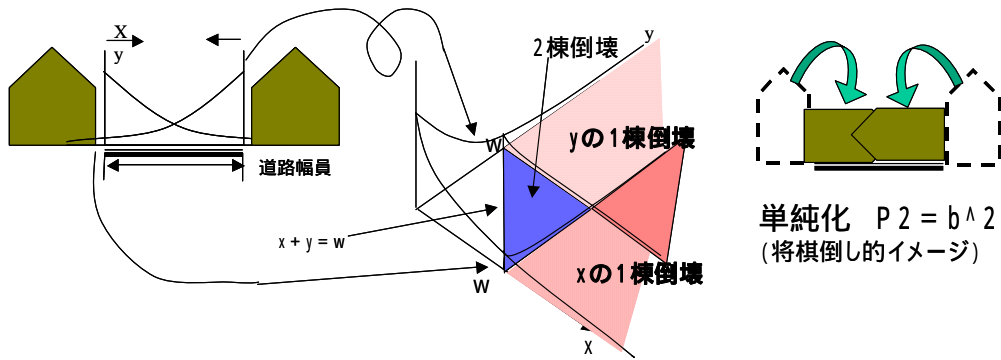


図 2.2.16 対面 2 棟倒壊による街路閉塞

ここで、模式的に単純化して、 $P2 = b^2$ とかける様な b を考える ($b = \text{SQRT}(\int g(x)\{ \int g(y)dy\}dx)$)、この b は一棟が道路の半分程度まで瓦礫を発生させる倒壊確率の代表値といえる。以下の検討は積分の形で整理することは困難なので、この b を用いる。

iii) 斜め 2 棟倒壊 (対面 2 棟倒壊の一般化)

ここでは隣及び向いの 4 棟セットで検討する。対面 2 棟倒壊については変形パターンとして斜めの 2 棟の倒壊で閉塞するパターンが考えられる。このパターンとしては、街路の半分程度まで瓦礫を発生させる倒壊建物 (概ね確率 b に相当すると考えられる。) を、非倒壊建物を とし、左右方向に水平に街路が存在するとして、
 、
 、
 のいずれかのパターンになった場合閉塞が起こるとする。

これらパターンに関し、左側の列($i-1$ 列)まで非閉塞であったものが、右側の列(i 列)でも閉塞しない確率 Q_i を状態の遷移として定式化して求めると、

$$Q_i = (1-b) Q_{i-1} + b(1-b)^3 Q_{i-2}$$

という隣接 3 項漸化式となる。但し、初項は $Q_0=1$ 、 $Q_1=1-b^2$ である。

$Q_i = A \cdot Q_{i-1} + B \cdot Q_{i-2}$ の形の隣接 3 項漸化式の解については、特性方程式より、

$$Q_i = \{ 1 / ((A^2+4B)^{0.5}) \} * [(((A^2+4B)^{0.5}+A)/2)^i * (Q_1 + ((A^2+4B)^{0.5}-A)/2 * Q_0) - ((-1)^i * (((A^2+4B)^{0.5}-A)/2)^i * (Q_1 - ((A^2+4B)^{0.5}+A)/2 * Q_0)]$$

と求められ、この式において、[] 中の前項が等比級数的な減衰項、後項は偶数番目と奇数番目で正負の変わる変動項である。

図 2.2.18 に 1 例を示すが、このうち変動項は極端に小さく、数値上はモデルとしては減衰項のみを用いても差異は僅少であり、これで定式化で実用上十分である。(図上は減衰項と確率は一致している。)

$$Q_i \approx \{ (Q_1 + ((A^2+4B)^{0.5}-A)/2 * Q_0) / ((A^2+4B)^{0.5}) \} * (((A^2+4B)^{0.5}+A)/2)^i$$

	右側列(i)				
左側列(i-1)		bb	b(1-b)	(1-b)b	(1-b)(1-b)
	bb	閉塞	閉塞	閉塞	閉塞
	b(1-b)	閉塞	非閉塞	閉塞	非閉塞
	(1-b)b	閉塞	閉塞	非閉塞	非閉塞
	(1-b)(1-b)	閉塞	非閉塞	非閉塞	非閉塞

図 2.2.17 斜め 2 棟倒壊のパターン

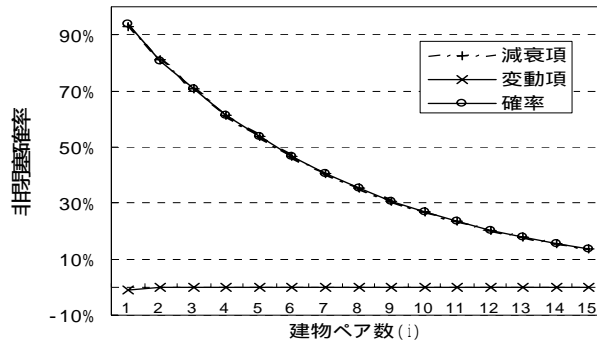


図 2.2.18 斜め 2 棟倒壊による非閉塞確率 (建物倒壊確率 b=25%の場合)

これを i 棟の家屋ペアに定式化の形で均等に割り振れば (i 乗根すれば)、対面 2 棟も含めた 4 棟までの対面型の $P\{2-4\}$ は、

$$1 - P\{2-4\} = \left(\frac{(A^2+4B)^{0.5} + A}{2} \right) \times \left(\frac{(Q1 + ((A^2+4B)^{0.5} - A)/2 * Q0)^{1/i}}{((A^2+4B)^{0.5})} \right)$$

となる。ここで $(1/i)$ 乗の項は 1 に近い数で i の増加に伴い 1 に漸近する。この項の存在は隣家が片側しかない道路端の角の家の効果と解釈でき、その考え方に従えば角の 4 軒に乘せるべき数ではある。

ここで、近似的にこの項を 1 と考えれば、対面型の 4 棟を一括で勘案した閉塞確率も、対面 2 棟の場合と同じ定式化、

$$1 - P\{2-4\} = \left(\frac{(A + (A^2+4B)^{0.5})}{2} \right)^{1/2}$$

ができることになる。

iv) 4 棟セットまでの倒壊による閉塞確率

隣接による瓦礫長延長効果の場合として、4 等全てが閉塞した場合()のみ閉塞するとした場合も同様な定式化で、

$$Q_i = (1-b)^{i-1} Q_{i-1} + (1-b)^{i-2} b^2 Q_{i-2}$$

$Q_0=1, Q_1=1$ という隣接 3 項漸化式を得る。

このほかにも 4 棟セットまでの閉塞パターンイメージは想定しうるが、同様に状態の遷移として定式化でき、隣接 3 項漸化式になると考えられる。従って、同様に定式化でき、角の家の効果を考えなければ、無理なく棟別閉塞という形に結び付けられる。

複数棟倒壊も含めたモデル化可能性

以上の検討によって、4 棟までの複数倒壊は単純モデルの場合、角地の家の効果を考えなければ無理なく棟別閉塞に結び付けられることが判る。また、5 棟以上についても角の家等の効果を考えなければ容易に定式化できることも、(a) で検討した式の形から想定できる。

角地の効果については、i) 街路閉塞は複数倒壊での閉塞であっても単独若しくは対面 2 棟の倒壊のみでも閉塞されるという場合が多いと考えられる、ii) 街路に面する家屋数がある程度あれば効果は薄まる、iii) 係数設定が困難、という 3 点から近似的な実用モデルとしては考慮しなくて良いとした。

なお、同一家屋モデルと現実市街地の差異であるが、都市計画規制等に伴う家並みの類似性などから、全ての建物が乱雑に連坦している状態は例外的であり、(a) で一般論としても成立しうるモデルであるということが示せているので、家並みの差異を許容した実用モデルとして適用することは可能と考え、以下のモデルを組み立てた。

i)棟別閉塞の実用モデルの提案

建物倒壊による街路閉塞は、a)建物倒壊、b)倒壊に伴う街路への瓦礫発生、c)流出瓦礫による閉塞の3つの段階に区分できる。街路閉塞を建物レベルまで含めて検討するためには、この3つの段階のモデルを用意する必要がある。ここでは、既存の研究を利用して実用モデル化を組み立てた。

a)建物倒壊モデル

建物の倒壊に関しては、1995年の兵庫県南部地震に関して、いくつかの研究報告がなされている。地区の防災評価に用いるという観点では、取得可能なデータと倒壊率の関係をj用いることが必要である。この点に関し、村尾らの研究⁶⁾は構造別、建築年代別に地震動指標(PGV)と全壊(震災復興都市づくり特別委員会の調査に基づくもの等)の関係についても関数形として示されており、これをj用いることとした。

個別建物倒壊確率の計算は以下の論文の提案式およびパラメータを利用する。

村尾、山崎：震災復興都市づくり特別委員会調査データに構造・建築年を付加した兵庫県南部地震の建物被害関数、日本建築学会構造系論文集 第555号、2002年

上記の論文では、ある地震動xのときに、被災ランクR以上の被害の発生する確率 $P_R(x)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 $\Phi(x)$ を用いて、下式で示す対数正規分布で表せると仮定する。

$$P_R(x) = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right) \cdots \cdots (2-1)$$

ここで、x：地表面最大速度(PGV)、 μ 、 σ ： $\ln x$ の平均値および標準偏差

b)瓦礫発生モデル

瓦礫発生に関しては、新階らの研究⁵⁾において建物倒壊と道路への瓦礫流出との関係は、建蔽率との関係で近似的に代替できるという結果が示されており、これをj用いることとした。但し、この建物倒壊は神戸市長田区、東灘区、灘区の航空写真による判読であり、(a)の全壊よりは狭い範囲であるとj考えられる。地区評価の点ではある程度危険側に結果が出るため、モデルとしては許容できるとした。

$$P_F = \min\{1, 1.1753 \cdot (\text{建蔽率}) - 0.0514\} \cdots \cdots (2-2)$$

c)瓦礫流出モデル

道路側への瓦礫の流出幅に関して定量的な分析が行われているものとしては家田らの研究⁴⁾がある。ここでは航空写真から瓦礫幅を測定して建物属性等との関係を分析しているが、建物倒壊や瓦礫発生建物との関係付けはなされていない。このことは、1棟の倒壊での瓦礫のみならず、複数棟の倒壊も含めた瓦礫流出状況を測定していると考えられ、この分析結果に基づいて、2の棟別閉塞考え方に対応した瓦礫幅を求めることが可能である。

この研究では、リンク長によるバイアス効果を、瓦礫長の基準化による方法{j当てはめ計算により $(l) = \exp(0.0061 \cdot l)$ をj導出}で取り除き、その後の基準化瓦礫幅 y_0 と累積分布関数Fとの関係が $F = 1 - b \cdot \exp(-y_0/a)$ で表されるとj仮定して、a、bを建築属性等の指標とj対応させj導出している。

式の形より、bは道路への瓦礫流出確率、aは平均基準化瓦礫長に相当するが、bの説明指標に街路の建物数等が入っていないこと及びj導出過程から、このままでは個別の建物及びjリンクにはj適用できない。しかし瓦礫長は実測値に基づくものであるから、瓦礫長分布関数部分のみ($\exp(-y_0/a)$ 部分)はj適用可能である。このため、この部分を基準化補正の後1棟単位でj適用した。

家田式をj拡張し、道路側に瓦礫が流出する条件のもとでの道路閉塞確率(P_B)をj次式でj計算する。

$$P_B = \exp(-y/a) \cdots \cdots (2-9)$$

ここで、 P_B ：各建物前の道路閉塞確率、y： $y = W_r(+W_b) - W_t$

W_r ：道路幅員、 W_b ：建築物と道路の間隔(セットバック幅)：ミクロのみ

Wt：ある移動主体が移動するのに必要な通行可能幅員

なお、a は平均瓦礫長で、建蔽率、容積率、地区の全壊率の関数として建物ごとに求めるもので、次式で示される。

(ミクロ評価での a)

$$a = 2.58 \times (\text{地区の全壊率})^{0.379} + 0.210 \times (\text{容積率/建蔽率})^{2.23} + 4.90 \times (\text{建蔽率})^{12.0} \dots\dots(2-10)$$

ミクロ：瓦礫の出発点は建物端(セットバックを考慮)

(マクロ評価での a)

$$a = 2.44 \times (\text{全壊率})^{0.379} + 0.199 \times (\text{容積率/建蔽率})^{2.23} + 4.64 \times (\text{建蔽率})^{12.0}$$

マクロ：瓦礫の出発点は道路端

d)リンク閉塞率の計算

リンク毎の沿道建物の全てに関して、これらの確率を掛け合わせリンクとしての閉塞確率を計算する。

この確率は次式で与えられる。

$$(\text{リンク閉塞確率}) = 1 - \prod_i (1 - P_i) \dots\dots(2-12)$$

i 沿道建物

即ち、各沿道の建物全てに関して通過確率を計算し、その積がリンク全体の通過確率になるという考え方である。

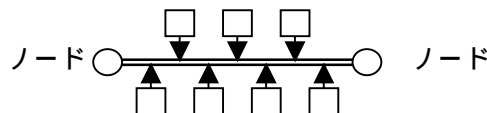


図 2.2.19 リンク閉塞率の計算のイメージ

ii)モデルの適用性

このモデルは 2.2.3(1)(a)の性能を満たし、評価課程を遡ることによって、施策の抽出も可能な、適用性の高いモデルである。

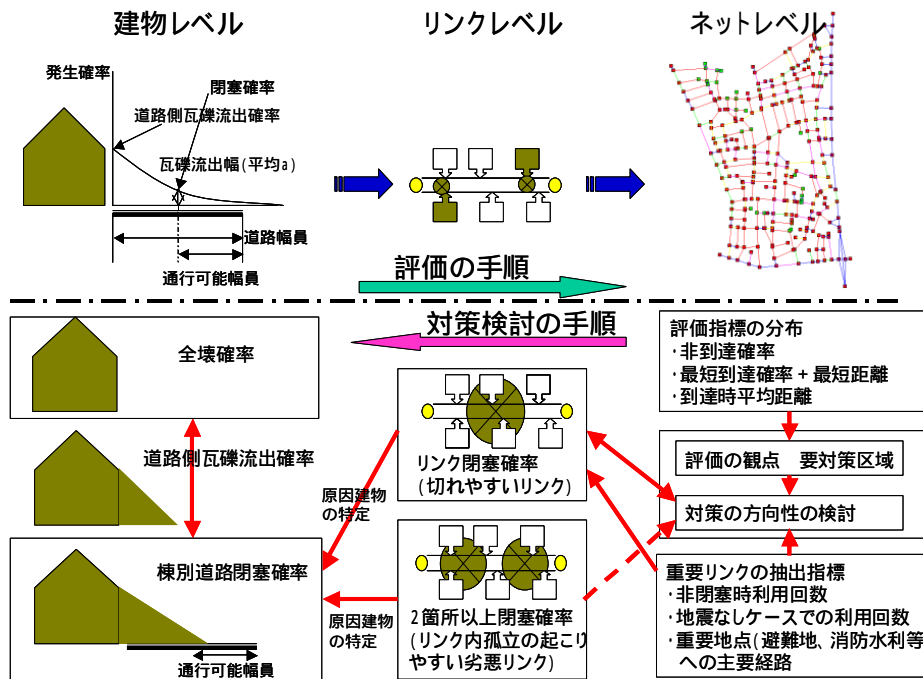


図 2.2.20 評価と対策検討の関係

(2)模式的倒壊閉塞モデル

複数建物による倒壊については、メカニズムが必ずしも明確でない。このため、瓦礫流出などを単純化して棟当り（閉塞に至る）倒壊確率を想定し、まとまった形で同時に倒れた場合に閉塞すると考えモデル化した。

この結果に基づいて、採用した閉塞確率式の妥当性を傍証した。（複数倒壊に関しても1棟倒壊型のモデルとして定式化できることを示した。）

なお、このモデルは当初マクロ評価での閉塞モデル（幅員帯別に異なる閉塞パターンをあてはめる。）としての採用を前提に検討したが、2.2.3(1)に示す道路閉塞モデルがマクロにおいても適用できるため、両モデル整合性の観点から採用に至らなかった。

(a)道路閉塞の考え方

ここでは、道路閉塞モデルは、以下の考え方で算出している。

幅員と接道する建物棟数及び各建物の倒壊確率から閉塞する確率を求めている。

街路1リンク片側あたりに接する建物数をC（棟）とすると、1リンク両側に接する建物数は2Cである。

各建物に対し左図のように H_1, H_2, \dots, H_{2C} の記号をつけ、向かい合う建物はそれぞれ正面で向き合うとする。

また、1棟の倒壊確率をbとする。

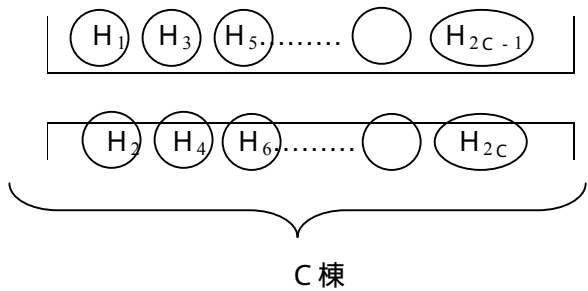


図 2.2.21 沿道建物状況モデル図

(b)2棟以上倒壊時に閉塞の場合（もと幅員4m未満道路閉塞モデル）

完全閉塞確率をPとすると、

$$P = 1 - \{ (\text{どの建物も倒壊しない確率}) + (\text{どれか1棟だけ倒壊する確率}) \}$$

$$= 1 - \{ (1 - b)^{2C} + b(1 - b)^{2C-1} \times 2C \}$$

(c)対面又は斜め倒壊時閉塞の場合（もと幅員4~6m未満道路閉塞モデル）

完全閉塞は向い合わせ、及び、斜め向い同士の建物が倒壊する場合である。

隣接する4棟を考えた場合、閉塞非閉塞は以下の通りである。

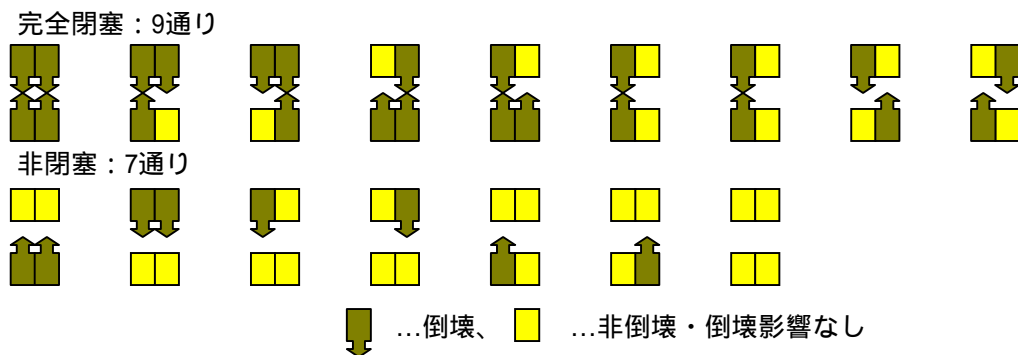


図 2.2.22 倒壊による隣接4棟閉塞パターン(1)

対面同士の状況で分類すると下図のようになる。

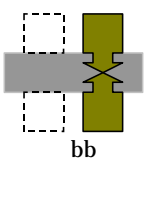
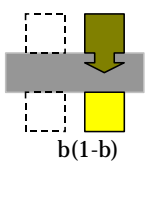
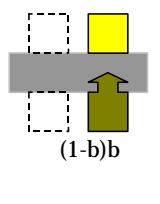
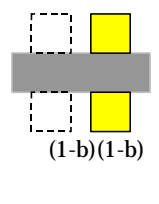
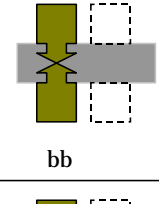
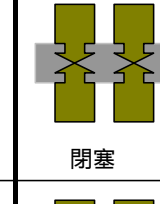
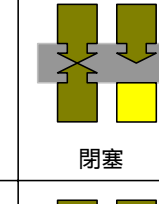
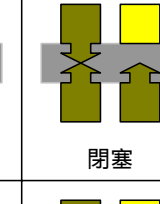
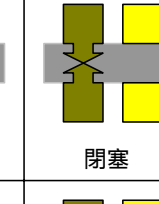
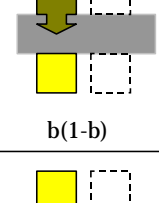
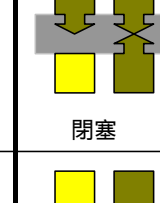



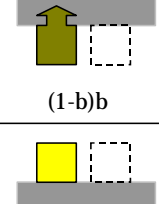
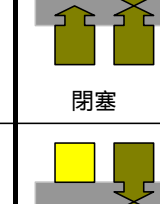
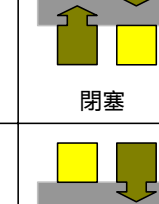


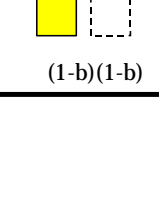
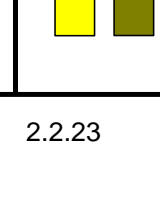
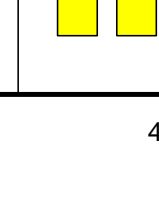
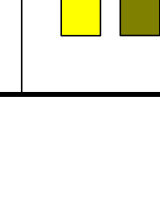
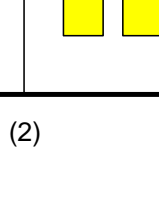
右側列 (i)	 bb	 b(1-b)	 (1-b)b	 (1-b)(1-b)	
左側列 (i-1)	 bb	 閉塞	 閉塞	 閉塞	 閉塞
 b(1-b)	 閉塞	 非閉塞	 閉塞	 非閉塞	
 (1-b)b	 閉塞	 閉塞	 非閉塞	 非閉塞	
 (1-b)(1-b)	 閉塞	 非閉塞	 非閉塞	 非閉塞	

図 2.2.23 倒壊による隣接 4 棟閉塞パターン(2)

左列に注目し、閉塞確率と右列の状態別に推移する確率を示すと、以下の通り。

の場合 閉塞確率 1

の場合 閉塞確率 $bb+(1-b)b=b$ 非閉塞右列 $b(1-b)$ $(1-b)(1-b)$

の場合 閉塞確率 $bb+b(1-b)=b$ 非閉塞右列 $(1-b)b$ $(1-b)(1-b)$

の場合 閉塞確率 bb 非閉塞右列 $b(1-b)$ $(1-b)b$ $(1-b)(1-b)$

ここで、左端から i 列まで閉塞しない確率 Q_i を考える。左側列を $i-1$ 列、右側列を i 列として、 i 列目の非閉塞の形 \square に至る各確率を各々 Q_i 、 Q_i 、 Q_i と書けば、 $i-1$ 列との関係に關し以下の式が成り立つ。

$$Q_i = Q_i + Q_i + Q_i$$

$$Q_i = (Q_{i-1} + Q_{i-1}) b(1-b)$$

$$Q_i = (Q_{i-1} + Q_{i-1}) (1-b)b$$

$$Q_i = (Q_{i-1} + Q_{i-1} + Q_{i-1}) (1-b)(1-b)$$

と は対称形で同等と考えて良いので $Q_i + Q_i = Q_i$ と書き、 $Q_i = Q_i$ と書けば、上の式は下の通りとなる。

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_i$$

$$Q_i = (Q_{i-1} + 2*Q_{i-1})b(1-b) = (Q_{i-1} + Q_{i-1})b(1-b)$$

$$Q_i = (Q_{i-1} + Q_{i-1})(1-b)(1-b) = Q_{i-1}(1-b)(1-b)$$

これを Q_i と Q_{i-1} で整理すれば、

$$Q_i = (Q_{i-1} + bQ_{i-1})(1-b)$$

$$Q_i = Q_{i-1}(1-b)(1-b)$$

$$Q_i = (Q_{i-1} + b(1-b)(1-b)Q_{i-2})(1-b)$$

$$Q_i = (1-b)Q_{i-1} + b(1-b)(1-b)Q_{i-2}$$

この隣接 3 項漸化式を解けばよい。

隣接 3 項漸化式 ($Q_i = Q_{i-1} + Q_{i-2}$) の解き方

$Q_i - BQ_{i-1} = A(Q_{i-1} - BQ_{i-2})$ と置く。即ち、 $Q_i = (A+B)Q_{i-1} - ABQ_{i-2}$ であり、かつ $Q_i - AQ_{i-1} = B(Q_{i-1} - AQ_{i-2})$ も成り立つ

(1) $A, B (= -X)$ の計算 (特性方程式)

$$A + B = \dots \quad A = -B$$

$$AB = \dots = B - BB \quad BB - B = 0$$

2 次方程式の解の公式から、 $B, A = 1/2 \cdot (\pm (\dots)^{.5})$

A を正号の解、 $-B$ を X (正号の値) として

$$A = 1/2 \cdot (\dots + (\dots)^{.5})$$

$$X = -B = 1/2 \cdot (\dots - (\dots)^{.5})$$

(2) $Q_i = (A+B)Q_{i-1} - ABQ_{i-2}$ $Q_i = (A-X)Q_{i-1} + AXQ_{i-2}$ の解

$$Q_i + XQ_{i-1} = A(Q_{i-1} + XQ_{i-2}) \text{ より } Q_i + XQ_{i-1} = A^{i-1} \cdot (Q_1 + XQ_0) \dots$$

$$Q_i - AQ_{i-1} = (-X)(Q_{i-1} - AQ_{i-2}) \text{ より } Q_i - AQ_{i-1} = (-X)^{i-1} \cdot (Q_1 - AQ_0) \dots$$

$$Q_i = (\dots \times A - \dots \times (-X)) / (A+X)$$

$$Q_i = \{(A^i) \cdot (Q_1 - X \cdot Q_0) - ((-X)^i) \cdot (Q_1 - A \cdot Q_0)\} / (A+X)$$

従って、通過確率 ($1 -$ 完全閉塞確率 : $1 - P$) は、

$$1 - P = Q_i = \{(A^i) \cdot (Q_1 - X \cdot Q_0) - ((-X)^i) \cdot (Q_1 - A \cdot Q_0)\} / (A+X)$$

ここで、 $A = 1/2 \cdot ((1-b) + ((1-b)^2 + 4(b(1-b)^3))^{.5})$
 $X = -B = 1/2 \cdot (((1-b)^2 + 4(b(1-b)^3))^{.5} - (1-b))$, $Q_0 = 1$, $Q_1 = 1 - bb$

(d)4 棟同時倒壊時閉塞の場合 (もと幅員 6~8m 未満道路閉塞モデル)

完全閉塞は向い合わせが続けて 2 箇所倒壊する場合である。

隣接する 4 棟を考えた場合、対面同士の状況で分類すると閉塞非閉塞は図 2.2.24 の通りである。

左列に注目し、閉塞確率と右列の状態別に推移する確率を示すと、以下の通り。

の場合	閉塞確率 bb				
	非閉塞右列	$b(1-b)$	$(1-b)b$	$(1-b)(1-b)$	
~ の場合	閉塞確率 0				
	非閉塞右列	bb	$b(1-b)$	$(1-b)b$	$(1-b)(1-b)$

右側列(i)				
左側列(i-1)				

図 2.2.24 4 棟同時倒壊時の閉塞パターン

ここで、左端から i 列まで閉塞しない確率 Q_i を考える。左側列を $i-1$ 列、右側列を i 列として、 i 列目の非閉塞の形に 至る各確率を各々 Q_i 、 Q_i 、 Q_i 、 Q_i と書けば、 $i-1$ 列との関係に 以下の式が成り立つ。

$$Q_i = Q_i + Q_i + Q_i + Q_i$$

$$Q_i = (Q_{i-1} + Q_{i-1} + Q_{i-1}) bb$$

$$Q_i = (Q_{i-1} + Q_{i-1} + Q_{i-1} + Q_{i-1}) b(1-b) = Q_{i-1}(1-b)b$$

$$Q_i = (Q_{i-1} + Q_{i-1} + Q_{i-1} + Q_{i-1}) (1-b)b = Q_{i-1}(1-b)b$$

$$Q_i = (Q_{i-1} + Q_{i-1} + Q_{i-1} + Q_{i-1}) (1-b)(1-b) = Q_{i-1}(1-b)(1-b)$$

閉塞に 関し は同条件で区別する必要はないので、 $Q_i + Q_i + Q_i = Q_i$ と書き、 $Q_i = Q_i$ と書けば、上の式は下の通りとなる。

$$Q_i = Q_i + Q_i$$

$$Q_i = (Q_{i-1}) bb$$

$$Q_i = (Q_{i-1} + Q_{i-1}) (1-bb) = Q_{i-1}(1-bb)$$

これを整理すれば、

$$Q_i = (Q_{i-1} + Q_{i-1}) (1-bb) = Q_{i-1}(1-bb)$$

$$Q_i = (Q_{i-1}) bb = Q_{i-2}(1-bb)bb$$

$$Q_i = Q_i + Q_i = Q_{i-2}bb(1-bb) + Q_{i-1}(1-bb)$$

$$Q_i = Q_{i-2}(1-bb) + Q_{i-1}(1-bb)$$

$$= (1-b^2) * Q_{i-1} + b^2 (1-b^2) * Q_{i-2}$$

従って、この隣接 3 項漸化式を解いて、通過確率 (1 - 完全閉塞確率 : 1 - P) は、

$$1 - P = Q_i = \{(A^i) * (Q_1 - X * Q_0) - ((-X)^i) * (Q_1 - A * Q_0)\} / (A + X)$$

$$\text{ここで、} A = 1/2 \cdot ((1-b^2) + ((1-b^2)^2 + 4(b^2(1-b^2)))^{.5})$$

$$X = -B = 1/2 \cdot (((1-b^2)^2 + 4(b^2(1-b^2)))^{.5} - (1-b^2)), Q_0 = 1, Q_1 = 1$$

(e)各閉塞タイプケースの比較

「(2) 2 棟以上倒壊時に閉塞の場合」、 「(3) 対面又は斜め倒壊時閉塞の場合」、 「(4) 4 棟同時倒壊時閉塞の場合」の 3 ケースの建物倒壊確率 20%と 50%で計算したものが下のグラフである。いずれも式の形からも示されるように「定数」^「建物ペア数」に近似した通過確率を与えている。

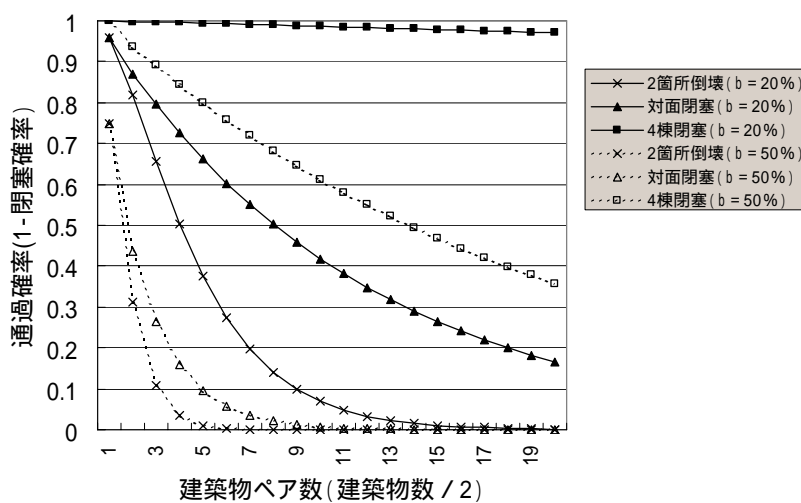


図 2.2.25 各モデルの非閉塞確率の比較

(3)道路側瓦礫流出モデル

ここでは、倒壊した建物のうちどのくらいの建物が道路側へ流出するかの確率を算出する。

道路側ガレキ流出確率は、街区をサンプル抽出して計測した結果を用いて、複数の変数による重回帰分析を 3 つのケースで行い、有意性の評価を行った。

分析対象 : 神戸市 3 地区、30 街区

データ出所 : 建ぺい率 図測による (街区面積に占めるの建物面積の割合)

老朽建物率 神戸 90 による町丁目データ

(昭和 45 年以前に建てられた建物面積の全建物面積に占める割合)

木造建物率 2 階建て以下を図測による

(2 階建物戸数の全建物戸数に占める割合)

ケース 1 (建ぺい率・老朽建物率) $Y = 0.29433495 \times 1.031724444x_1 - 0.450817527x_2$

ケース 2 (建ぺい率・木造建物率) $Y = -0.291152469 + 0.893215814 \cdot x_1 + 0.519524135 \cdot x_2$

ケース 3 (建ぺい率・老朽建物率・木造建物率)

$$Y = -0.763440189 * 1.65622282x_1 - 1.299280584x_2 + 1.206313643x_3$$

検定結果では、どのケースとも同様な有意性をもっているがどちらかというところではケース 3 の回帰式がやや有意だと判断できる。

表 2.2.7 回帰式の検定

	変数	重相関係数(r)	決定係数(r^2)	F 検定	評価
ケース1	建ぺい率・老朽建物率	0.390439712	0.152443169	F 検定表より 3.369 > 分散比 2.338204495	×
ケース2	建ぺい率・木造建物率	0.421020668	0.177258403	F 検定表より 3.369 > 分散比 2.800829865	×
ケース3	建ぺい率・老朽建物率・木造建物率	0.588268595	0.34605994	F 検定表より 2.991 < 分散比 4.409934496	

しかし、上記式を見ると、老朽建物率がマイナスとなっており、老朽度が増すほど道路側への流出が少なくなるという式である。

これは、老朽建物率が町丁目1本のデータしかないための建ぺい率の増減に係らず老朽建物率は同じ割合になっていることから発する事象であると思われるが、常識的ななり振る舞いを考慮するとケース2が道路側ガレキ流出確率を算出する式として望ましいといえる。

一方、上記にあげる建物側の指標である「老朽建物率・木造建物率」は、建物の倒壊率を説明する指標としては、望ましいが倒れた建物のガレキがどの方向へ流れるかを説明する指標とは考えにくい。

そこで、ガレキの流出確率は、建物の建て詰まり状況を表す「建ぺい率」で説明することが望ましいと判断するものである。

建ぺい率によって道路側へのガレキ流出確率を説明するものとし、以下の回帰式を得た。

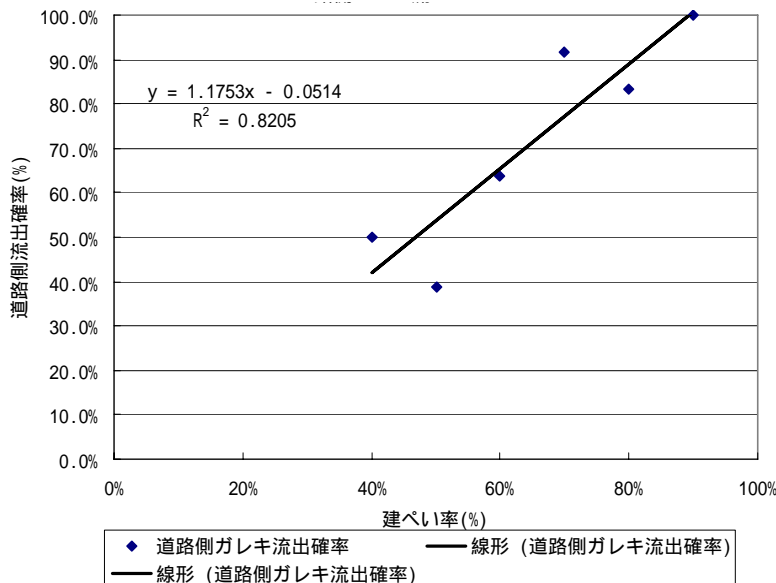


表 2.2.8 建ぺい率別道路側ガレキ流出確率推計値の関係

建ぺい率	道路側ガレキ流出確率推計値
10%	10.0%
20%	20.0%
30%	30.0%
40%	40.0%
50%	50.0%
60%	70.0%
70%	80.0%
80%	90.0%
90%	100.0%
100%	100.0%

図 2.2.26 道路側ガレキ流出確率と建ぺい率との相関 (異常値は除外)

上記の回帰式より、以下の道路側ガレキ流出確率を得た。

$$y = 1.1753 \cdot x - 0.0514 \quad r = 0.9058 \quad r^2 = 0.8205$$

y: ガレキ流出確率 x: 建ぺい率

(4)家田研モデル適用の考え方

家田研モデルは、閉塞の原因を建物の倒壊に求めているが、そこまで遡った定式化を行わず、地区

レベルで集計したデータをもとに当てはめた経験式として街路閉塞を定式化している。このため、本研究ではこのモデルを用いずに、施策効果を適切に反映させるため、論理的に建物倒壊レベルまで遡り定式化を図ったものである。但し、瓦礫幅については、現実の兵庫県南部地震の経験モデルによることが適当と考えられるため、以下のような考え方で家田研モデルの瓦礫流出幅確率モデルを用いた。

(a)家田研モデルに関する基本的認識

家田らの論文では、建築物特性などと標準化ガレキ幅 x_0 の確率分布との関係を分析し、 x_0 の累積分布関数 $F(x_0)$ が指数関数で表されると仮定し、次式を提案している。

$$F(x_0) = 1 - b \cdot \exp(-x_0/a) \quad \dots\dots (2-3)$$

$$a = 2.32 \cdot X_1^{0.379} + 0.189 \cdot X_2^{2.23} + 4.41 \cdot X_3^{12.0} \quad \dots\dots (2-4)$$

$$b = 1 / (1 - 0.179 \cdot \ln X_4 - 0.346 \cdot \ln X_5) \quad \dots\dots (2-5)$$

ここで、 X_1 ：建物全壊率=(全壊または大破の建築物)

／(全建築物 - 火災による損傷建築物 - 未調査・不明建築物)

X_2 ：平均階層(建築延べ床面積 / 建築面積)

X_3 ：建築密度(建築面積 / 宅地面積)

X_4 ：木造率(建築棟数ベース)

X_5 ：昭和 25 年以前の建築物の比率(建築延べ床面積ベース)

また、家田らによれば、リンク長バイアス補正済みガレキ幅 x と標準化ガレキ幅 x_0 は次式で表される。

$$x = \exp(0.0061 \cdot l) \cdot x_0 \quad \dots\dots (2-6)$$

ここで、 l ：リンク長 [m]

家田研論文においては、リンク長によるバイアス効果を、瓦礫長の基準化による方法 { 当てはめ計算により $(l) = \exp(0.0061 \cdot l)$ を導出 } で取り除き、その後の基準化瓦礫幅 y_0 と累積分布関数 F との関係が $F = 1 - b \cdot \exp(-y_0/a)$ で表されると仮定して、 a, b を指標から置き換えている。

一方、この式において、 $y_0 = 0$ の場合の $1 - b$ は、街路に瓦礫が少しでも出てくる確率に相当する筈であるが、 $(l) = \exp(0.0061 \cdot l)$ の基準化を行ったとしても、瓦礫幅 0 (若しくは 0) に関しては、基準化は働かない。したがって、 $(1 - b)$ は街路延長にかかわらず一定である。

このことは、街路長が長くなる (= 建物数が多くなる) ほど、いずれかの家屋が倒壊し瓦礫が発生する確率が高くなるという常識 (理論) と相容れない。即ち、この考え方に従えば $(1 - b)$ の街路延長による基準化が為される必要があり、その形式は $(1 - b_0) = (1 - b)^{1 / (L / 2 * (平均間口長))}$ の形式となる。

もともと、家田式も「瓦礫の発生個所は街路延長が長くなるほど多くなるから、瓦礫幅の最大値の期待値も大きくなる」という考え方によっており、その意味で、瓦礫幅の基準化は、この考え方と十分に整合していない。この考え方に従えば、生起確率を基準化すべきであり、瓦礫幅を基準化したために瓦礫発生メカニズムとの整合性が明確ではない。また、パラメータ a, b のあてはめは、地区レベルの集計値に基づくものであり、リンクレベルまでの再現性については確認がなされていない。

しかしながら、実用的な範囲 (街路延長、閉塞を想定すべき街路幅) に関しては、瓦礫幅を基準化していたとしても、適合性はあるのではないかとも思われる。

試算として、200m の区間を一本として非閉塞確率 (幅員以上の瓦礫が発生しない確率) を求めた場合と、10m を 20 本連続として非閉塞確率を求めた場合 (10m での非閉塞の 20 乗) までを連続的に計算した結果、各種パラメータ (家田研式のパラメータ及び街路幅員) を設定しても、いずれもほぼ

単調減少となる。先の考え方に基づけば水平若しくは若干の増加(角地効果など)となるはずであり、街路長による瓦礫幅の基準化は(十分には)効果を発揮していない。

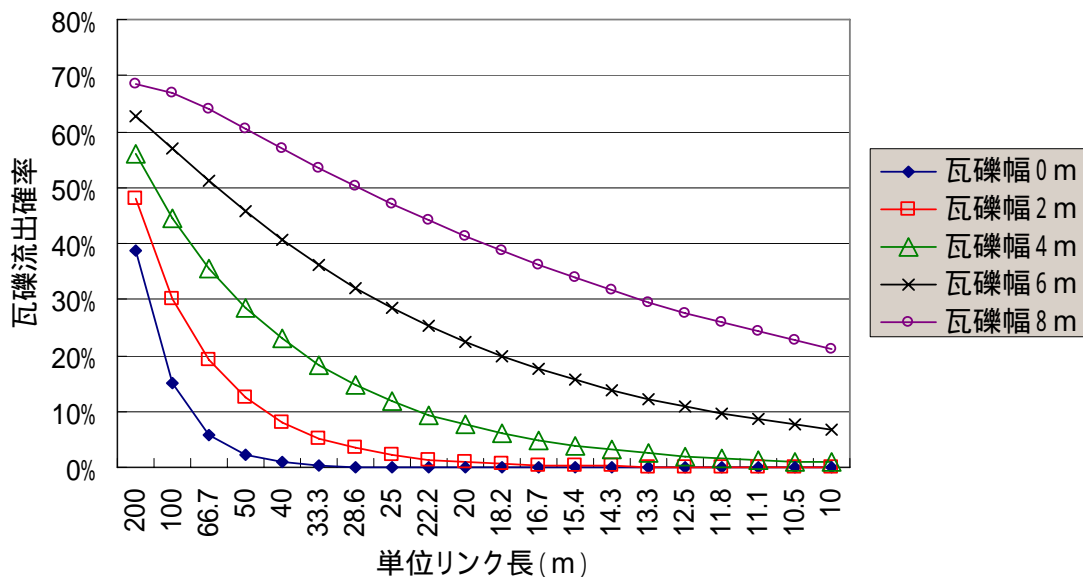


図 2.2.27 単位リンク長の差による瓦礫流出確率の差異 (家田研モデル)

このことは、この式を用いた場合、区間延長が短いほど「危険」、長いほど「安全」と示される方向に偏りがあるといえる。特に瓦礫流出確率(瓦礫幅=0)に関しては延長によらず一定という結果である。

(b)リンク長効果関数に関して

リンク長効果関数は、本来リンク長0では原点を通るべき関数である。または、最小値は家一件の間口であり、それ未満は値を持たない形式であるべきである。リンク長効果関数の導出過程 (Fig4の各プロット点)については、論文では瓦礫幅0を含めない平均値として求めた、としているが、この0を含めないことが原点を通らない関係式となること及び、試算結果でも偏りが大きく残っている原因とも考えられる。即ち、最大瓦礫幅の分布形は延長が短いほど0の割合が多くなるため、 y_0, y_i の対応関係は0を含めないと成立しないが、これを考慮せずに代表点座標の y_i を取ったための偏りであったとも考えられる。

(c)家田研式の導出過程に基づく推論

街路リンク長 l 毎に瓦礫幅確率分布 $F(l, y)$ が存在するとし、一軒当りの間口長を l_2 とした場合、棟別閉塞の考え方に従えば、 $F(l, y) = \{F(l_2, y)\}^{(l/l_2)}$ と書ける。ここで l_2 としたのは、 $F(l_2, y)$ が対面の二軒当りの瓦礫幅確率分布に相当するからである。概念的に考えると間口長の半分に相当する一軒当り瓦礫幅確率分布 $F(l_1, y)$ が考慮できるが、この $F(l_1, y)$ は独立の家屋による瓦礫幅ではなく、家並みに挟まった一軒の家屋の瓦礫幅確率分布といえる。この $F(l_1, y)$ を用いれば、

$$F(l, y) = \{F(l_1, y)\}^{(l/l_1)}$$

と書ける。この式が成立するという仮定のもとに以下の検討を行う。なお、便宜上、 $F(l, 0)$ は瓦礫幅0以上(とした場合、常に1になる)ではなく、無限小以上の累積確率とする。

さて、補正後平均瓦礫幅 y' は以下のように書ける。

$$y'(l) = \left(\int_0^{\infty} \{1 - F(l,y)\} dy \right) / F(l,0) \quad \text{積分範囲は } 0 \sim \text{無限大}$$

この平均幅で基準化するという事は、累積確率のグラフを横に縮めることに相当する。各リンク長に対応する各縮めたグラフが、同様な形状（計算式）であり、これらが、和に対して同様な形状を維持するという条件が満たされるなら、「基準瓦礫幅の式」は各リンク長に対応する累積確率式と類似性があり、リンク長に対応する式が導出できる筈である。（この関係は特殊解の1つであり、他の形式の特殊解が存在する可能性もある。）

まず、 $F = 1 - b \cdot \exp(-y0/a)$ が和に対して類似性を持っているかを検討する。仮に $F(l,y)$ が同様な形式であると仮定する。したがって、係数を a_l 、 b_l と書けば式は以下の通りとなる。

$$F(l,y) = 1 - b_l \cdot \exp(-y/a_l)$$

これに対応する基準化式は以下の様に計算できる。

$$\begin{aligned} y'(l) &= \left(\int_0^{\infty} \{1 - F(l,y)\} dy \right) / F(l,0) && \text{積分範囲は } 0 \sim \text{無限大} \\ &= \left(\int_0^{\infty} \{b_l \cdot \exp(-y/a_l)\} dy \right) / b_l \\ &= \int_0^{\infty} \exp(-y/a_l) dy \\ &= a_l \end{aligned}$$

これを $a_l = a$ となるように y 軸を基準化するという事であり、 $Y0 = (a/a_l) y$ となるから、 $F(l,y0) = 1 - b_l \cdot \exp(-y0/a)$ となる。即ち基準化後は、 b 部分（瓦礫発生確率部分）のみが異なる。

次に $F(l,y0) = 1 - b_l \cdot \exp(-y0/a)$ の加算性であるが、 b の値が b_1 、 b_2 の2つで丁度半々あった場合の平均累積確率は以下の様に書ける。

$$\begin{aligned} F(l,y0) &= 0.5 * [\{1 - b_1 \cdot \exp(-y0/a)\} + \{1 - b_2 \cdot \exp(-y0/a)\}] \\ &= 1 - (b_1 + b_2) \cdot \exp(-y0/a) \end{aligned}$$

したがって、帰納的に考えればどのような幅員ブレンドでも加算性は確保されており、 b_l のブレンド割合によって合計の b が決定されることがわかる。

以上を整理すれば、街路延長毎の瓦礫幅累積分布が $F(l,y) = 1 - b_l \cdot \exp(-y/a_l)$ の形式であれば、(1)延長毎の基準化瓦礫幅累積分布に関し、瓦礫の広がり程度係数 a は延長 l に係わらず一定となる、 b は延長の関数となる、(2)また、延長毎の合計値については、 a は一定値、 b は延長のブレンド割合によって決まる。

なお、「瓦礫幅累積分布が $F(l,y) = 1 - b_l \cdot \exp(-y/a_l)$ の形式であること」を前提に「リンク長効果関数」を考えると、 $a_l = a \times (\text{リンク長効果関数})$ の関係が成り立っているということであり、一方で観測値からの推計の定数が 1.39 であることから勘案すれば、 $a = 1.39$ が標準値となるはずである。

ここで、棟別閉塞の考え方に従えば、 $F(l,y) = \{F(l1,y)\}^{(l/l1)}$ が成り立つはずであり、一方 $y=0$ に関しては基準化は働かないから、 $1 - b_l = F(l,y=y0=0) = \{F(l1,y=y0=0)\}^{(l/l1)} = (1 - b_l)^{(l/l1)}$ となる。（但し、 $F(l,y) = \{F(l1,y)\}^{(l/l1)}$ の関係は、「瓦礫幅累積分布が $F(l,y) = 1 - b_l \cdot \exp(-y/a_l)$ の形式であること」では（完璧には）成立しない。）

そこで、 $F = 1 - b \cdot \exp(-y0/a)$ の算出仮定においては、10～120mの街路リンクで検討がされているが、 $1 - b_l = (1 - b_l)^{(l/l1)}$ の条件（とりあえず $l1 = 5m$ とする）のもとで、 b がどのような値になるか検討する。

式の形が素直でないため、数値計算を行い振る舞いを見たところ、最終的に決まる b が小さい（0.04程度以下）場合にはリンク長 l の平均値の b_l に近い値、大きな値になると若干短いリンク長の b_l に近い値となることが判った。元データがどのような街路長のものが含まれているが不明であるが、50m程度が平均的な値であると思われるので、 b は 50mの b_l に近い数字であると推定される。

(d)式の適用

以上のことから、家田研式は、(瓦礫流出率の曲線が、各街路延長で「基準化瓦礫幅分布関数」と類似した形になっているという仮定のもとで)次のように扱うことで「個別建物の被害確率との整合性の説明可能な形式」の瓦礫流出確率が算定できる。

マイクロシミュレーションにおける瓦礫長分布の扱い

i)マイクロシミュレーションの目的は、市街地内のマイクロレベルにおける課題の発見と対応策の評価である。このため、以下のようなモデルである必要がある。

a)データの収集単位である建築レベル、街路リンクレベルの情報に基づいて検討ができる必要がある。

b)同様の趣旨ではあるが、施策としての幹線道路の整備、再街路の整備、避難地の整備、個別建替え、不燃化等の効果が把握できる必要がある。

ii)街路閉塞に関しては、震災に伴う瓦礫流出をモデル化した家田研モデルを適用する予定であるが、以下の点で(拡大した)適用を検討する必要がある

a)家田研モデルは、ある程度の範囲の、全壊率、平均階層、建物密度、木造率、昭和25年以前建築物比率をパラメータにして、一定区間の瓦礫流出幅の生起確率を計算するものである。このため、リンクの出口付近が問題なのか、リンク内で両側が閉塞して出られなくなる可能性はあるのか、といった建物レベルでの倒壊状態と対応した検討が困難である。

b)また、建替え、不燃化、補強など、個別建物レベルの対応に関し、パラメータに関係しない改善効果が反映できないし、効果を建物に対応して明示的に示すことができない。

c)さらに、家田モデルは街路への瓦礫流出がモデル化されているため、本来的には壁面線の指定によるセットバックに関する街路への瓦礫流出削減効果、公開空地の確保等は織込み困難である。

iii)一方で、モデルは、モンテカルロシミュレーションで組み上げることとしており、かつ、倒壊や街路閉塞といった事象の生起確率に基づき発生事象を決定する形式となっており、木目細かな対応にも適用しうる。

iv)このため、マイクロシミュレーションにおいては、建物別の倒壊を前提に、瓦礫流出幅の推計に関し家田研モデルを適用することとする。

v)なお、適用に関する条件設定は以下のように扱う。

< 建物別の倒壊確率について >

建物別倒壊確率は、倒壊の推計との整合性確保の観点から、建物の倒壊可能性推計に用いる村尾フラジリティー曲線を用いる。

< 道路側カレキ流出確率について >

倒壊した建物のうち道路側に瓦礫を発生させる瓦礫流出確率は、H14.3 報告書の p16 の式を用いる。

$$(\text{瓦礫流出確率}) = \min \{ 1, 1.1753 \cdot (\text{建蔽率}) - 0.0514 \}$$

< 瓦礫の幅員について (基本) >

道路側に瓦礫が流出するとの条件での瓦礫流出幅については、家田モデル式の考え方を以下の様に適用する。

家田研式 $F_{y0} (y0)=1 - b \cdot \exp(-y0/a)$ では、式の形から、 $1 - b$ が瓦礫流出の起こらない確率に相当する。従って瓦礫流出の起こる確率は b になる。しかし、瓦礫流出までは個別建物の倒壊と関連させる

ため、すでに村尾フラジリティー等で決めているので、この部分を割愛して、以下の形式で用いる。

$$(\text{瓦礫が発生する場合の瓦礫長の累積分布}) = \exp(-y_0/a)$$

< 瓦礫の出発点について >

瓦礫の出発の起点については、本来、道路端からのデータでパラメータとの関係で係数が決められている。しかしながら、メカニズムを考えると、道路端と建築前面の離れは、瓦礫の流出幅の中に含まれるべきであるし、セットバックなどの施策の評価上も、そのように取り扱う必要がある。もとデータは色々な「道路端と建築前面の離れ」に基づきパラメータを確定しているため、この考え方を織込むと危険側（流出延長が短くなる）の予測となる。このため、本来は平均的「道路端と建築前面の離れ」を加算して用いるべきと考えられる。

< リンク長効果について >

もともとのデータはリンクが長くなるほど瓦礫長が長くなる（瓦礫個所が多くなるほど長いものも出てくる）ということから、補正係数としてのリンク長効果関数を求め、延長0での瓦礫長に基準化している。基本ベースの単位は「建物1棟」とも考えられるが、0に基準化しているため、この観点を加味する必要がある。考え方としては「敷地の間口」を繋げていけば街路長になるのでこの値、街路両面に建築物があるので「敷地の間口」の半分の値、直接的に影響するはずの建物の前面幅（大きな敷地になれば流出が大きくなるは不合理）が考えられる。もともとのデータからしては妥当だが、この観点も勘案すれば、「式のもととなった神戸で観測された平均的な敷地幅の半分」が妥当と考えられる。（個別の建物の間口幅で各々設定する方法も考えられるが、もとの式との関係づけが困難と思われるので採用しない。）

< リンク長等の補正 >

ここで、「神戸で観測された平均的な敷地幅の半分」とは、5~10m程度と想定される。これをリンク長効果関数 $f(l) = \exp(0.0061 \cdot l)$ に代入すると、0.970~0.941という補正值を得る。これに瓦礫の出発点の変更も勘案して、0.9を用いる事とする。

したがって式は以下の通りとなる。

$$(\text{瓦礫が発生する場合の瓦礫長の累積分布}) = \exp(-0.9 \cdot y_0/a)$$

< X1、X2、X3の適用（aの推計） >

X2、X3については、そのまま用いる事が適当である。但し、X3（建蔽率）については瓦礫流出確率の算出にも使われているので、二重に用いているとも考えられるが、発生可能性と発生した場合の長さということなる意味で用いているので、割り引くなどの検討は不要と思われる。

X1については、倒壊前提なので1という考え方がある。しかし、これは「地震動特性を直接的に表す説明変数が見当たらないので、間接的な指標値として全壊率を採用した。」とされており、一般的な地区の全壊率を予測して用いる事が適当と考えられる。

従って、棟別累積分布関数 $f(y)$

$$f(y) = 1 - (\text{当該建物の全壊率}) \cdot (1.1753(\text{建蔽率}) - 0.0514) \\ \cdot \exp(-y / (2.58(\text{地区の全壊率})^{0.379} + 0.210(\text{平均階層})^{2.23} + 4.90(\text{建蔽率})^{12.0}))$$

但し、瓦礫出発点は道路端でなく家屋端（セットバックを考慮する）。

マクロにおける棟別閉塞の考慮

（観点）

- ・家田式は密集市街地モデルであり、街路延長のみによっているため、空地の多い場合などに整合しない。

- ・このため、ミクロについては、1棟ごとに家田式を適用することとしたが、マクロについても同様の考え方が必要である。
- ・なお、棟別閉塞の考え方に従えば、複数棟閉塞も考慮できる。

(リンクごとの棟数)

$$\text{総棟数} * (\text{リンク延長} / (\text{総区画街路} + \text{総幹線道路})) + 4 * 0.5$$

角地4軒は2つの道路に面する

(家田式の棟別適用)

<建物別の倒壊確率について>

建物別倒壊確率は、倒壊の推計との整合性確保の観点から、建物の倒壊可能性推計に用いる村尾フラジリティー曲線による倒壊率を用いる。

<道路側カレキ流出確率について>

倒壊した建物のうち道路側に瓦礫を発生させる瓦礫流出確率は、次式を用いる。

$$(\text{瓦礫流出確率}) = \min \{ 1, 1.1753 * (\text{建蔽率}) - 0.0514 \}$$

<瓦礫の幅員について(基本)>

道路側に瓦礫が流出するとの条件での瓦礫流出幅については、家田モデル式の考え方を以下の様に適用する。

家田研式 $F_{y0} (y0) = 1 - b \cdot \exp(-y0/a)$ では、式の形から、 $1 - b$ が瓦礫流出の起こらない確率に相当する。従って瓦礫流出の起こる確率は b になる。しかし、瓦礫流出までは個別建物の倒壊と関連させるため、すでに村尾フラジリティー等で決めているので、この部分を割愛して、以下の形式で用いる。

$$(\text{瓦礫が発生する場合の瓦礫長の累積分布}) = \exp(-y0/a)$$

<リンク長効果について>

もともとのデータはリンクが長くなるほど瓦礫長が長くなる(瓦礫個所が多くなるほど長いものも出てくる)ということから、補正係数としてのリンク長効果関数を求め、延長0での瓦礫長に基準化している。基本ベースの単位は「建物1棟」とも考えられるが、0に基準化しているため、この観点を加味する必要がある。考え方としては「敷地の間口」を繋げていけば街路長になるのでこの値、街路両面に建築物があるので「敷地の間口」の半分の値、直接的に影響するはずの建物の前面幅(大きな敷地になれば流出が大きくなるは不合理)が考えられる。もともとのデータからしては妥当だが、この観点も勘案すれば、「式のもととなった神戸で観測された平均的な敷地幅の半分」が妥当と考えられる。

<リンク長等の補正>

ここで、「神戸で観測された平均的な敷地幅の半分」とは、5~10m程度と想定される。これをリンク長効果関数 $(l) = \exp(0.0061 \cdot l)$ に代入すると、0.970~0.941という補正值を得るので、0.95を用いる事とする。したがって式は以下の通りとなる。

$$(\text{瓦礫が発生する場合の瓦礫長の累積分布}) = \exp(-0.95*y/a)$$

<X1、X2、X3の適用(aの推計)>

X2、X3については、そのまま用いる事が適当である。但し、X3(建蔽率)については瓦礫流出確率の算出にも使われているので、二重に用いているとも考えられるが、発生可能性と発生した場合の長さということなる意味で用いているので、割り引くなどの検討は不要と思われる。

X1については、倒壊前提なので1という考え方がある。しかし、これは「地震動特性を直接的に表す説明変数が見当たらないので、間接的な指標値として全壊率を採用した。」とされており、全壊

率をそのまま用いる事が適当と考えられる。従って、棟別累積分布関数 $f(y)$

$$f(y) = 1 - (\text{全壊率}) * (1.1753(\text{建蔽率}) - 0.0514) \\ * \exp(-y / (2.44(\text{全壊率})^{0.379} + 0.199(\text{平均階層})^{2.23} + 4.64(\text{建蔽率})^{12.0}))$$

(リンク非閉塞確率)

リンク非閉塞関数 $F(y)$ は次式の通りとなる。但し、 y は通過可能瓦礫幅。

$$F(y) = (f(y))^{(\text{総棟数} * (\text{リンク延長} / (\text{総区画街路} + \text{総幹線道路})) + 4 * 0.5)}$$

(5) 瓦礫流出モデルを個別の建物に用いることについて

瓦礫流出を、1棟ごとに計算する方法(ミクロ)と、平均値を用いて計算する方法(マクロ(及びもとの家田研式))が整合性を持つかどうかについての検討が必要であり、以下のように整理した。

瓦礫流出モデルの a の意味は平均瓦礫長であり、本来は棟別設定できる係数の筈である。

家田研式での平均瓦礫長 (a) の影響要因については、全壊率、平均階数、建蔽率である。それぞれは以下の考え方で説明できる。

ア. 全壊率: 「地震動特性を・・・表す・・・間接的指標」との考え方で導入されているものであり、地区の値を使うことが可能である。(なお、「地震動 神戸で全壊率」を計算して用いることも考えられるが、モデルは複数倒壊の影響も勘案する構造となっているため、地区の値を用いることとした。)

イ. 平均階数、建蔽率: 倒れた場合の平均瓦礫長の計算であり、もともと個別家屋ごとに設定できる数値である。(平均階数は瓦礫量、建蔽率は敷地内に留まる瓦礫量を表す指標と考えれば、設定する意味は説明可能である。)

但し、家田研での研究成果である係数は、地区の集計値で求めている。一方で、リンク非閉塞確率は家屋非閉塞確率の積の形で表されるから、その結果と同じ結果を与える「代表値」(代表値² × 棟数 = リンク非閉塞確率となる)は相乗平均に相当する筈である。このため、相加平均 > = 相乗平均であるから、相加平均値を用いれば常に非閉塞確率は高く計算される可能性がある。

この点から、以下の仮定のもとで乱数発生させた仮想家並みモデルを 50 棟 × 5 系列 (合計 250 棟) 作成し、各種非閉塞確率を計算した。

< 家並みモデルの仮定 >

建築物の構造・年代区分は既存地区の存在比率に基づいて割り振り、それぞれの全壊確率(震特委式の全壊率の読みかえ)を割り振る。(この既存地区の全壊率は 0.1462、木造棟数率は 71.8%、S25 年以前率は 5.5%)

建蔽率、平均階層、建築総面積を、それぞれ 50% ~ 90%、1 ~ 2.5、50 m² - 250 m² (小さいのを多めにする。) になるように乱数で割り振った。

表 2.2.9 各種パラメータ

各種パラメータ			地区平均値から計算される家田研式で用いるパラメータ		
	平均	標準偏差			
全壊率	14.96%	11.58%	}	平均瓦礫長 (m)	
建蔽率	69.42%	11.89%			1.748656721
平均階層	1.63	0.44		瓦礫流出確率	
S25以前比率(述べ床ベース)	6.78%	-			50.379%
木造率(建物棟数ベース)	74.00%	-			

モデル化した 250 棟の計算に用いた各種パラメータ

非閉塞確率としては、以下のように計算した。

瓦礫流出幅によって閉塞状況は記述できるので、ある幅以上の瓦礫が流出しない確率を計算しており、その幅は 2m、4m、8m とした。これは例えば、4m、8m、10m 道路に小型車（側方余裕含めて 2m）が通行できる確率に相当する。

50 棟 5 列建物系列に関し、各系列をリンク 1 からリンク 5 と呼び、個別建物による瓦礫流出に基づく閉塞確率を計算した。最初から n 番目まで（n は 1 棟から 50 棟）のところまでの閉塞確率を、順次計算し折れ線グラフとした。従って、例えば 10 番目では、10 棟の家のリンク（道路の端から端まで 10 軒）での比較といえる。各リンクについては、(1)個別：各々の建築物の属性に基づき棟別閉塞閉塞確率を計算し確率を計算したもの、(2)集計：n 棟目までの建築物の属性の平均値に基づき棟別閉塞閉塞確率を計算し確率を計算したもの、の 2 通りを計算した。

比較値として、250 棟の平均建物属性に基づき、(3)家田研式：建物間の離れを 5m（隣棟では 10m）として計算した家田研式の確率を計算したもの、(4)マクロ型：250 棟の平均値に基づき棟別閉塞閉塞確率を計算し確率を計算したもの、を計算した。

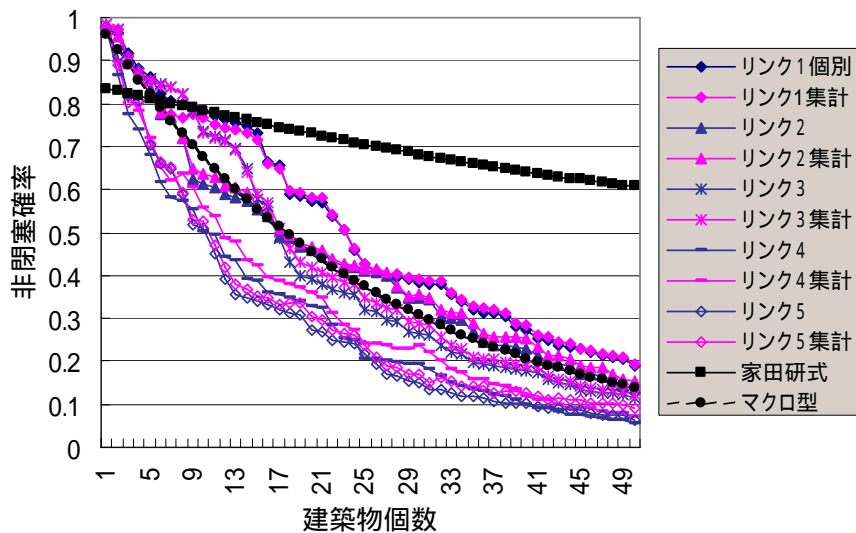


図 2.2.28 非集計値での計算の偏り（瓦礫長 2）

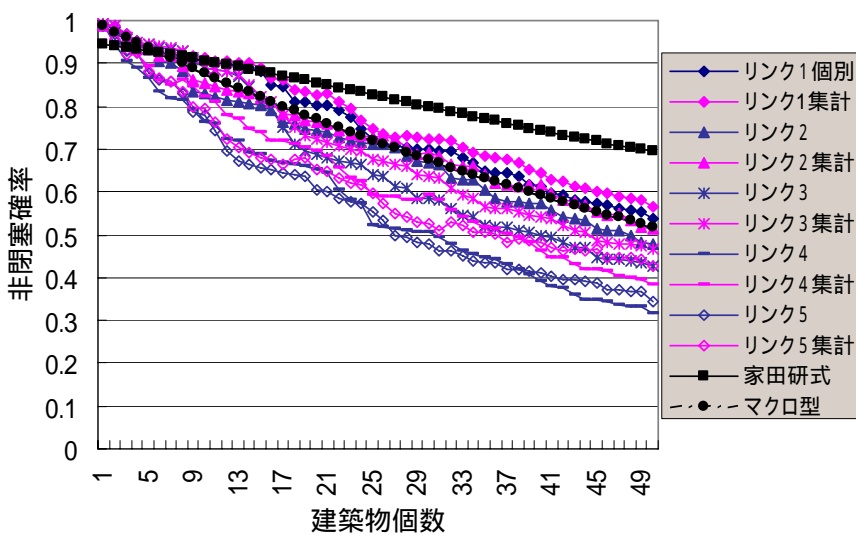


図 2.2.29 非集計値での計算の偏り（瓦礫長 4）

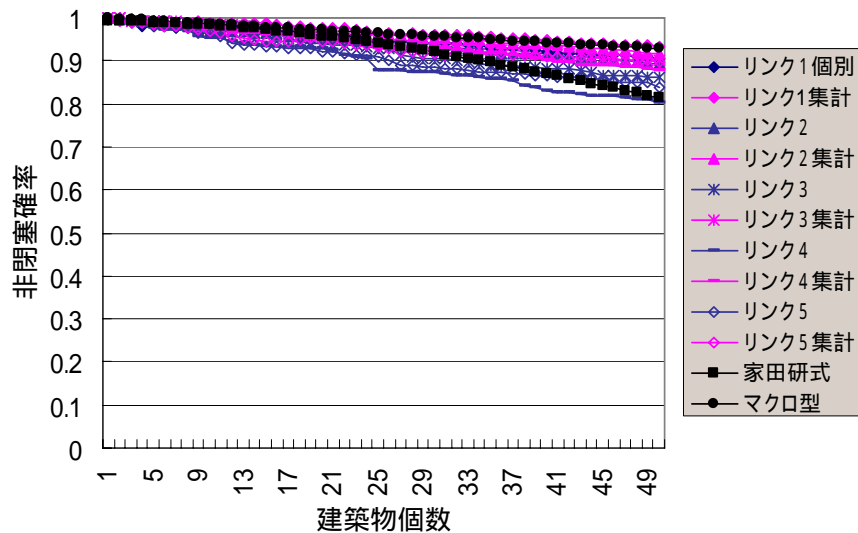


図 2.2.30 非集計値での計算の偏り (瓦礫長 8)

また、瓦礫長を変動させ、集計 (リンク平均を用いる場合)、非集計 (個別建物で計算する場合) の結果の比較を行った結果は下図の通りであり、個別建物の計算での非閉塞確立が若干小さくなる。

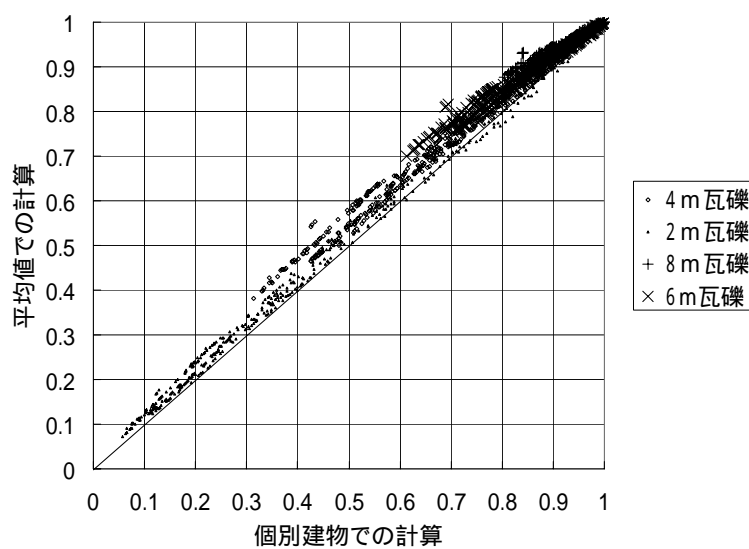


図 2.2.31 非閉塞確率の集計・非集計での比較 (50 棟まで)

以上のように明らかに、個別建物毎の計算での値が大きくなるという偏りがあるが、
 個別建物に基づく評価が必要であること、
 組み直したモデル自体は個別建物ベースであること、
 偏りの修正方法が見当たらないこと、
 偏差であり危険度の順位付けへの影響はないこと、
 危険側の評価値となるので問題点を見逃す恐れはないこと、
 からそのまま用いることとした。

(参考) 個別建築物属性設定プログラム (50 棟セット)

建築物の構造・年代区分は既存地区の存在比率に基づいて割り振り、それぞれの全壊確率(震特委式の全壊率の読みかえ)を割り振った(700-800行、全壊率の目標値は0.1462)
建蔽率、平均階層、建築総面積を、それぞれ50%~90%、1~2.5、50 m²-250 m²(小さいのを多め)になるように乱数で割り振った。

```
10 OPTION BASE 0
20 DIM
A(100),B(100),C(100),D(100),E(100),F(100),
G(100)
30 rem J は家の数,Z は家田式の全壊率、P は
閉塞瓦礫長
40 Z=0.1462
100 randomize
130 J=50
200 FOR I= 1 to J
300 rem 建蔽率 A の設定(50-90)
310 A(I)=0.5+(0.4*rnd)
311 A2=A(i)^2
400 rem 平均階層 B の設定(1-2.5)
410 B(I)=1+(1.5*RND)
411 B2=b(i)^2
500 rem 建物総面積 C の設定(50-250)
510 C(I)=50+(200*rnd*rnd)
600 rem 敷地面積 D,建築面積 F の計算
610 D(I)=(C(i)/B(i))/a(i)
611 F(I)=(C(i)/B(i))
700 rem 建築タイプ 倒壊確率 E(I)の計算
715 X=rnd
716 E(i)=0.0417
717 If x<0.799 then E(i)=0.0855
718 If x<0.779 then E(i)=0.1802
719 If x<0.774 then E(i)=0.0189
720 If x<0.748 then E(i)=0.0471
721 If x<0.732 then E(i)=0.0848
722 Rem これより木造
723 If x<0.718 then E(i)=0.0568
724 If x<0.718 then KI=1
725 If x<0.442 then E(i)=0.1398
726 If x<0.353 then E(i)=0.2848
727 Rem これよりS25 以前
728 If x<0.055 then E(i)=0.3594
729 If x<0.055 then OL=C(i)
730 E2=E(i)^2
910 Rem
2000 next I
```

2.2.4 主体別通過幅員設定について

街路閉塞モデル式においては、各主体の移動が可能と判断する上での幅員設定が必要とされる。本項では、その設定の考え方を示している。

(1) 健常者の瓦礫乗越えモデル

兵庫県南部地震においては、避難、消防士などの健常者の移動については、瓦礫による道路閉塞が起こっていても、これを乗越えての移動がなされ、基本的には移動不可能ということにはならなかった。このため、健常者の移動についての評価は不要であるという考え方も成り立つ。

しかしながら、瓦礫の乗越えはやむを得ない緊急避難的な措置であり、これを全て許容して移動可能と判断することには問題がある。このため、許容可能な瓦礫乗越えという概念で判断することとし、瓦礫長と瓦礫高の関係と、瓦礫形状の想定から、端部・鞍部などの最低部の高さを求め、この高さが許容できる高さ(目線高と想定)以下の場合、「乗越えて移動できる」と判断することとした。以下でその考え方を示す。

(a) 高さとガレキ幅の関係による瓦礫高さ推計モデルの設定

魚崎地区のガレキデータ

全ペアでは右上がりの傾向がありそうだが明瞭な関係はみられない(図 2.2.32)。そこで、ガレキ幅別にガレキ高さの平均を取ったものが図 2.2.33 である。

ガレキ幅とガレキ高さにははっきりとした関係があり、これを線形とすれば以下のようになっている。

修正済み相関係数 0.773 係数 : 0.6651 定数項 : 0.1641

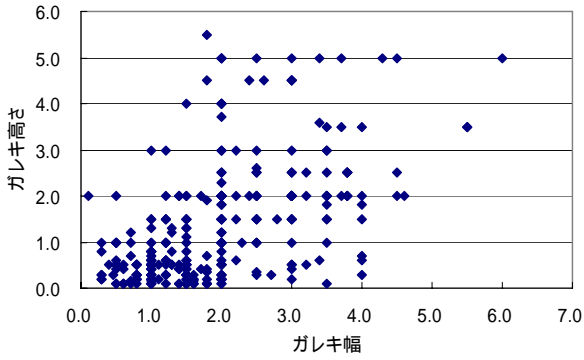


図 2.2.32 魚崎地区ガレキ幅と高さ

データは、阪神淡路地震時のガレキ撤去に係る補助金申請用データより作成している。撤去業者により含むデータ種類にばらつきがあったが、その中で比較的データの整っている業者のデータを使用した。使用したデータはガレキ写真、ガレキ延長、ガレキ高さ、ガレキ幅の4データが含まれているものである。

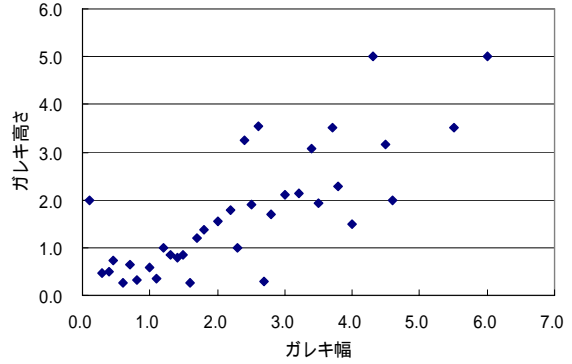


図 2.2.33 魚崎地区ガレキ幅と高さ（幅別平均）

六甲道地区のガレキデータ

魚崎地区と同様にガレキ幅別にガレキ高さの平均を取ってみると以下のようにになっている。

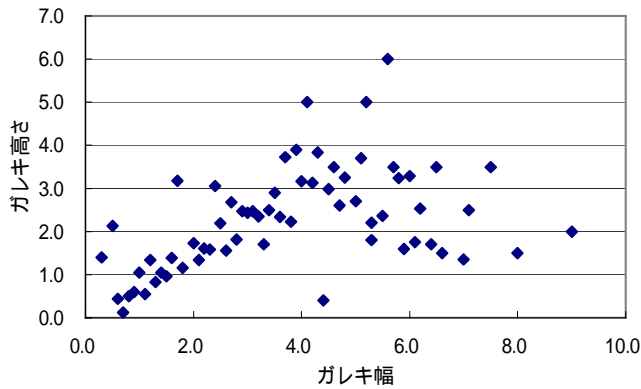


図 2.2.34 六甲道地区ガレキ幅別平均ガレキ高さ

ガレキ幅 4～5m までは魚崎地区と同様な関係となっているが、それより大きい場合にはガレキ高さにばらつきがあり、かつ全体として減少している。6m 以上のバラつきについては以下のように考えられる。

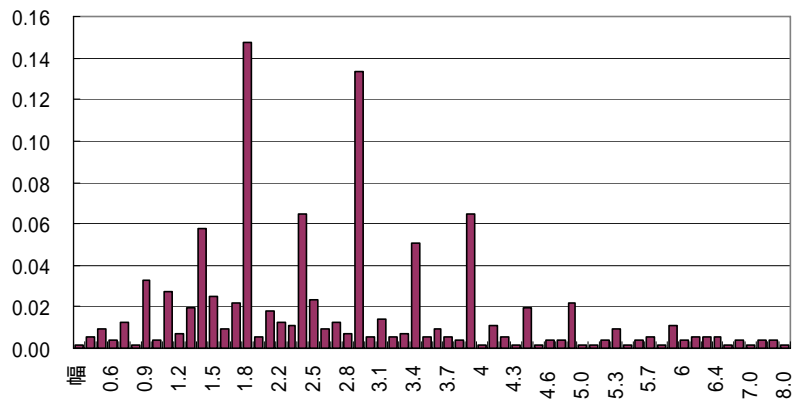


図 2.2.35 地点数

ガレキ幅のデータを見ると、6m以上がほとんど存在していない。このため、データが収斂せず、ばらつきがあると考えられる。データ数が少ないのは、当該地域の実際の道路幅員としてこれ以上の路線が少ないことが理由の1つと考えられる。本来それ以上のガレキ幅があったとしても、ガレキが対面側の敷地に届いてしまい測定上それ以上の事例が得られないと考えられる。

また、当該地区の建物が木造2階建までがほとんどであり、これが倒壊しても6m以上のガレキは発生しないことも理由の1つと考えられる。倒壊建物が木造2階概ね5m程度とした場合、魚崎地区の線形関係から建物高さと同じガレキの高さ5m程度になるガレキ幅を算定すると、7.3m程度となる。

高さの設定

本研究が対象としている木造密集地域では、一般に2階程度までの建物が多いこと、道路幅員としても6m以上となるものが少ないことから、ガレキの高さを魚崎地区のデータより得られた以下の式で推計することとする。

$$\text{ガレキ高さ (m)} = \text{ガレキ幅 (m)} \times 0.6651 + 0.1641$$

(b)瓦礫形状モデルについて

これらデータには瓦礫の形状についての情報は無いが、砂のような様な物質については横断形状は三角形になることから、距離の長い瓦礫については、同様に三角形であるとして検討する。

即ち、瓦礫データは以下のような形状で以下のような値が観測されているとする。

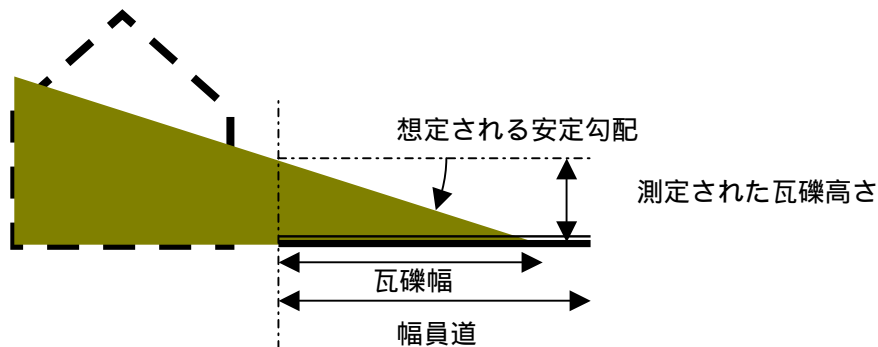


図 2.2.36 瓦礫形状の基本モデル

端が拘束されない自由状態での瓦礫は、このような三角形となると考えるが、道路幅より瓦礫が長くなる場合、両側からの瓦礫が重なる場合、については、瓦礫の先端部が拘束され、形状は変わると考えられる。この場合は瓦礫総量を不変として、以下のような瓦礫形状モデルを考える。

道路幅より自由瓦礫幅が長い場合

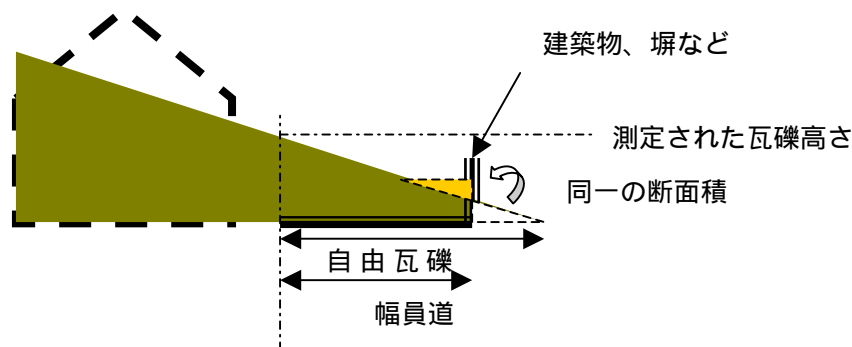


図 2.2.37 道路幅より自由瓦礫幅が長い場合の瓦礫形状モデル

両側からの瓦礫が重なる場合

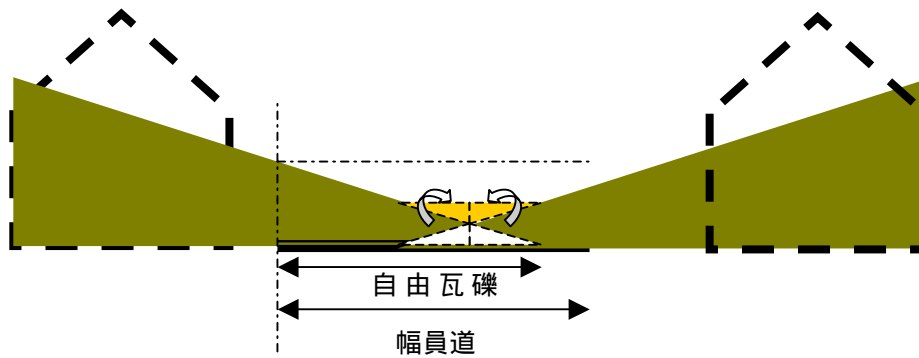


図 2.2.38 両側からの瓦礫が重なる場合の瓦礫形状モデル

従って、最も低い部分の瓦礫高さ H は以下の式で表せる。

$$H = 0 \quad (\text{自由瓦礫長} < \text{道路幅員})$$

$$H = 2 \times \text{瓦礫高さ} \times (\text{自由瓦礫長} - \text{道路幅員}) / \text{自由瓦礫長} \quad (\text{自由瓦礫長} > \text{道路幅員})$$

(c)乗越え可能瓦礫幅の推計

(b)の検討結果を(a)の式に当てはめると、

$$H = 2 \times (\text{自由瓦礫長} \times 0.6651 + 0.1641) \times (\text{自由瓦礫長} - \text{道路幅員}) / \text{自由瓦礫長}$$

となるが、0.1641 を瓦礫径（代表値）と考えれば、この先に三角形瓦礫の存在しない先端部分が隠れていると考えることもできる。

この考え方に立てば、絵に示される瓦礫長は、この自由瓦礫長より更に長い先端部を含む延長と考えることができ、自由瓦礫長部分での先端である瓦礫の端点高は0.1641 で与えられるから、

$$H = 0.1641 \times 2 + 1.3302 \times (\text{自由瓦礫長} - \text{道路幅員})$$

として示される。ここで、乗越え可能な瓦礫高を、大人がその先に同等以上の高さの瓦礫の有無が確認できる目の高さに相当する1.5mとした場合（これを超えた先に、目前の瓦礫以上に高い瓦礫があるかどうか不明である場合、瓦礫乗越えという移動行動は起さないと想定）（自由瓦礫長 - 道路幅員）は0.88mとなるので、これを丸めて自由瓦礫長 - 道路幅員 + 1mを、健常者の通行可能瓦礫幅と想定する。（従って、道路幅員 - 自由瓦礫長 - 1m）

(2)その他の移動主体の通行可能幅員の設定

移動主体としては、健常者のほかに、大型車として消防車（ポンプ車）、レスキュー隊車、小型車として、救急車、患者輸送に用いられる自家用車・タクシー等、救護所への兵站を受け持つ自動車、けが人の自力移動、担架による移動など瓦礫乗越えのない人の移動、を想定している
自動車の通行可能幅員は、一般的には車両幅 + 側方余裕で与えられる。

車両幅については、道路構造令第4条で大型車2.5m、小型車1.7mとされている。

側方余裕については明快な規定はないが、以下の規定が参考になる。

ア．道路構造令に規定される最も狭い車道幅員は第3種第4級の2.75m（第3種第4級：山地部の交通量の比較的少ない道路）とされている。（道路構造令第5条第4項）

イ．また、第3種第5級、第4種第4級の（車線のない）車道の幅員は4mやむ得ない場合3m（路肩を含めて最小4m）とされており（道路構造令第4条第5項）解説において停車、乗用車相互のすれ違い、消防活動等を考慮とされており、乗用車通行の最低幅員はこの半分の

2m と考えられる。

ウ. 車両制限令第5条で一方通行の道路を通行できる車両は、その車道幅員-0.5m以下のものに限るとされていることから、少なくとも大型車の側方余裕については0.5m程度と想定される。これらのことにより、自動車に関する通行可能幅員を以下のように設定する。

表 2.2.10 自動車に関する主体別通過可能幅員

種別	主体	想定される対象	通行可能幅員
自動車	小型車	救急車、乗用車	2.0m (車両幅員 1.7m側方余裕 0.3m)
	大型車	消防車、レスキュー隊用車両	3.0m (車両幅員 2.5m側方余裕 0.5m)

歩行者についても同様の考え方で、「道路構造令の解説と運用」において示されている占有幅 0.75m (物理的な幅は 0.5m) を用いるものとする。

以上を整理して以下のような幅員を通行可能幅員として用いることとする。

表 2.2.11 主体別通過可能幅員

種別	主体	想定される対象	通行可能幅員
徒歩	健全者	避難住民、消防士	- 1m 瓦礫の乗り越えを考慮
	ケガ人	担架に乗せられたケガ人	0.75m (肩幅 0.5m側方余裕 0.25m)
自動車	小型車	救急車、乗用車	2.0m (車両幅員 1.7m側方余裕 0.3m)
	大型車	消防車、レスキュー隊用車両	3.0m (車両幅員 2.5m側方余裕 0.5m)

参考 道路構造令

(設計車両) 第4条

道路の設計にあたっては、第1種、第2種、第3種第1級又は第4種第1級の道路にあつては小型自動車及びセミトレーラ連結車(自動車と前車軸を有しない被牽引車との結合体であつて、被牽引車の一部が自動車にのせられ、かつ、被牽引車及びその積載物の重量の相当の部分が自動車によってささえられるものをいう。以下同じ。)が、その他の道路にあつては小型自動車及び普通自動車が安全かつ円滑に通行することができるようにするものとする。

2)道路の設計の基礎とする自動車(以下「設計車両」という。)の種類ごとの諸元は、それぞれ次の表に掲げる値とする

諸元(単位メートル)	長さ	幅	高さ	前端オーバーハング	軸距	後端オーバーハング	最小回転半径
設計車両							
小型自動車	4.7	1.7	2	0.8	2.7	1.2	6
普通自動車	12	2.5	3.8	1.5	6.5	4	12
セミトレーラ連結車	16.5	2.5	3.8	1.3	前軸距 4 後軸距 9	2.2	12

この表において、次の各号に掲げる用語の意義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。

(1)前端オーバーハング：車体の前面から前輪の車軸の中心までの距離をいう。

(2)軸距：前輪の車軸の中心から後輪の車軸の中心までの距離をいう。

(3)後端オーバーハング：後輪の車軸の中心から車体の後面までの距離をいう

(車線等)第5条

(4)車線の幅員は、道路の区分に応じ、次の表の車線の幅員の楯に掲げる値とするものとする。ただし、第1種第1級若しくは第2級、第3種第2級又は第4種第1級の道路にあつては、交通の状況により必要がある場合においては、同欄に掲げる値に0.25メートルを加えた値、第2種第1級の道路にあつては、地形の状況その他の特別の理由によりやむを得ない場合においては、同欄に掲げる値から0.25メートルを減じた値とすることができる。第3種第4級 2.75m (他は省略)

(5)第3種第5級又は第4種第4級の道路の車道の幅員は、4メートルとするものとする。ただし、当該道路の計画交通量がきわめて少なく、かつ、地形の状況その他の特別の理由によりやむを得ない場合又は第31条の2の規定により車道に狭窄部を設ける場合においては、3メートルとすることができる。

参考 車両制限令

(幅の制限) 第5条

市街地を形成している区域(以下「市街地」という。)内の道路で、道路管理者が自動車の交通量がきわめて少ないと認めて指定したもの又は一方通行とされているものを通行する車両の幅は、当該道路の車道の幅員(歩道又は自転車歩行者道のいずれをも有しない道路で、その路肩の幅員が明らかでないもの又はその路肩の幅員の合計が1メートル未満(トンネル、橋又は高架の道路にあつては、0.5メートル未満)のものにあつては、当該道路の路面の幅員から1メートル(トンネル、橋又は高架の道路にあつては、0.5メートル)を減じたものとする。以下同じ。)から0.5メートルを減じたものをこえないものでなければならない。

2.2.5 最短経路検索モデル及び原始評価値

「起点から終点に至る経路の健全性」のケースごとの評価値（評価に用いる集計後の評価値と区別するため以下「原始評価値」と記述する。）については、最短経路検索結果によって求める。

最短経路探索を行うために各リンクに与えられる距離を経路探索の結果、経路で集計したものがここでいう原始評価値となる。この距離については一般には『実際の距離』や『通過所要時間』が使われる。

(1)原始評価値と経路検索に係る基本的考え方

地震による街路閉塞が起こっている状態では、移動を行なう者は、閉塞状況の情報の有無にかかわらず、最良と考えられる経路を選択しようとする筈である。

その経路選択行動（何を最良経路と考えるか？）は、徒歩の行動は通常の場合と同様最短距離を志向する、または二次被害を受けにくい安全な経路を志向する、が考えられ、また、車についてはのほか、早く走れる広い道路を志向する、などが考えられるが、いずれにしても「最良経路の実現」を目指して経路選択が行なわれると考えて良い。

この「最良経路の実現」の考え方が経路選択モデルであり、その実現された経路が原始評価値となるべきである。即ち、(1)原始評価値は行動者が最小化を図ろうとする指標値と合致させることが適当であり（行動者の価値観との一致必要性）、また、(2)経路選択モデルは原始評価値を最小にしようとするモデルであることが適当である（行動者と同様の経路選択行動性向に基づくモデル）。

一般論として、原始評価値はリンクごとに割り振ることが可能である（例えば距離、通過時間など）、より厳密に考えればノードにおいても評価値を割り振る（例えば自動車の行動であったら右折は時間ロスを含むなど）ことも考えられるが、基本道路ネットワークの設定条件から、この考え方はとらないこととする。（なお、交差点の隅切り状態の考慮としての交差点の方向別接続状況リンクを設定することは可能であるから、リンクに置き換えての原始評価値を設定すれば表現はできる。）原始評価値をリンクに割り振ることができれば、経路検索モデルは最短経路検索モデルを用いることができる。

従って、経路検索モデルは最短経路検索モデルを用い、原始評価値は最短経路の距離（単位は長さ、時間など）とする。

(2)原始評価値モデルについて

原始評価値はリンクごとに割り振ることとしたが、原始評価値として想定するものとしては、行動者の価値観をイメージして、以下のように考えた。なお、閉塞リンクはいずれの場合も無限大（プログラム上は非常に大きな数）と設定することにより、最短経路探索との整合性を確保することとした。

(a)移動距離

【考え方】

人、車ともに、最も短い経路を選択するという一般的な考え方に対応。

【計算される原始評価値】

リンク原始評価値 = L （リンク距離 m ）

計算結果は移動した道則に相当し、意味は明解である。

(b)移動時間

【考え方】

人、車ともに、最も短い時間の経路を選択するという一般的な考え方に対応。但し、モデル上、混雑などによる速度低下は計算できない。

【計算される原始評価値】

移動に要した時間に相当し、意味は明解である。

ケガ人の移動

【考え方】

ケガ人は通行可能幅員 0.75m が確保されている経路を完全情報で移動するとしている。このため、移動速度を想定すれば計算可能である。人の移動速度は 80m / 分程度といわれるが、例えば、この半分程度を想定すればよいと考えられる。

【計算される原始評価値】

リンク原始評価値(分) = L (リンク距離 m) / 40 (m / 分)

なお、(a)の距離に単純に比例するので、通過する経路は一致し、評価結果(原始評価値の集計後)も比例関係になる。

健常者の移動 1

【考え方】

健常者は通行可能幅員 - 1m (瓦礫乗り越え高 1.5m) が確保されている経路を逐次情報もしくは完全情報で移動するとしている。瓦礫乗り越えによる時間ロスを考慮しないとすれば、移動速度を想定し計算可能である。人の移動速度は 80m / 分程度といわれるので、例えば、これを用いる。

【計算される原始評価値】

リンク原始評価値(分) = L (リンク距離 m) / 80 (m / 分)

なお、(a)の距離に単純に比例するので、通過する経路は一致し、評価結果(原始評価値の集計後)も比例関係になる。

健常者の移動 2 (瓦礫乗り越えの考慮)

【考え方】

健常者にとっても、通行可能幅員 0.75m ~ - 1m (瓦礫乗り越え高 0 ~ 1.5m) については、移動には余分な時間と労苦を要するので、速度低下を考慮する。移動者は、逐次情報であっても最大瓦礫高 1.5m 未満であるので、当該リンクの終点ノードまで見通して瓦礫高と乗り越えるべき距離についての情報を取得できると考えられる。

しかし、計算速度向上のため、閉塞単位を半リンクとし、半リンク閉塞状況を閉塞・非閉塞の 2 区分としたため、例えば「瓦礫が押し寄せて幅が狭くなっている」という状況はモデル計算上表現されない。この制約のため、速度設定などのリンク原始評価値の設定は、閉塞なしの基本ネットワーク条件に対して設定するしかできない形となったため、このモデルは採用不可能である。但し、ケース設定方式を、棟別に乱数を割り振り、全ての建築物に想定瓦礫長を割り振る形式に修正すれば、速度低下モデルは利用可能である。

【計算される原始評価値】

プログラムの形式上現在モデルでは設定不能

車の移動 1

【考え方】

車は通行可能幅員 2m (小型車) 又は 3m (大型車) が確保されている経路(幹線道路と地点の間)を完全情報で移動するとしている。市街地内の細街路であり、幅員による速度の変化、瓦礫の存在による狭窄化の影響を考慮しないとすれば、移動速度を想定し計算可能である。車の移動速度は例えば 15 km/h とすれば、250m / 分で計算すればよい。

【計算される原始評価値】

$$\text{リンク原始評価値(分)} = L (\text{リンク距離m}) / 250 (\text{m / 分})$$

なお、(1)の距離に単純に比例するので、通過する経路は一致し、評価結果(原始評価値の集計後)も比例関係になる。

車の移動 2

【考え方】

で示したようにモデル上、瓦礫の存在による狭窄化の影響の考慮は困難なため、幅員による速度の変化を反映させる。車は幅員が狭い道路ほど徐行せざるを得ない。また、幹線道路を起終点とするので検索モデル上の幅員は最大でも 12m と想定される。ここで、道路幅員と速度が一次式の関係にあると仮定し、幅員 3m で 9 km/h、幅員 12m で 36 km/h と仮定すれば、速度は $50 \times \text{幅員} (\text{m / 分})$ で計算すればよい。

【計算される原始評価値】

$$\text{リンク原始評価値(分)} = L (\text{リンク距離m}) / (50 \times \text{幅員 (m)})$$

車の移動 3

【考え方】

の理由から「瓦礫の存在による狭窄化の影響の考慮を考慮した評価」は現モデルでは採用できないが、ケース設定方式を棟別に乱数を割り振り、全ての建築物に想定瓦礫長を割り振る形式に修正すれば、狭窄化による速度低下モデルは利用可能である。この場合(d)の形式の速度関数をそのまま「瓦礫の存在による狭窄幅」に適用すれば良いと考えられる。なお、当該速度になるのはその場所限りであるが、加減速を要するのでリンク幅員から設定される速度と狭窄化位置の速度の関係から、速度低下区間(又は時間ロス)を記述する新たなモデルが必要となる。

【計算される原始評価値】

プログラムの形式上現在モデルでは設定不能

(c)安全経路の志向

【考え方】

「二次被害からの避難行動」は、余震による地震被害からの安全性を求めて公園や広い道路に向かう行動として想定し、移動主体は健常者、通行可能幅員 - 1m (瓦礫乗り越え高 1.5m) の確保、経路情報は逐次情報としている。

この移動は、移動目的からして、(1)移動中の罹災を恐れ建築物から離れようとするため広い安全な道を選びその中央を歩く、(2)閉塞してなさそうな経路を選ぶ、という2つの意志が働き、広い安全な道路を選好すると考えられる。

このため、防災施策としては避難軸となる広い道路の整備も想定される。

人の安全避難 1

【考え方】

この広い安全な道の選好傾向は研究困難であるが、リンク毎の単位時間当たり罹災確率は閉塞確率 \times 定数として与えられると考えられるので、距離の代わりに閉塞確率 \times 通過時間、又は同じ経路選択となる閉塞確率 \times 距離を用いることが考えられる。

【計算される原始評価値】

$$\text{リンク原始評価値(危険指数)} = L (\text{リンク距離m}) \times \text{リンク閉塞確率} \\ (\text{プログラムの形式(評価関数)上、現プログラムでは設定不能})$$

人の安全避難 2

【考え方】

移動にあたっての、広い安全な道の選好傾向は、実際は幅員程度しか考慮されないと思われる。このため、単純に幅員を変数とすることも考えられる。例えば、瓦礫長は幅員 + 1mまで避難者は通行可能なのであるから、この数値を選好関数と置くということも考えられる。

【計算される原始評価値】

$$\text{リンク原始評価値(危険指数)} = L (\text{リンク距離} m) / (\text{幅員}(m) + 1)$$

これらリンクごとの原始評価値は、評価目的に応じて使い分けことが考えられるため、想定できる原始評価値の多くを再現できる設定関数として、以下の評価関数を検索プロ倉むん組み込んだ。

$$\text{評価関数 } L = L((W + \quad))$$

なお、評価のわかりやすさの観点から、基本は距離、または、時間（複合ケースの場合、主体別の速度を設定する）にすべきと考えられる。

(3)通過速度低下モデル（健常者の移動の原始評価値）

健常者の移動に関する瓦礫乗り越えを考慮するため、原始評価値に算定に用いる速度低下モデルを作成した。速度低下モデルは新規に作成せず、既存成果・既存資料をもとに、一部修正を加えて作成するものとした。

しかし、計算速度向上のため、閉塞単位を半リンクとし、半リンク閉塞状況を閉塞・非閉塞の2区分としたため、例えば「瓦礫が押し寄せて幅が狭くなっている」という状況はモデル計算上表現されない。この制約のため、速度設定などのリンク原始評価値の設定は、閉塞なしの基本ネットワーク条件に対して設定するしかできない形となったため、最終形では採用していない。（1箇所最大時間口スは9秒であり、大きな影響はないと思われる。）

なお、ケース設定方式を、棟別に乱数を割り振り、全ての建築物に想定瓦礫長を割り振る形式に修正すれば、速度低下モデルは利用可能である。

(a)速度低下モデルに求められる仕様と構成要素

速度低下モデルに求められる仕様

速度低下モデルに求められる仕様は以下の通り

- ・閉塞モデルにより再現された状況について別個に速度を表せること。特に建物および道路状況から想定される閉塞状況については乗り越えの観点から検討する必要がある。
- ・他の要因による閉塞については事例から速度を設定することも必要となると考えられる(例えば、東京消防庁の速度低下式)が地区一律の速度低下は原始評価値モデルに組み込む必要はなく、最終的な評価値に一律にかければよいので、ここでは検討しない。

速度低下モデルの構成要素

通過速度低下モデルについては、以下の3つの要素がある。

- ・速度低下を引き起こす状況の発生程度
- ・速度が低下する区間の設定
- ・状況による速度低下の程度

(b)速度低下を引き起こす状況の発生程度と区間の設定

健常者の移動において、瓦礫流出による通行可能幅員 0.75m ~ - 1m（瓦礫乗り越え高 0 ~ 1.5m）

については、移動には余分な時間と労苦を要するので、この部分を速度低下の対象とする。なお、移動者は、逐次情報であっても最大瓦礫高 1.5m未満であるので、当該リンクの終点ノードまで見通して瓦礫高と乗り越えるべき距離についての情報を取得できると考えられる。

速度低下区間の設定（瓦礫形状モデルの拡張）

瓦礫形状の道路横断方向は、安定勾配を想定して三角形とし、その勾配は、

$$\text{瓦礫高さ} = \text{自由瓦礫長} \times 0.6651$$

で与えられるとした。道路縦断方向についても、安定勾配は同様と考えられる。

また、区間長としては、通行幅員内で最も長い場所（瓦礫発生建物に近い場所）で計測するとすると、以下の通りとなる。

速度低下区間長 = 反対道路端から 0.75m 場所での瓦礫縦断長

（複数棟倒壊も単独棟倒壊に置き換えて表現）

$$= 0.75\text{m 場所での瓦礫高さ} / 0.6651 \times 2 \text{ (登り部と降り部)}$$

$$= \begin{cases} (0.75 - \text{通行可能幅員}) \times 2 & : \text{通行可能幅員 } 0.75\text{m} \sim -0.75\text{m} \\ \text{通行可能幅員} \times 4 & : \text{通行可能幅員 } -0.75\text{m} \sim -1\text{m} \end{cases}$$

従って、乗越想定瓦礫 1 箇所あたりの延長は最大 4m である。

速度低下を引き起こす状況の発生程度

この考え方に基づく状況の発生程度と区間は、リンク閉塞の設定（対健常者）を次の手順によることで取得できる。

1. 棟別に乱数を割り当てて、瓦礫長モデルから棟別通行可能幅員を決める。
2. リンク全体で棟別通行可能幅員 < -1m の有無の確認し、存在すれば閉塞とする。
3. 存在しない場合は、リンクにおける棟別通行可能幅員 0.75m ~ -1m の各延長を求める。
4. 求めた棟別通行可能幅員から速度低下区間長を計算し合計する。

(c)速度低下の程度の検討

速度低下についての既存検討としては以下のものがあり、速度低下は 1/2 程度（登山で 1/4）であるが、瓦礫乗越えという状態なので 1/4 を用いることとする。

東京消防庁での検討

災害時の速度低下モデルとしては、東京消防庁の検討はあるものの他に検討事例はない。また、当該検討もリンク毎に速度低下を検討するものではなくゾーン単位で速度低下率を設定するものとなっている。

東京消防庁の検討では、建物倒壊やブロック塀倒壊放置自転車等の障害物による道路遮蔽により有効道路面積が減少し、避難者による道路混雑で避難速度が低下するというモデルとなっている。

従って速度の低下は群衆密度（人/m²）を説明変数とする速度低減率曲線によっている。

ただし、液状化については速度低減率を直接与えており、速度低下率設定の参考となる。

液状化による速度低減率

- ・ 広範に液状化が発生する可能性が大きい 0.65
- ・ 一部の地域で液状化が発生する可能性がある 0.85
- ・ ほとんど液状化は発生しない 1.00

なお、基準速度は 昼間 90m/分 夜間 60m/分と比較的高速となっている。

その他の事例

地盤状況の悪い場所での移動速度ということでは、登山での速度設定が参考になる。登山の速度に

ついでの詳細な検討を調査中であるが、概略の記述では以下のようになっている。

登り 1 km/h

尾根道 2 km/h

林道 4 km/h

また、柔らかい地盤の所では通常より 1.5 倍のエネルギーを消費し、また砂地では 1.8 倍のエネルギーを消費するとされている。

建設省建築研究所での検討

建設省建築研究所の過年度検討では次のような結果が得られている。

群集流の観測に基づく避難施設の研究

表 2.2.12 歩行速度実測値及び代表値

歩行速度実測値及び代表値
Synthetic general value and actual survey value of walking velocity

水平歩行 Level walkig	条件 Condition		摘要	歩行速度 m/sec	代表値 m/sec S.G.Value
単独 Individual	昭26.5~9月 晴天 May 1951~Sep. clear weather 通勤時駅構内、及駅近傍舗装路、 及コンクリート床面、服装、洋服、 靴、鞆類持ツ		速 High	1.750 ± 0.150	1.3
			並 Normal	1.400 ± 0.100	
			遅 Low	1.100 ± 0.200	
			速 High	1.500 ± 0.200	
群集 Multitude	同上群集		0.8 ~ 1.4人/m ² Density	1.000 ± 0.100	1.0
	滞留状態ニ於ケル密度ト前進速度 Move in a close formation		4.0	0.110	
			6.0	0.100	
			7.0	0.097	
			8.0	0.093	
			9.0	0.090	
			10.5	0.078	
12.3	0.072				
階段歩行 Staircase way	勾配 Gradient	踏面×蹴上 Tread × Riser	斜面長/sec length of incline per sec.	水平長/sec Length level per sec.	代表値 m/sec S.G.Price
単独 Individual	34 °	300 × 200	0.720	0.600	0.65
	28 °	340 × 180	0.690	0.624	
	27 °	324 × 163	0.730	0.647	
	24 °	330 × 150	0.777	0.708	
	16 °	680 × 120	1.390	1.270	
群集 Multitude	34 °	300 × 200	0.600	0.500	0.5
	28 °	340 × 180	0.554	0.498	
	27 °	324 × 163	0.584	0.518	
	24 °	330 × 150	0.605	0.550	
	16 °	680 × 120	1.110	1.120	

(4)経路選択に係る情報取得について

到達ルートを探索する経路探索モデルについては以下の課題がある。

- ・完全情報とするか、不完全情報とするか。(避難者が閉塞についての情報を最初から保持しているかどうか。)
- ・避難者が完全情報を持っているとした場合、情報を持っていないとした場合、それぞれ場面に応じた人間行動のシミュレートとしてメリット・デメリットがある。

このため、地震閉塞が発生し、ある程度の時間を経た後の行動は経路情報完全情報、比較的短期に発生する行動は経路情報逐次更新型とすることとした。

経路情報逐次更新型については、「出発時点では不完全な情報しかもたないが、途中で情報を取得するもの」とするが、以下の検討を経て、表 2.5.2 の方法とすることとした。

表 2.2.13 道路閉塞情報の取得方法

道路閉塞情報の取得方法	説	明
「経路情報逐次更新」型	移動主体は移動開始時点では道路閉塞の情報を全く持たずに出発し、道路閉塞に出会った時に、はじめて道路閉塞の情報を得るものとする。	
「経路情報完全情報」型	移動主体は移動開始時点で全ての道路閉塞の情報を得ているものとする。	

(a)経路選択モデルに求められる条件

閉塞情報の共有化が評価できること

不完全な情報しか持たずに避難を開始し、避難途上で閉塞に合う度に、再度避難経路を探索するのは、避難者個人で状況を把握していくことを表現している。その場合避難者同士の情報交換が評価できていない。実際の避難では避難者同士の情報交換による状況の認知があり、この情報入手が評価されていることも重要である。しかし、再現性の精度、算定の容易性を考慮しながら再現可能性の検討が求められた。

算定の容易性

最も処理に時間がかかるのは経路探索モデルによる処理の段階と考えられる。

不完全情報によるシミュレーションでは閉塞状況にぶつかるたびに新たにルートサーチを行う。さらに情報交換による情報取得を反映するとすれば常に条件が変わるため、膨大な回数のルートサーチを繰り返す必要があり、算定に手間がかかる。

実用性の面で考慮が必要である。

算定された所要時間の妥当性

地区条件とそこから算定された所要時間の妥当性を検証する必要がある。

(b)経路探索モデル

経路探索モデルについては、避難者が閉塞等についての情報を全く持たないで避難するという仮定はかなりきつめの仮定であるとの指摘があった。

しかし、逆に、避難者が閉塞等について完全な情報を持つと想定することにも無理がある。そこで、避難開始時点では情報を持たないが、避難途中で情報を取得するというモデル化を想定した。

また、避難時における情報取得には様々なパターンがある。避難者自身だけで閉塞等の地区情報を取得する場合には、避難中に閉塞状況に遭遇したり、各交差点で接続する道路を見通して情報を得ることが考えられる。さらに、他の避難者と遭遇してそれぞれの情報を共有することによる情報の取得が考えられる。

これら全ての情報取得状況をシミュレートすることはシステム自体の複雑性や演算時間の拡大等から困難と考えられる。特に、他の避難者と遭遇した場合、どのような情報が得られるか想定できない。得られる情報を乱数で設定するシミュレーションを繰り返すと演算時間は膨大なものとなる。

【シミュレーションの考え方 例】

シミュレーション的には、以下のように行うことを考える。

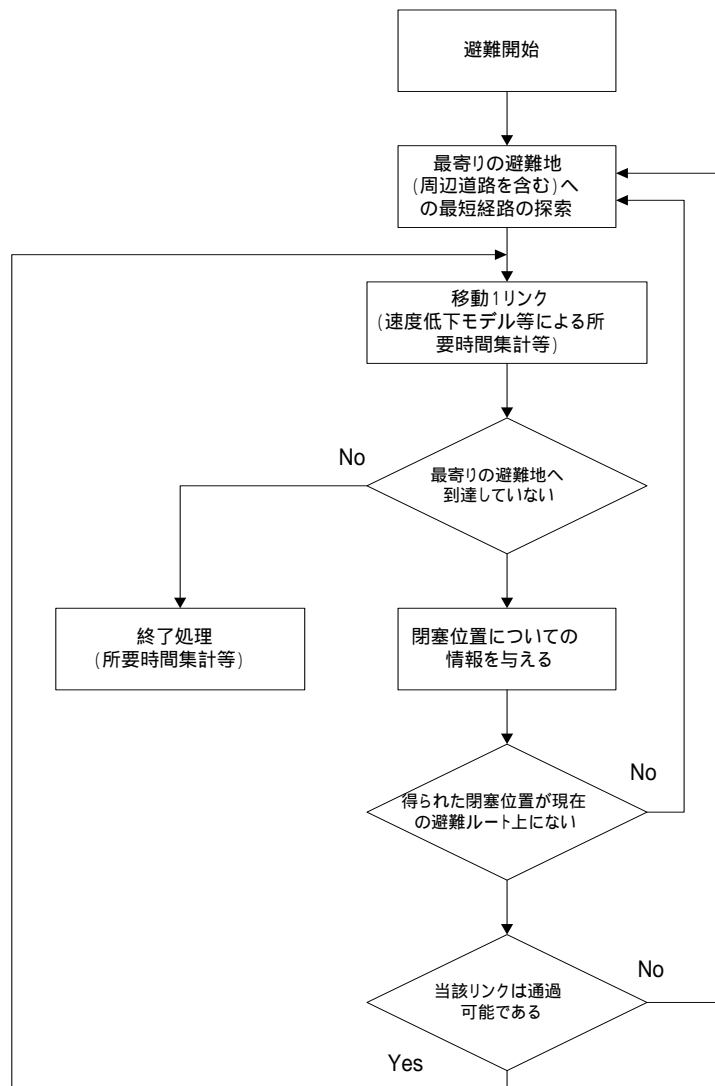


図 2.2.39 経路情報逐次更新型のアルゴリズム例

ルート探索はリンクで構成されるネットワーク上で行われる。移動1リンク毎に情報が得られるものとする。すなわち、各交叉点において情報が得られるものとする。

また、当該通過リンクに辻広場（比較的小規模なもの）があればさらに多量の情報が得られるものとするとも考えられる。得られる情報は閉塞個所の位置についての情報とする。

もし、この閉塞情報が初期の避難ルート上にあれば、避難ルートを探し直し、そうでなければ避難ルートを進み、新たな情報を得る。また、避難中に閉塞リンクに出会えば、それまで知った全ての情報を含めて再度避難ルートの探索を行う。

2.2.6 評価値の考え方とモンテカルロシミュレーション

(1)行動可能性の評価値：モンテカルロシミュレーション結果の評価

理論的には、ネットワーク上の全リンクの街路閉塞の有無に関して、全ケースの原始評価値の計算及びその集計は可能であるが、ネットワークが大きくなれば等比級数的に計算回数が増加する。

例えば100リンク程度であっても、1つの起終点間に関しても 2^{100} ケースの経路探索が必要となり、現実的でない。このため、モンテカルロシミュレーションによってケース設定を行いその原始評価値の計算を行うこととしている。従って、各原始評価値に対応させる発生確率は同一(1/試行回数)となる。

また、各建物に関しての計算についても計算量が大きくなるが、同一リンクの各建物に関しては、他のネットワーク条件は同じなので、単一の評価値を示すとともに、リンク内における孤立の確率を示すことによって、評価ができると考えられる。このため、代表値(リンク中心)による評価と、リンク評価(1リンクで2箇所以上の閉塞確率)を行うものとしている。

このような考え方で得られる、リンク代表値(各家屋に対応)としての評価値は、原始評価値の集合として与えられる。この原始評価値集合は、そのままでは判断困難であるので、以下のように整理して評価すれば良いと考えられる。

(a)評価値(原始評価値集合)の振る舞いについて

原始評価値を与える各シミュレーションケースは互いに独立であり、順番を入れ替えてもその意味は変わらない。(但し、評価する2地点相互の関係が重要な場合(例えば2つの消防水利のいずれかが利用できる可能性を検討する場合など)は、ケースごとの対応関係を比較する必要があり、互いに無関係に順番を入れ替えることは適当ではない。)

従って、原始評価値を短い順に並べ、横軸を「短い方からの順位/試行回数」、縦軸を到達距離とすれば、横軸が距離に係る累積到達確率を示すグラフが得られる。そのグラフは、下図のようになる。

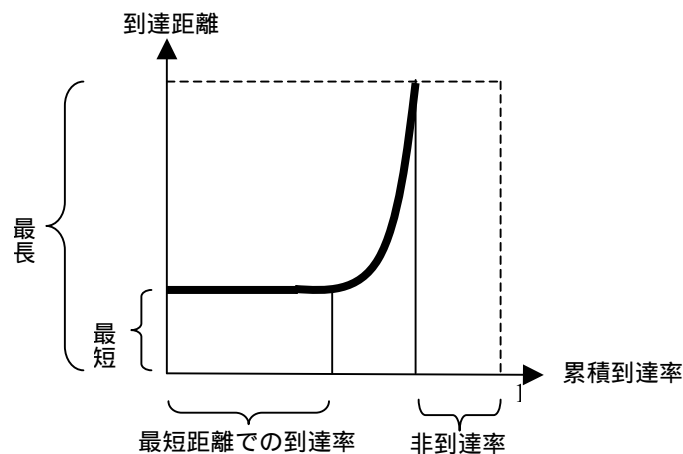


図 2.2.40 累積到達率グラフ

このうち、最短距離及び最短距離での到達確率は、モンテカルロシミュレーションによらなくとも(モンテカルロシミュレーションによる誤差を含まない)確定数として計算容易である。

最短距離 = 全てのリンクが非閉塞時の最短の距離

最短距離到達確率 = 最短距離の経路の各リンクの非閉塞確率の積

また、モデルの性質上、リンク閉塞確率は、(地震動 0 の場合を除いて) 建築物がないリンク以外では 0 にならないので、評価される対象としてのリンク代表値はでの非到達確率は、(モンテカルロシミュレーションによる誤差を含まない) 確定数としては 0 にならない。(シミュレーション結果として 0 になることはある。)

従って、一般的に用いられることの多い「平均値」については に発散して、意味を持たない。また、例えば、非到達時を除いた平均値といった数値は計算可能であるが、直感的に何を示す指標であるかが明らかでない。この意味で、確率分布をもつ評価値のグラフについて、判別しやすいように 1 つの値で示そうとする場合、確率値にからんだ評価がなされることが適当と考えられる。

このような観点から、このグラフで示される、距離等の分布に関しては、以下のような分析・評価の観点が考えられる。

非到達確率

当該地点の安全性等の評価にあたっての基本的な指標値である。アクティビティシミュレーションの目的とする行動が可能かどうかの判断基準となる。この確率を小さくすることを目標に施策を行うことが基本であり、その水準としてはその他の地区等との比較によって、10%以下、5%以下、1%以下などの目標設定が考えられる。

非到達確率については、直前のリンクの両側が閉塞される場合(行き止まり道路で閉塞が起こる場合を含む。リンク改善が必要)と、左右いずれかのノードには達するがネットワークが不良なため非到達となる場合(ネットワーク(=他のリンク)の改善が必要)に区分して検討することが必要である。このため、リンク評価指標を設定した。

最短距離での到達確率

最短距離での到達確率は、最良のルートが確保できるかという観点である。ただし、道路についてはネットワーク効果が期待されることから、必ずしも確保される必要はない。一時避難場所(又は救護所)から幹線道路など、極めて重要な経路についてのみ、この確率の確保を考えるべきであろう。(ただし、最短ではないが太い道路などの分かりやすい経路が確保できるなら、それで十分である)

この到達確率については、これを構成する各リンクの閉塞確率を低くすること(道路の拡幅、沿道建築物の堅牢化など)によって確保できる。

50%値(距離)、75%値(距離)、90%値(距離)、95%値(距離)など

非到達確率が十分に低い場合にあっては、サービス水準指標として、地震での閉塞時に、どれだけの迂回を強いられるかが評価指標となる。この場合、2回に1回起こる到達距離(50%値)、5%程度起こる到達距離(95%値)などといった区切りの確率で水準を比較することが一般的である。また、その値も絶対値(到達時間に対応)、最短距離との差(迂回時間に相当)、比(迂回の程度に相当)などによる評価が考えられる。

この改善方法は、ネットワーク改善であり、主要な経路を構成する各リンクのうち、閉塞確率が最も高いリンクの改善などによって、向上が図れる。

特定距離以内での到達確率

例えば「10分以内避難」といった目標値が与えられる場合、それ以下の時間で到達できない確率をもって評価することが考えられる。ただし、この場合、「目的地から遠い」というシミュレーションを行わなくとも判る理由に大きく左右される。従って、地域の状況のバランス感覚によって適切に目標値を設定する必要がある。この改善も と同様に検討できる。

(2) 評価値の大小の判断

行動可能性指標中でもっとも重要と考えられる非到達確率は0にはなり得ないし、行動必要性指標についても、計算式(=モデル)上は地震動0以外では0にはならない。

安全性確保という立場では、いずれの指標値も0を目指すという考え方もあり得るが、0にはなり得ないから、その値は相対的に用いるべきである。

< 各評価指標の数値の位置づけ・意味づけの方法論 >

各評価項目に関する指標は、基本的に確率値が算定されるだけであり、その確率値がどの程度であれば(一応)安全と判定し、どの程度だと危険(性が高い)と判定するかの基準は存在しない。例えば、「1%以下なら一応安全と思える」とか「50%を超えたらとても危険」という感じはするが、この判定基準は明らかでない。例えば1%であっても100棟あれば1棟程度は被害を受けると言う意味でもあり、明解な基準は示しえない。しかしながら、実際の適用時には「何らかの評価基準となるものが必要」との意見があるものと考えられる。

この観点から、評価基準となりうるものには概ね以下の2つが考えられる。

目標基準の決定

安全、危険の絶対的基準を設定することは困難である。しかし、数値とそれの表す状況とが連動していると想定すれば、数値の表す状況の安全度を複数の専門家に評価してもらい、その評価結果を数値の意味、基準とすることが可能とも考えられる。

この場合、どのような専門家をお願いするか(なお、昨今の方法論では専門家ではなく一般の人々に評価してもらうという考え方もあり得る。)どの程度の人数のデータが必要か、評価は複数のケースに順位付けをお願いするか、個々に点数化するか、デルファイ法のように意見を集約する手続きを作るか等に関して検討が必要となる。

この方法については、得られた結果について相当に解釈が必要となると思われること、さらに結果として明快な基準が提起できない可能性があること等の問題がある。

また、この結果は、例えば人口10万の都市で兵庫県南部地震並みの大震災が起こった場合、被害者が何人以下に抑えられる場合は一応安全といった目標基準を置くことであり、そのような目標基準設定は一般的に行ない得ないと考えられる。

データの蓄積による相対的基準の作成

多数の地区について指標値を算定し、数値とそれが表す状況についてデータの蓄積を行う。これにより、実際に適用する際に特定箇所では把握された数値がどの程度の位置にあるものかが把握され、相対的ではあるが一定の評価が可能となる。

従って、収集するデータは、必ずしも危険性の高い木造密集地域のみならず、相対的に安全度が高いと考えられる戸建住宅地や高層住宅団地、場合によっては住宅地ではなく商業、業務地の値も収集する必要があるかもしれない。

なお、この方法は、あくまで「感覚的に安全そうな地区並み」といった評価である。即ち、担当者が「危険そうな地区の評価値と、安全そうな地区の評価値を見比べて、危険そうな地区を改善することを検討する」という評価基準が示せない場合の方法論の合理化と言える。

この方法は、多量のデータ収集が必要でありコストと手間が必要であるが、結果そのものを解釈したり、操作したりする必要はないこと、直接に安全、危険の基準の設定を行っているわけではないこ

と等から、実施可能性はあると考えられる。しかしながら、これらは各地でのミクロ評価の試行が前提となり、現時点の実施は困難であり、今後の普及後の研究とならざるを得ない。

現在、各種施策は地域の独自性が言われている時代であり、全国的なシビルミニマムとしての安全性（の方法論）の程度が「0に成りえない」という条件の中では提起しえない以上、今研究においては独自の基準を示さず、地域としての相対評価によって評価するという方法論に頼るものとした。

(3) 評価値の統合の可能性

(a) 行動の場面設定毎の必要性指標と困難性指標の統合

行動必要性指標と行動可能性指標は掛け合わせて1本化することが可能である。即ち、行動の必要性がある確率（原因事象の発生確率）と、必要な場合に行動ができない確率（行動時の失敗確率）を掛け合わせれば、困った事態に陥る確率（危険性の確率）が計算できる。この場合、行動可能性指標で掛け合わせるべきものは非到達確率である。

(b) 各指標の総合指標化とその数値の位置づけ・意味

評価指標を最終的に1本にまとめて地区指標とでもいったものを作ることにについては、作成された値の意味の解釈が困難であること、その数値から地区の状況がイメージできないこと等の理由から行わないこととした。

このことからこれ以上総合指標化は必要ないという考え方もありうるが、実際の使い勝手を考えるならば、各アクティビティレベルで総合指標を作ったほうが良いということも考えられる。これは、必ずしも各アクティビティの評価項目、評価指標が並列にあるものではないことにより、イベントツリーの考え方などによって、整理することによって達成できると考えられる。（マクロ評価の指標の統合参照）

しかしながら、この方法は場面設定を1つに絞ることと同じであり、「防災行動の多様性に応じた行動可能性の確保」という本来目的を逸脱することになると考えられるため、行わないこととした。

(4) モンテカルロシミュレーションの繰り返し回数に関して（標本抽出の考え方）

(a) 標本抽出理論に基づく考え方

モンテカルロシミュレーションは全ケースに関して、重複を許した上（無限母集団）での無作為抽出法による標本抽出である。評価値の内でもっとも重要と考えられる非到達確率 p に関しては、標本数（繰り返し回数） n に対し、計測される到達確率 \hat{p} は以下の式で与えられる。

$$\text{期待値 } E(\hat{p}) = p, \quad \text{分散 } V(\hat{p}) = p(1-p)/n$$

ここで、中心極限定理にもとづき正規分布として計算すれば、非到達確率の推計に関し、試行回数と信頼度との関係は、以下のように示せる。

$$95\% \text{ 確率} = p \pm 1.96, \quad 99\% \text{ 確率} = p \pm 2.58$$

そのため、試行回数は表以下の通り。

表 2.2.14 到達確率の目標誤差に対応した試行回数

非到達確率	50.0%	50.0%	50.0%	10.0%	10.0%	10.0%	5.0%	5.0%	1.0%	1.0%
推計における 目標誤差(±)	10.0%	5.0%	2.0%	5.0%	2.0%	1.0%	2.5%	1.0%	0.5%	0.2%
信頼度95%	96回	384回	2401回	138回	864回	3457回	292回	1825回	1521回	9508回
信頼度99%	166回	666回	4160回	240回	1498回	5991回	506回	3162回	2636回	16475回

従って、実用的には、ある程度の精度を確保するには500回(比較的高い非到達確率を求める場合)から2000回程度(低い非到達確率を求める場合)の繰り返し計算が適当と考えられる。

上記は、非到達確率を例示したが、他の指標に関する試行回数についても以下の通りで同様に計算できる。

最短距離の到達確率

非到達確率と同じく、確率の信頼度に基づき試行回数が設定できる。

50%値、95%値など

その計測された値が何%値であるかという信頼度として、同様に試行回数が設定できる。例えば95%値を求めようとして1825回施行した場合、得られた値が94%値~96%値である確率は95%であり、3162回行なえば99%である。

なお、この確率は、計測される94%値~96%値の間に真の95%値が存在する確率とほぼ等しいと考えることもできる。

目標値の達成確率

非到達確率と同じく、確率の信頼度に基づき試行回数が設定できる。

なお、これらについては、いずれも試行回数と得られた確率などの結果から、同じ式によって、その精度(95%信頼区間の幅、±何%に入る確率など)を逆算することができる。

(b) 試行結果からの検討

試行回数に関し、実際のシミュレーション結果のばらつきを(1)の標本抽出理論に基づく考え方の比較によって以下のとおり検討した。

実際の市街地に基づきデータの補足を行ったシミュレーション用地区データに関し、外周道路から各ノードへの到達可能性(必要幅員2m)について2000回の試行を行ない、各ノードへの到達確率の推移を求めた。

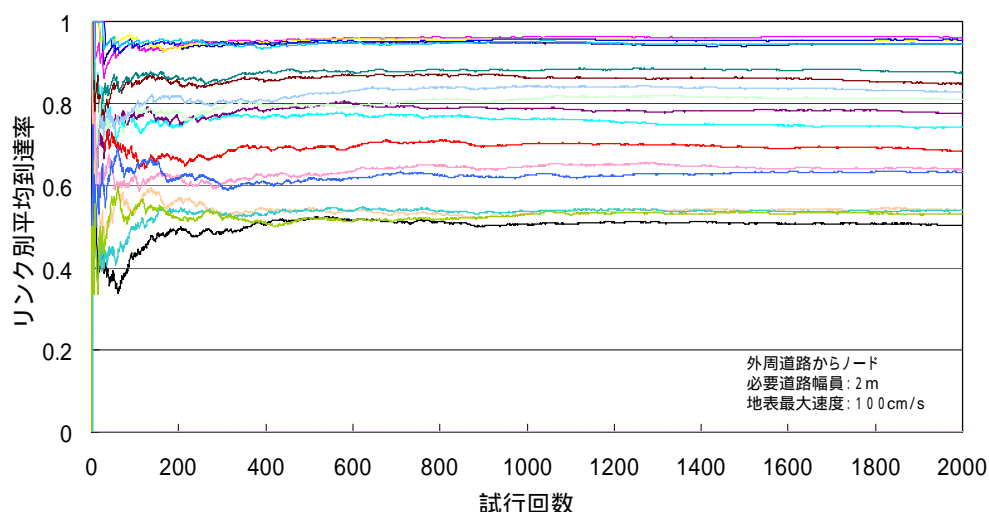


図 2.2.41 到達回数の収束性(20ノードの例示)

2000回試行値の到達確率を真値と仮定して、各到達点(ノード)について、試行回数毎の標本抽出理論に基づく分散値($=p(1-p)/n$)から「標準偏差値」を求めた。

各試行回数での到達確率から、各到達点の 2000 回施行値（仮の真値）を引いたものを、「標準偏差値」で除して標準化した。（標準偏差に対する値の離れの割合を求めた。図参照）

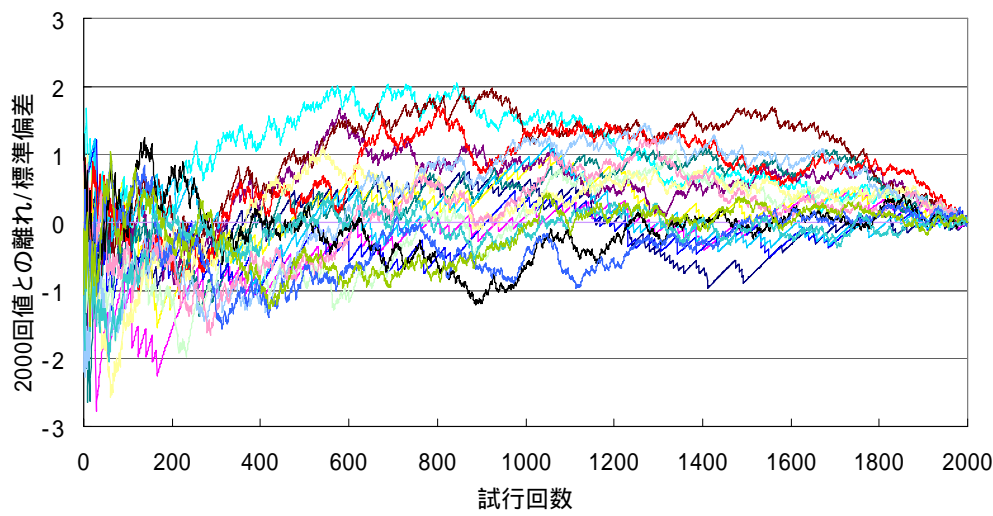


図 2.2.42 標準化後の到達確率のばらつき（20 ノードの例示）

この「標準化した 2000 回試行値との離れ」の、(1)0 に対する標準偏差（自乗値の平均）、(2)平均離れ距離（絶対値の平均）、(3)絶対値が 1 以上になっている確率、を試行回数毎に計算した。図 2.2.43 は全 278 データ（到達確率 0 及び 1 を除いたもの）での結果である。

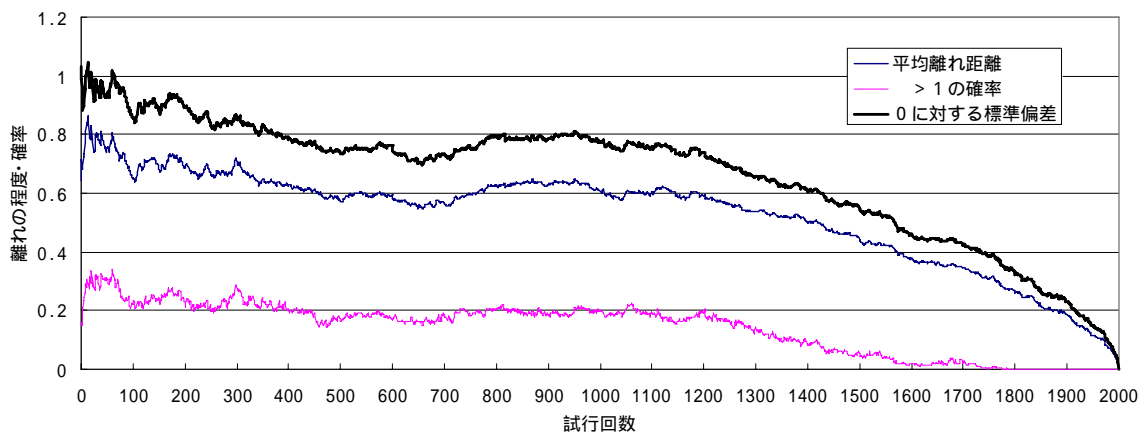


図 2.2.43 標準化後のデータのばらつき

中心極限定理により正規分布であると考えれば、真値との関係は、標準偏差では 1、絶対値が 1 以上になる確率は 32%程度になると考えられる。一方で、この方法では、(1)2000 回値を真値として標準化していること、(2)連続した試行結果の順次の集計値を用いていること、から理想的なデータではないが、傾向に関しては参考になると考えられる。

この結果を見ると、1200 回程度から極端に率が下がってきている（この点はデータ特性による傾向と考えられる）が、概ね 100 回以上からは各値とも安定してきている。この検討によって、以下のことが明らかになった。

- ・ 試行回数については、「標本抽出理論に基づく考え方」に基づき決定することで問題はないと考

えて良いと思われる。

- ・その試行回数は、少なくとも 100 回以上程度を確保することが適当である。
- ・モンテカルロシミュレーション結果の値と真値との関係として、計測値が標準偏差以上は離れる確率は 20%程度、また計測値と真値との離れの平均値も標準偏差の 60%程度あり、試行回数決定にあたってはその点を勘案する必要がある。

2.2.7 評価値と施策の対応

評価は市街地整備施策が適切に反映される必要がある。この節では、評価手法がこれら施策の効果を適切に反映できるか、また、評価手法のプロセスから防災性向上にかかる適切な施策の検討にどのように活用できるかを検討した（図 2.2.20 参照）。

評価を行う手順は、道路閉塞の原因を建物レベルで設定し、これを道路ネットワーク評価に反映させるものである。この評価結果を改善するためには、この手順を逆転し、原因にさかのぼることによって問題箇所を探し、この改善を検討するという形で整理できる。

(1)ミクロレベル防災性評価手法による市街地整備内容の評価可能性検証

これまで記述してきたミクロレベルの防災性評価手法によって、密集市街地の防災性向上整備内容が評価できるのかどうかを検証する。

(a)防災性の向上に向けた市街地整備

物的防災力の向上（まちの整備）における都市施設整備

物的防災力の向上（まちの整備）における都市施設整備項目を示したものが次表である。地区施設等に相当する施設についての概ねの整備内容が示されていると考えられるが、この内、今回の評価対象とならないものを横線で消している。具体的には、室内の整備項目（建物内の整備は地区施設等に含まない）や地区施設と考えられない設備（消火器具や救命用具等）の整備項目である。これらを除いた整備内容が地区において行われた場合の効果が今回検討している評価手法によって評価される必要がある。

表 2.2.15 物的防災力の向上（まちの整備）における都市施設整備

	家づくり	道づくり	施設づくり	広場づくり	みどりづくり	防災設備づくり
「家」のスケール (50 ~ 300 m ²)	・室内の安全化 ・建物の不燃化・難燃化 ・建物の耐震化 ・ブロック塀の撤去・安全化	・路地の整備 (通り抜け可) ・前面道路の確保 (最低 4m 幅員) ・防災通路の整備 (2 方向避難化)			・庭木の保全育成 ・生垣の保全育成 ・井戸の保全	・消火器の設置 ・雨水の貯留 ・防災用具 ・非常持ち出し袋 ・食料・水の備蓄 ・ソーラーシステム温 水器
「街区」のスケール (0.5 ~ 1ha)	・建物の共同化 ・協調建て替え ・裏宅地の解消 ・木造アパートの更新・不燃化 ・マンションの建設・建替え ・公開空地の創出	・区画街路の整備 (標準 6m 幅員) ・狭隘道路の整備 (隅切り) ・歩道確保 (セツトバック) (電柱後退)	・街路灯のツリー化	・防災活動広場(児童遊園・ポケットパーク) ・公開空地 (100 ~ 300 m ²)	・井戸づくり ・生垣の普及	・街灯消火器 ・消火栓 ・ミニ消火貯水槽(裏路専・雨水槽)(3~5 m ²) ・防水ポンプとホース ・中水道
「まち」スケール (10 ~ 30ha)	・団地の更新 (地域への公開) ・商店街の整備 (落下物対策) (協調建て替え) (共同建て替え)	・地区防災道路の整備・拡幅(標準 12メートル幅員) ・歩道の整備拡幅バリアフリー化 ・遊歩道の整備 (標準 8m 幅員) ・ショッピングモールの整備 ・路上駐輪車規制	・公共公益施設の不燃化耐震化 ・バリアフリー化 (集会所・診療所) ・防災案内板 (コミュニティ・ボード) ・広域避難サイン	・防災活動広場 ・一時集合場所 ・(近隣公園・児童公園・社寺境内・工場跡地等) (500 ~ 3000 m ²) ・公園灯のソーラー化	・井戸づくり ・水辺の保全回復 ・街路樹の育成 ・社・寺公園の緑化・植樹 ・市民農園の整備 ・主のある空間づくり ・生産緑地	・救助資器材置場 ・防災備蓄倉庫 ・可搬ポンプ ・大型消火器 ・耐震貯水槽 (40 m ³ 以上) ・自然水利の確保 (河川の回復) ・情報伝達機器 (同報無線等)

防災まちづくりハンドブック「防災生活圏モデル事業計画調査報告書 東京都都市計画局、昭和 60 年」より修正、作成。

防災性向上整備内容と評価方法

物的防災力の向上（まちの整備）における都市施設整備項目の内、今回作成する評価手法で評価されるべき項目が、これまで検討してきた評価手法により評価可能であるか、また可能であるとすればどのようにするかについてとりまとめたものが次の表である。

表の左から3欄が整備の内容であり、4欄目が整備内容が反映されるべき観点としての評価すべき内容を示している。次いで、評価可能であるかどうかの判定を行ない、どのように条件を設定すれば評価可能か、どのように反映されるかを示している。最後に評価できない、もしくは一部のみ評価できない場合の理由を記した。

結果として、地区施設等の整備内容はこれまで検討してきた評価手法により、重要なものは全て、また他も大部分は評価可能との結論を得た。

表 2.2.16 防災性向上整備内容と評価方法（マイクロ評価の活用）

空間スケール	整備種類	整備内容	評価すべき内容	マイクロシミュレーション		備考
				変数項目	評価結果への反映	
家のスケール	家づくり	建物の耐震化	個別建物の強度	個別建物の建築年代、構造データに反映	前面道路の閉塞確率が減少し、通行の容易化が移動モデルに反映される。	データ構成上は組み込み可能であるが、評価を評価に絡り込むことは現時点ではモデルの精度を超える、またデータ取得上も困難。
		ブロック塀の撤去・安全化	個別建物のブロック塀等の倒壊率	× インプットデータ外		
	道づくり	路地の整備（通り抜け化）	道路の追加	当該箇所のリンクデータに反映	前面道路の両方向通行が移動モデルに反映され移動確率、距離が向上。	
		前面道路の確保（最低4m）	街路幅員	当該箇所のリンクデータに反映	前面道路の閉塞確率が減少し、通行の容易化が移動モデルに反映される。	
みどりづくり	防災道路の整備（二方向避難化）	道路の追加	当該箇所のリンクデータに反映	前面道路の両方向通行が移動モデルに反映され移動確率、距離が向上。		
街区のスケール	家づくり	生地の保全育成	個別建物のブロック塀等の倒壊率	× インプットデータ外		データ構成上は組み込み可能であるが、評価を評価に絡り込むことは現時点ではモデルの精度を超える、またデータ取得上も困難。
		井戸の保全	消防水利	具体箇所の消防水利としてカウント	周辺の消火可能性の向上として反映	
		建物の共同化	個別建物の強度	個別建物の建築年代、構造データに反映	前面道路の閉塞確率が減少し、通行の容易化が移動モデルに反映される。	
		協調建替え	個別建物の強度	個別建物の建築年代、構造データに反映	前面道路の閉塞確率が減少し、通行の容易化が移動モデルに反映される。	
		農宅地の解消	道路の追加	当該箇所のリンクデータに反映	前面道路の両方向通行が移動モデルに反映され移動確率、距離が向上。	
		木造アパートの更新	個別建物の強度	個別建物の建築年代、構造データに反映	前面道路の閉塞確率が減少し、通行の容易化が移動モデルに反映される。	
	道づくり	マンションの建設・建替え	個別建物の強度	個別建物の建築年代、構造データに反映	前面道路の閉塞確率が減少し、通行の容易化が移動モデルに反映される。	
		帯状公開空地	帯状公開空地	当該箇所のリンクデータに反映	前面道路の閉塞確率が減少し、通行の容易化が移動モデルに反映される。	
		公開空地の創出・セットバック	道路から建物の離れの確保	道路閉塞モデルの瓦礫出発点に反映	当該箇所の閉塞確率が減少し、通行の容易化が移動モデルに反映される。	
		区画街路の整備（標準6m幅員）	街路幅員	当該箇所のリンクデータに反映	前面道路の閉塞確率が減少し、通行の容易化が移動モデルに反映される。	
みどりづくり	狭路道の整備（隔切）	交叉点形状	ネットワークデータとして組み込むことは可能		ネットワーク構成として組み込み可能であるが、現況の隔切り状態のデータ取得が困難と思われるため基本形のネットとはしていない。（地区全体の隔切りを加えるとモジュール容量を超えるおそれがある。）	
	歩道確保（セトバック・電柱後退）	街路幅員	セトバックは道路閉塞モデルの瓦礫出発点に反映	当該箇所の閉塞確率が減少し移動確率、距離が向上	通行困難性の観点から電柱を評価に絡り込むことは本モデルの精度を超える、またデータ取得上も困難。（最初から道路幅員を減じて表現するなどの工夫は可能）	
	防災活動広場（児童遊園、ネットワー・公開空間100～300㎡）	一時避難場所	一時避難場所、教護所として反映	周辺の避難等の容易性（確率、距離）に反映		
	井戸づくり	消防水利	具体箇所の消防水利としてカウント	周辺の消火可能性の向上として反映		
まちのスケール	家づくり	生地の普及	建物のブロック塀等の倒壊率	× インプットデータ外		データ構成上は組み込み可能であるが、評価を評価に絡り込むことは現時点ではモデルの精度を超える、またデータ取得上も困難。
		防災設備づくり	ミニ防火貯水槽	消防水利	具体箇所の消防水利としてカウント	
	道づくり	団地の更新（地域への公開）	道路の追加	当該箇所のリンクデータに反映	移動モデルに反映され移動確率、距離が向上。	
		商店街の整備（協調、共同建替え）	建物の強度	個別建物の建築年代、構造データに反映	前面道路の閉塞確率が減少し、通行の容易化が移動モデルに反映される。	
		幹線道路の整備	道路の追加	当該箇所のリンクデータに反映	移動モデルに反映され移動確率、距離が向上。	
		地区防災道路の整備（拡幅（標準12m幅員））	街路幅員	当該箇所のリンクデータに反映	前面道路の閉塞確率が減少し、通行の容易化が移動モデルに反映される。	
		歩道の整備拡幅（バリアフリー化）	街路幅員	× インプットデータ外		震災時の効用は通常の区画道路と同等と考えられる
		電線地中化	街路幅員	× インプットデータ外		電柱の撤去効果であるが元々の電柱を評価に絡り込むことは本モデルの精度を超える、またデータ取得上も困難。（最初から道路幅員を減じて表現するなどの工夫は可能）
	施設づくり	遊歩道の整備（標準8m幅員）	街路幅員	当該箇所のリンクデータに反映	前面道路の両方向通行が移動モデルに反映され移動確率、距離が向上。	震災時の効用は通常の区画道路と同等と考えられる
		ショッピングモールの整備、歩者共存道路	たまりのスペース	× インプットデータ外		震災時の効用は通常の区画道路と同等と考えられる
路上駐車・駐輪規制		街路幅員	× インプットデータ外		駐車・歩者・走行車両を評価に絡り込むことは本モデルの精度を超える、またデータ取得上も困難。（最初から道路幅員を減じて表現するなどの工夫は可能）	
公共施設の不燃化・耐震化（バリアフリー化）		建物の強度	個別建物の建築年代、構造データに反映	前面道路の閉塞確率が減少し、通行の容易化が移動モデルに反映される。		
みどりづくり	防災活動広場	一時避難場所、教護所候補	一時避難場所、教護所として反映	周辺の避難等の容易性（確率、距離）に反映		
	一時集合場所（500～3,000㎡）	一時避難場所、教護所候補	一時避難場所、教護所として反映	周辺の避難等の容易性（確率、距離）に反映		
防災設備づくり	生産緑地	道路空間としての側面	道路としてカウントとすることは可能			
	耐震貯水槽（40立方メートル以上）	消防水利としての側面	具体箇所の消防水利としてカウント	周辺の消火可能性の向上として反映		

凡例
 施策の効果が直接的に評価に反映する
 施策の効果の部分的に評価に反映可能
 × 施策の効果は評価に反映されない

(2) 評価値の改善施策

評価結果に基づき、防災性向上を検討するにあたっては、マイクロ評価のプロセスから、表 2.2.17 のように整理される。

(a) 起終点等の改善

起終点等の改善（新たな防災施設の整備など）は、地区の街づくりとしての経路改善と同様に効果

的である。特に、火災発生場所の到達困難性が 100%（到達不可能）の場合は、消防水利の追加以外に対応方策はない。

これらの位置の検討においては、評価結果が活用できる。例えば、避難地（救護所）消防水利の設置位置は、到達困難な範囲や距離の遠い範囲をカバーするような位置で、外周道路からのアクセス性の高い位置を選択することが適当である。なお、これらの位置の妥当性については、設置場所案に整備した場合のマイクロ評価を行ってみることで、効果を検証できる。

なお、起終点の改善と、2.2.1(4)評価結果についての(d)評価値の改善施策の経路の改善を併せて行うことで、効果的に防災対策ができると考えられる。

表 2.2.17 評価値の改善のための対策の方向性

指標		改善の観点	起終点等の改善			経路の改善	
			幹線道路の整備	避難地の追加	消防水利の追加	当該建築物の改善	直近経路の改善
行動困難性指標	避難	二次災害からの避難困難性					
		避難場所への到達困難性					
		火災延焼範囲からの避難困難性					
	消火	火災発生場所への到達困難性					
		消防水利への到達困難性					
	救出	救出対象への到達困難性					
	救護	けが人発生場所への到達困難性					
		近傍への到達困難性					
		近傍からの到達困難性					
	必要性指標	救護	けが人の救護所への到達困難性				
救出		救護所への補給困難性					
避難		権災避難必要性					
消火		火災危険性					
避難消火		延焼危険性	1		2		2
救出救護	救出	倒壊建築物の状況					
	救出	非木造倒壊建築物の状況					

- 1 主として火災遮断帯として効果によって改善される。
- 2 消火活動の円滑化に伴い改善される。

(b)経路の改善

経路の改善の検討については、(1)直近経路の改善、(2)ネットワークとしての改善の2つの方向が考えられ、特定箇所のみが悪い場合は(1)、まとまった範囲が悪い場合は(2)を行うべきと考えられる。これらの観点での検討フローを以下に示す。なお、直前経路が劣悪であれば、ネットワークを改善しても防災性はある程度以上向上しないし、また、逆も成り立つので、バランスよく対応する必要がある。

なお、この検討フローは防災性の向上効果のみを目的として地区改善を検討する形となっているが、実際の検討にあたっては、地域の日常活動の観点、計画・事業としての妥当性などの観点から、総合的に施策実施可能性を検討する必要がある。

また、フローにも示しているが、提案施策の防災上の効果は、当該施策案を組み込んで再度マイクロ評価をすることで確認ができる。

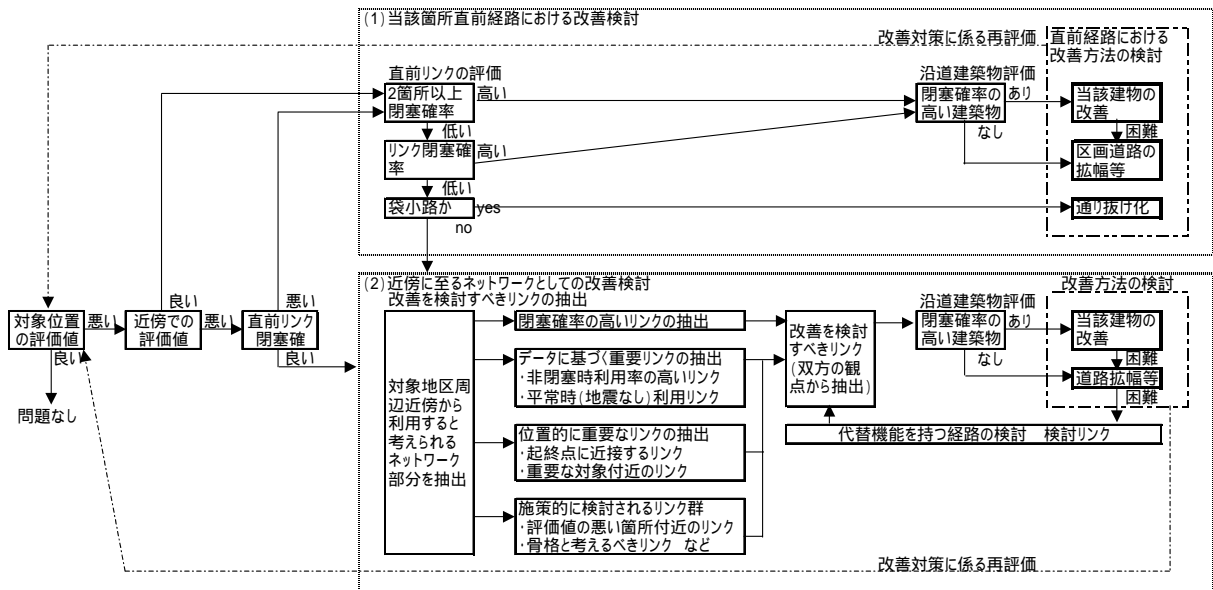


図 2.2.44 経路の改善による行動困難性指標改善の検討フロー

(3)経路の改善施策と評価値の改善の関係について

(a)モンテカルロシミュレーション結果による評価関数と指数関数のあてはめ

左が 100 回のシミュレーション結果による距離～累積回数グラフの 1 例であり、最短距離とその確率、非到達確率が示され、その間の距離分布が示されている。

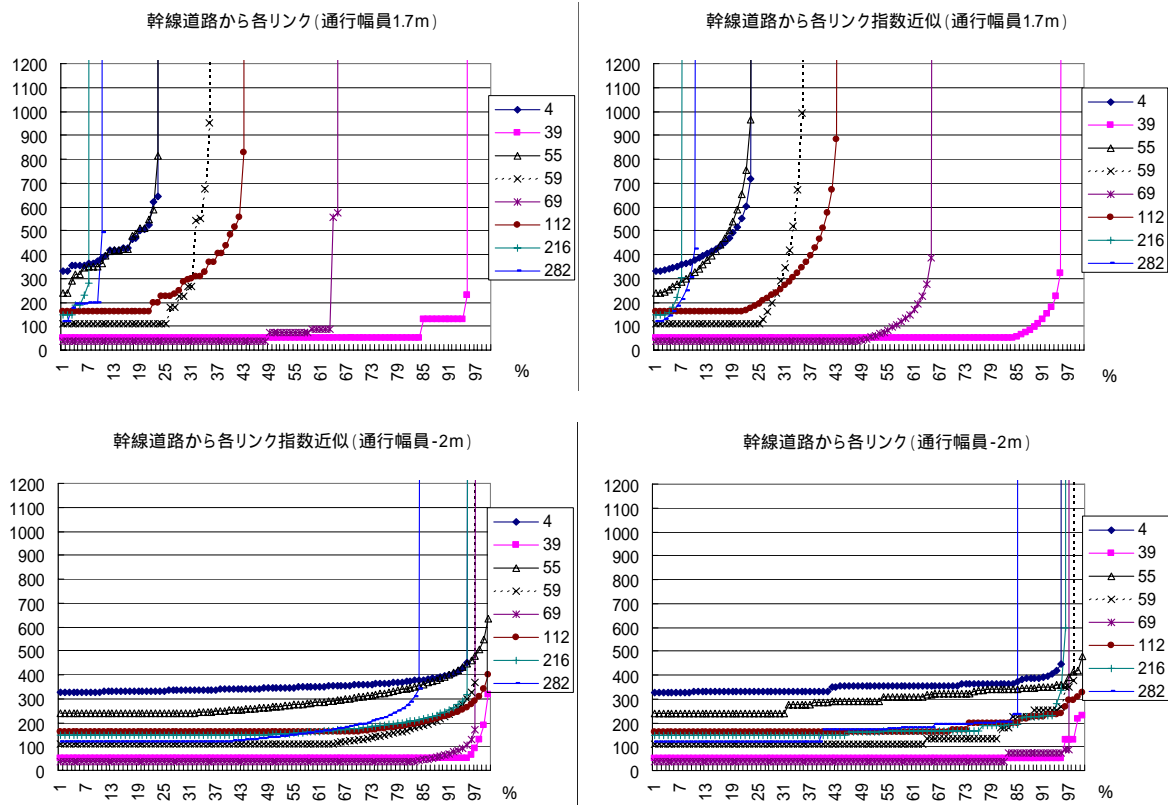


図 2.2.45 モンテカルロシミュレーション結果による評価関数と指数関数のあてはめ

ここで、最短距離以上の距離 y の累積確率分布を以下の指数関数で近似できると考える。

$$\text{累積確率分布} = (1 - \text{非到達確率} - \text{最短到達確率}) \times (1 - \exp(-y / (a - \text{最短距離})))$$

但し「 a 」は「最短距離以外で到達した場合の距離の平均値」である。

この式によって近似したものが右のグラフであり、ある程度の再現性が確保できることがわかる。この近似が適当と考えれば、4つの代表値（非到達確率、最短到達確率、最短距離、最短以外での平均到達距離）で距離～累積確率曲線を代表できる。なお、

「最短以外での平均到達距離」

$$= \{ (\text{到達時平均距離}) \times (1 - \text{非到達確率}) - (\text{最短距離}) \times (\text{最短到達確率}) \} / \{ 1 - (\text{最短到達確率}) - (\text{非到達確率}) \}$$

である。これによって、評価値の～の観点から分析することが容易になる。

(b)非到達確率に関する評価

非到達確率は、当該リンクを原因とする場合とネットワークによる場合に区分できる。当該リンクの左右のノードをXYとし、ノードXが目的地と接続できる場合をX、できない場合をX×、Yも同様に書き、各半リンクの閉塞確率をPhと書けば、概念的に以下のような関係がある。なお、XYが当該リンクにより繋がっていることは考慮しない。

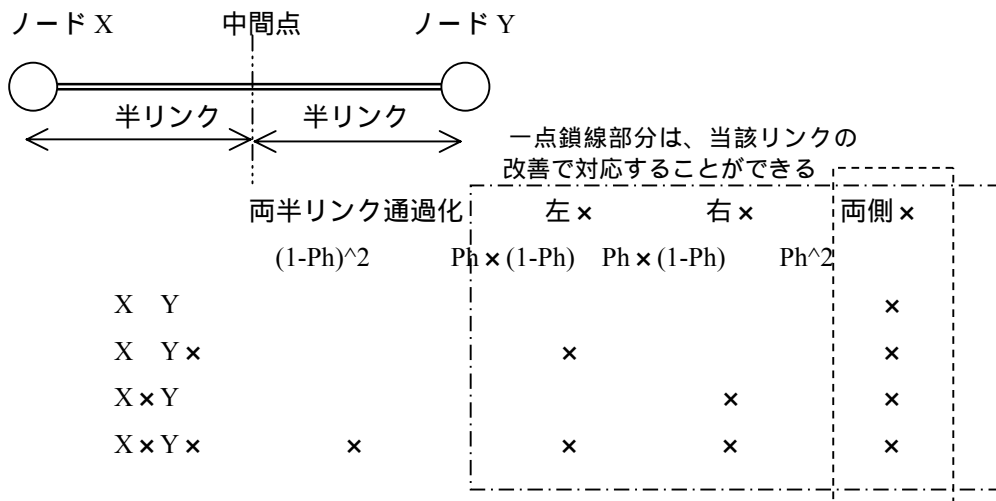


図 2.2.46 非到達確率の考え方

上記の例での、閉塞確率全体に占める両側リンク×の割合(点線内の割合)は以下の通りである。(なお、閉塞確率のみモンテカルロシミュレーションで、他は計算できる確率である。)

表 2.2.18 モンテカルロシミュレーション確率

	4	39	55	59	69	112	216	282	リンク番号
小型車	77%	5%	77%	65%	35%	57%	93%	90%	閉塞確率
1.7m	8%	3%	3%	1%	9%	1%	41%	36%	両半リンク閉塞確率
確保	10%	63%	4%	1%	25%	2%	44%	40%	上に占める割合
	12%	5%	4%	0%	12%	1%	59%	51%	2箇所以上閉塞確率
健常者	5%	0%	0%	2%	3%	0%	4%	15%	閉塞確率
-2m	1%	0%	0%	0%	1%	0%	5%	4%	両半リンク閉塞確率
確保	12%	0%	0%	3%	29%	0%	123%	27%	上に占める割合
(乗り越え)	1%	0%	0%	0%	1%	0%	9%	7%	2箇所以上閉塞確率

ここに示されるように、当該リンクを原因とするものが、非閉塞に占める割合はバラツキが多い。このため、いくつかの指標値を比べることで最も有効な対策を考える必要がある。

なお、中間点は代表点であるので、リンクのサービス水準としては、2 箇所以上閉塞割合（孤立の発生する確率）をもって判断する必要がある。2 箇所以上閉塞割合は、一般的に両側の半リンクが一度に閉塞する確率より大きな値である。（建築物が少ない場合は逆転もありうる。）

(c)各種対策の効果のイメージ

以下に対策として考えられる手法に関しては、主として改善される項目との対応関係があり、図に示す様な改善効果があると考えられる。

表 2.2.19 対策と効果の関係

対 策	主として改善させる指標	その他
当該リンクの改善	非到達確率	当該箇所が主に改善
最短経路リンクの改善	最短到達確率	周辺も含めて改善
ネットワークの改善	非最短での平均距離	全般的に改善

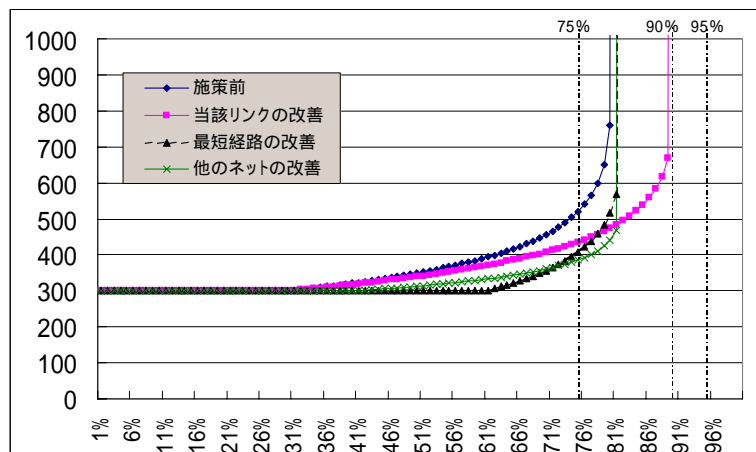
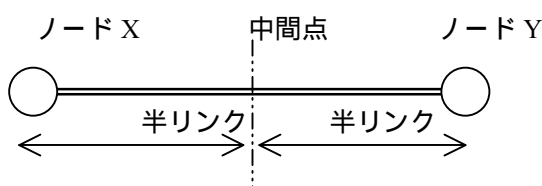


図 2.2.47 施策実施による効果イメージ

(d)リンク代表評価値とノード評価値の活用による各種指標値（改善手法の検討上の指標値）

リンク代表評価値のみでなく、ノード評価値を(b)非到達確率に関する評価の考え方を適用すると、解析的な手法によって改善施策の評価が可能な各種指標が導出できる。リンク代表点到達確率を F_0 、ノード到達確率を F_x 、 F_y とし、(b)と同様の考え方で、以下の通り各種の確率の記号付けを行う。

当該リンクの左右のノードを XY とし、ノード X が「当該リンクを介さずに」目的地と接続できる場合を X （確率 P_X ）できない場合を $X \times$ （確率は $1 - P_X$ になる）、 Y も同様とし、各半リンクの非閉塞確率を P_h と書けば、概念的に以下のような関係がある。なお、「当該リンクを介さずに」とは、 P_X 、 P_Y が、 XY が当該リンクにより繋がっていることは考慮していない確率であることを示す。



ここで PX と PY は独立事象でないので、 $PX \cap PY$ は $PX \times PY$ とは一致しない。このため、 $PX \cap PY$ を P_{xy} 、 $PX \cap (1-PY)$ を P_{xo} 、 $(1-PX) \cap PY$ を P_{oy} 、 $(1-PX) \cap (1-PY)$ を P_{oo} (但し、 $P_{oo} = 1 - (P_{xy} + P_{xo} + P_{oy})$) と書くこととする。

中間点評価値 (リンク代表点評価値)

	両半リンク通過化 (Ph) ²	左 × Ph × (1-Ph)	右 × Ph × (1-Ph)	両側 × (1-Ph) ²
X Y [PX PY]				×
X Y × [PX (1-PY)]		×		×
X × Y [(1-PX) PY]			×	×
X × Y × [(1-PX) (1-PY)]	×	×	×	×

$F_0 = P_{xy} * (2 * Ph - Ph^2) + P_{xo} * Ph + P_{oy} * Ph$

端点 X 評価値 (ノード X 評価値)

	両半リンク通過化 (Ph) ²	左 × Ph × (1-Ph)	右 × Ph × (1-Ph)	両側 × (1-Ph) ²
X Y [PX PY]				
X Y × [PX (1-PY)]				
X × Y [(1-PX) PY]		×	×	×
X × Y × [(1-PX) (1-PY)]	×	×	×	×

$F_x = P_{xy} + P_{xo} + P_{oy} * Ph^2$

端点 Y 評価値 (ノード Y 評価値)

$F_y = P_{xy} + P_{xo} * Ph^2 + P_{oy}$ (Fx と同様)

これを P_{xy} 、 P_{xo} 、 P_{oy} について解くと以下の式を得る。

$P_{xy} = (Ph * (F_x + F_y) - (1 + Ph^2) * F_0) / (Ph^2 * (1 - Ph)^2)$
 $P_{xo} = ((1 + Ph) * F_0 - Ph * F_x - Ph * (1 + Ph - Ph^2) * F_y) / ((1 - Ph^2) * (1 - Ph) * Ph^2)$
 $P_{oy} = ((1 + Ph) * F_0 - Ph * (1 + Ph - Ph^2) * F_x - Ph * F_y) / ((1 - Ph^2) * (1 - Ph) * Ph^2)$

i) 直前リンク改善効果の指標値

代表点である中間点の非到達確率に対し、例えば閉塞確率を半分にすれば、 $(P_{xo} + P_{oy}) * (1 - Ph)$ が半分に、 $P_{xy} * (1-Ph)^2$ が 1/4 になる。これに対し、直前リンク改善では改善できない確率は P_{oo} であり、以下の $1 - P_{oo} (= P_{xy} + P_{xo} + P_{oy})$ が直前リンク向上による到達確率の限界値である。

$1 - P_{oo} = ((1 + Ph) * F_0 - Ph * (F_x + F_y)) / (Ph^2 * (1 - Ph))$

ii) ネットワーク効果の指標値

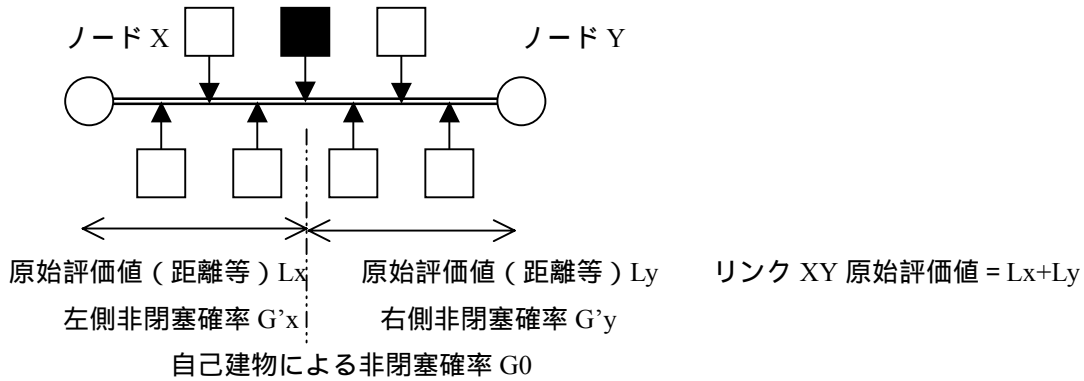
当該リンクがネットワーク向上に及ぼす効果は、左右のノードの到達状況が異なるときに、通過できることによって他の個所の到達確率を向上させる効果といえる。

従って、その効果は $(P_{xo} + P_{oy}) * (Ph)^2$ の値で評価できる。即ち以下の $P_{xo} + P_{oy}$ が大きいリンクがリダンダンシー確保 (他の地点からの到達確率の向上) 上重要なリンクといえる。

$P_{xo} + P_{oy} = (2 * F_0 - Ph * (2 - Ph) * (F_x + F_y)) / (Ph^2 * (1 - Ph)^2)$

iii)リンク中の各建築物の指標値

リンク中の各建築物の到達確率は、代表点および左右のノード到達確率の指標値から導出できる。検討対象となる建築物を とし、そのリンク両端ノードを X、Y とし、以下のように記号をつけることとする。(他の記号は同じ)



ここで、リンクの非閉塞確率 = Ph^2 は以下のように書ける。

$$Ph^2 = G_x * G_y * G_0$$

この場合は、自己建物による道路閉塞時の扱いが問題となる。これを避難不可能と判断するという考え方もあるが、現実的には開口部位置、避難者の建物内所在などによって、左右いずれかに避難できると考える方が妥当である。このため、 G_0 を G'_x 、 G'_y に割り振って計算することとする。しかし、左右への割り振りは現実には困難であるので、確率を折半 (非閉塞確率が となるように計算) するなどの操作となる。この操作後の確率を G_x 、 G_y とすれば、以下のようにかける。

$$G_x = G'_x * (G_0^{0.5})$$

$$G_y = G'_y * (G_0^{0.5})$$

この時の当該建築物への到達確率 F は以下の式で書ける。

$$\begin{aligned} F &= (P_{xy} + P_{xo}) * G_x + (P_{xy} + P_{yo}) * G_y - P_{xy} * G_x * G_y \\ &= G_x * (F_x + Ph * F_y - (1 + Ph) * F_0) / ((1 - Ph^2) * (1 - Ph)) \\ &\quad + G_y * (Ph * F_x + F_y - (1 + Ph) * F_0) / ((1 - Ph^2) * (1 - Ph)) \\ &\quad - G_x * G_y * (Ph * (F_x + F_y) - (1 + Ph^2) * F_0) / (Ph^2 * (1 - Ph)^2) \end{aligned}$$

なお、到達確率の計算方法と同様に、原始評価値 (距離等) LL 以下での到達確率については、 F_0 に替えて LL 以下での代表点到達確率、 F_x に替えて LL - L_x でのノード X 到達確率、 F_y に替えて LL - L_y でのノード Y 到達確率を用いれば計算できる。従って、原理的には LL 以下での到達確率を LL を変化させて多数計算することによって、例えば 90% 確率に対応する原始評価値 (距離等) も計算できる。

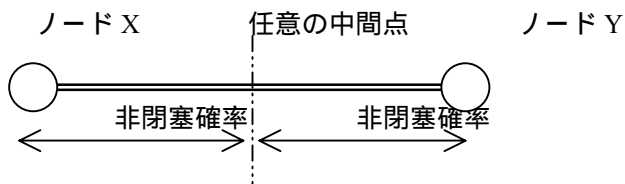
iv)最も閉塞確率の高い地点の指標値

代表地点は、左右のノードのいずれかに到達できない確率が最も高い地点であり、左右のノードの到達確率が異なる場合は、代表地点は最も危険な場所ではない。

閉塞が建築物により発生するという考え方では、ある場所まで閉塞しないで進める確率は建物ごとに段階的に変化する。しかし、代表点の半リンクの非閉塞確率は、機械的な平方根の計算であり、これを連続変数として扱っているということに対応している。このことは、「数学的に扱うための手法」という考え方のほかに、建築物に幅があり、閉塞確率は連続的に変化している (倒壊した場合、家の

入り口や窓などによって逃げられる方向が限定される) という想定であるという説明も可能である。本節については、同様に連続的な変数であるという前提で定式化する。

下図のような状況で、任意の中間点についての到達確率を F 、 X 側非閉塞確率を P_{xy} 、 Y 側非閉塞確率を P_{yx} とし、確率を表す変数の定義を他と同じとすれば、以下の関係が成り立つ。



$$F = (P_{xy} + P_{xo}) * Ph + (P_{xy} + P_{oy}) * Ph - P_{xy} * Ph^2$$

ここで $Ph = Ph^2$ であるから、

$$F = (P_{xy} + P_{xo}) * Ph + (P_{xy} + P_{oy}) * Ph - P_{xy} * Ph^2$$

となる。これを Ph で微分すると、

$$dF / dPh = (P_{xy} + P_{xo}) + (P_{xy} + P_{oy}) - 2 * P_{xy} * Ph$$

となる。 $dF / dPh = 0$ を与える $Ph = m$ は唯一 (m と記す) であり、この m に対応する F が最大値 F_m が最大値である。

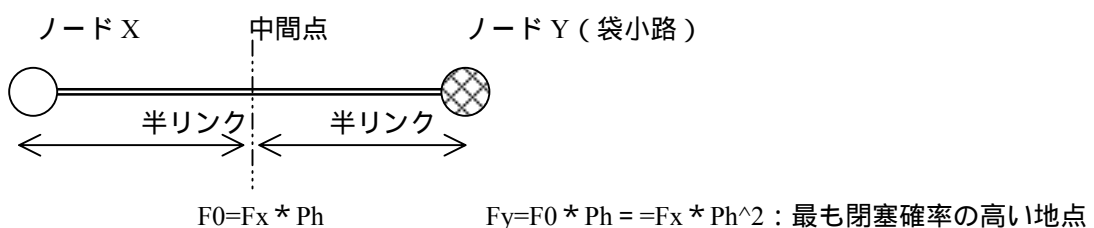
$$m = Ph * ((P_{xy} + P_{oy}) / (P_{xy} + P_{xo}))^{0.5}$$

$$F_m = 2 * Ph * \{(P_{xy} + P_{xo}) * (P_{xy} + P_{oy})\}^{0.5} - P_{xy} * Ph^2$$

$$= [2 * Ph * \{(F_x + Ph * F_y) / (1 + Ph) - F_0\} * (Ph * F_x + F_y) / (1 + Ph) - F_0]^{0.5} - Ph * (F_x + F_y) + (1 + Ph^2) * F_0 / ((1 - Ph)^2)$$

v) 袋小路の評価値

これら数値はいずれも左右のノードのいずれもがネットワークに接続されている状態での計算値である。袋小路の場合は以下のような関係にある。



なお、各建築物の到達確率 F は、(c)と同様の記号を用いて、 $F = F_x * G_x$ となる。また、原始評価値 (距離等) LL 以下での到達確率については、 F_x に替えて $LL - L_x$ でのノード X 到達確率を用いれば計算できる。さらに $n\%$ 確率に対応する原始評価値 (距離等) については、「 $(n / G_x)\%$ 到達確率に対応するノード X での原始評価値 (距離等)」 $+ L_x$ である (但し、 $(n / G_x)\%$ が 100% を超える場合は、「非到達」が $n\%$ 確率に対応する。)

2.2.8 延焼 (延焼シミュレーション等) と併せた評価について

この項では延焼検討 (延焼シミュレーション等) と行動評価 (アクティビティシミュレーション等) の双方に関係する延焼危険性、延焼からの避難についての考え方を示している。

(1)延焼危険性評価の必要性指標値について

(a)延焼危険性について

延焼の危険性とは、近隣から出火して当該建築物まで類焼する危険性を指すものとして定義する。従って、危険率は以下の式で表現できる。

$$\text{危険率} = 1 - [1 - \{ (\text{建築物 } i \text{ の出火確率}) \times (\text{建築物 } i \text{ が出火した場合に当該建築物まで類焼する確率}) \}]$$

i 「当該建築物まで延焼の恐れのある出火建築物の範囲」

$$\{ (\text{建築物 } i \text{ の出火確率}) \times (\text{建築物 } i \text{ が出火した場合に当該建築物まで類焼する確率}) \}$$

i 「当該建築物まで延焼の恐れのある出火建築物の範囲」

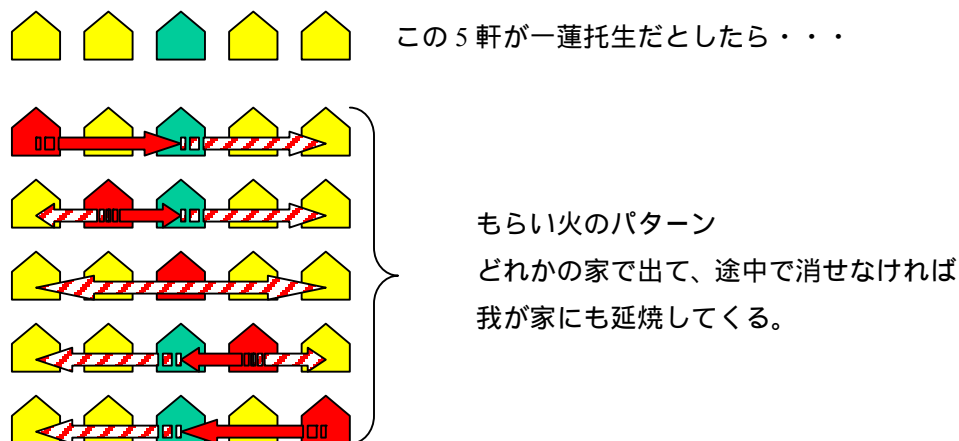


図 2.2.48 延焼危険率算定の考え方

当該建築物まで延焼の恐れのある出火建築物の範囲

この範囲は、放任火災(消火力がない場合の火災)を前提として焼け止まり範囲を想定すればよい。

延焼シミュレーションにおいては、防火帯となる広い空間、不燃建築物の防火帯などがなければ、その範囲までお燃え広がると想定される。これを、延焼のマクロ評価においては、平均消失建築面積割合と CVF との関係付けの過程において、消失建築面積を求める根拠として、防火上の建築構造に応じたバッファを発生させて、延焼の連坦区域を設定している。

従って、この範囲は以下の 2 つの方法のいずれかで求めることができる。

i)延焼シミュレーションを活用する方法

各種着火点での複数回の延焼シミュレーションを行ない、それらの各最終的な燃え広がり範囲の最大公約数をとる方法。

ii)防火上の構造に基づいてバッファを発生させて延焼連坦区域を求める方法

簡略化手法として、防火上の構造に基づいてバッファを発生させて延焼連坦区域を求めることも可能である(これは強風などの悪い条件を含んでいない。)

の範囲内の各建築物が出火する確率

建築物の出火確率については、各建築物の火災危険性指標をそのまま用いることができる。具体的には、用途別半壊率を利用する方法、又は(全壊率(自治体式)を読み替えた)全壊確率に 0.1923% をかける事で計算できる。

ある建築物が出火した場合に当該建築物まで類焼する確率

この確率は、以下の 2 つの確率の積によって計算できる。

i)出火した建築物が鎮火しない確率

各建築物の消火可能性は、火災発生場所で消火活動ができるかどうかが最大要因となる。これについては、行動可能性指標である「火災発生場所への到達困難性」によって評価できる。この困難率は消火活動ができない確率に相当するので、この確率をもって代表させることとする。(消火活動ができて鎮火しないこともあり得るが、早期に消火活動が始まれば、この確率は小さいと考えて無視する。)

ii)鎮火しなかった建築物から当該建築物まで延焼する確率

延焼シミュレーションは、放任火災(消火力がない場合の火災)を前提に行なうこととなっており、この危険率そのものをシミュレーションによって推計することはできない。

一方、この確率は、理屈の上では延焼経路上で消火できる確率を積分することで計算可能と考えられる。しかしながら、延焼経路は火災想定毎に異なるし、ある経路での延焼が阻止されても回りこみによる延焼が起こるなど、容易には計算できず、一般的には計算不可能である。また、途中経路上での消火活動は積分で示せるような連続的な方法ではなく、道路に沿った延焼阻止ライン設定など、一様でないと考えられる。このため、詳細な計算を行なう意味は薄いので、以下のような簡略化する方法が考えられる。

a)延焼に要する時間をパラメータとする方法

延焼シミュレーションによって、各建築物から当該建築物まで延焼する時間が推計可能であるので、これをパラメータとして時間が長いほど途中で延焼が阻止される可能性が高いと考えることが可能である。しかしながら、1)延焼シミュレーションを相当回数行なう必要があるが実態上困難である、2)途中の位置などでの消火活動可能性を勘案できない(例えば経路途中で利用できる消防水利がなければ延焼阻止は困難である。)という問題点がある。

b)当該建物近傍での消火可能性で代表させる方法

途中経路による阻止とは考えずに、当該建築物近傍での消火活動可能性 = 延焼防止活動可能性と考えて、この代表指標として当該建築物の「火災発生場所への到達困難性」を用いることが考えられる。

c) a)とb)を組み合わせる方法

a)の2)の代用としてb)の方法を用いることが考えられる。

(b)延焼危険性評価の必要性指標値の意味(現実的な対応方法)

「延焼危険性評価の必要性指標値」は必要性指標であり、「延焼危険性に対する消火活動の行動指標(困難性指標)」との関係(具体的には積)で、評価を行なうこととなる。一方で、2.8.1で示した危険率は、この積に相当するものとなっている。このことを解きほぐせば、の部分「延焼危険性に対する消火活動の行動指標(困難性指標)」に該当すると考えられる。

従って、評価の整理上(及び計算手法上)は、(1)若しくは、そのうちの消火活動可能性を記述する部分がの外に出ること、また、(2)当該建築物位置での指標値として計算できることが適当である。このため、(又は:この場合、時間変数部分はの中に残す。)の簡略計算方法を用いて、「延焼危険性に対する消火活動の行動指標(困難性指標)」は出火危険性に対する困難性手法と同じく、「火災発生場所への到達困難性」を用いることとする。

この結果、「延焼危険性評価の必要性指標値」は以下の式で示される。(の方法の場合)

「延焼危険性評価の必要性指標値」

$$\{(\text{建築物 } i \text{ の出火確率}) \times (\text{消火活動困難性指標 (到達不能率部分)})\}$$

i 「当該建築物が属する焼失想定範囲内の建築物」

なお の方法を用いる場合には、当該建物までの延焼時間を距離で代表させるとすれば（延焼速度一定の仮定）以下の式になるが、係数の設定が困難であり、また、計算上の煩雑さを避けるため、上記 の方法を用いることとする。

「延焼危険性評価の必要性指標値」

$$\left[(\text{建築物 } i \text{ の出火確率}) \times (\text{消火活動困難性指標 (到達不能率部分)}) \times \{1 - (\text{時間当たり消火確率})\}^{\{(\text{当該建築物と建築物 } i \text{ までの距離}) / (\text{延焼速度})\}} \right]$$

i 「当該建築物が属する焼失想定範囲内の建築物」

(2)延焼からの避難における条件設定について

火災に伴う延焼からの避難に関しては、以下のような課題がある。

延焼状況は条件（主には出火点）によって相当変化し平均的状況の設定が困難である、平均的状況が設定できるにしてもその延焼プロセスはリアリティーを失う可能性が高い、アクティビティシミュレーションの実行速度は延焼シミュレーションの実行速度に比較して3桁以上は早い（延焼シミュレーション1ケースの実行時間で1,000ケース（試行回数）以上のアクティビティシミュレーションが実行できる）

建物の倒壊状況は延焼、道路閉塞のいずれにも影響するが、2つを同一の倒壊状況に対応する形式にはなっていない（速度向上等のため、別プログラムとして組んでいることが原因）、という4つの条件から、延焼シミュレーションの1ケース毎に対応して「延焼からの避難の行動性指標」を計算することとした。なお に関しては、延焼状況の倒壊と避難時道路閉塞の倒壊の整合させた1ケースのみを行うより、他の倒壊状況でも発火点が同じなら延焼状況は類似と考え多くの避難ケースを行うことが有効と判断している。

従って、評価値は特定の火災延焼状況に対応したものであり、その活用方法は(1)当該延焼の評価とペアで活用する（特定火災の危険性の表現など）、(2)地区の延焼評価で必要とされる延焼シミュレーション複数回実施を前提として延焼避難もその回数の平均値で評価する、の2通りが考えられる。即ち、この評価指標は延焼の試行回数、評価方法の考え方に従って設定するものとする。また、以下のような課題もある。

強風時であっても延焼速度は人の歩行速度に比較して相当程度遅い、避難のインプットデータに関し延焼状況の刻々の変化に応じた連続的・詳細な条件設定（避難開始時点設定、火災による閉塞リンク、一方通行リンクなど）は困難であり大雑把にならざるを得ない、アクティビティシミュレーションの実行速度は早いがそれでも効率的実行が適当、という条件から、時間変化は連続的に捉えず、段階的に捉えることを前提とした。

(a)延焼からの避難における条件設定

延焼からの避難は基本的に延焼の恐れのある区域にいる人々が、（少なくとも当面）延焼の恐れのない区域に移動する行動である。

避難者の行動の当面の目的地については以下のようなことが考えられる。

一般に火災が今後どこまで延焼するかは不明であり、とりえず当面延焼の恐れのないところへ移動すると考えられる。

自宅などから避難する場合、自宅が燃えるかという懸念、自宅付近での類焼防止活動の状況、火

事場泥棒への警戒などの観点から、火災安全上可能であれば自宅が見える範囲にとどまると考えられる。

自宅が見える範囲にとどまれない場合、(1)近隣に存在すれば、防火上安全な避難場所（広域避難場所等）(2)今後の避難行動が容易となる幹線道路、(3)近隣の安全な場所にある親戚・知人の家、などに避難すると考えられる。

また、行動の開始時点は、(1)自宅に類焼が及ぶ恐れと(2)避難困難性を勘案して判断するものと思われ、例えば袋小路に面した家屋の人々は、比較的早く避難を始めると考えられる。

これらの点を勘案して右の火災状況イメージ（延焼経過）に対応して、以下の2つの避難行動想定パターンを検討した。なお、この図については、非難シミュレーションの関係で時間のインターバルで設定して表現した。

設定間隔は延焼区域の移動が100m程度の時間と想定している。これは避難開始が100~200m程度近づいたときに始まるという想定である。（段階的に設定しているため、ドーナツ型の範囲が同じタイミングで避難を開始すると想定している。）

この場合、避難開始ドーナツの内側の100mドーナツの範囲は通行可能とした。

これらは、避難の確実性が確保できない人（袋小路に住む人、地震で前面道路が袋小路化した人など）の避難は、隣家が延焼しはじめた時点でなく、延焼に気がつき避難可能性がある時点であると考えられるからである。

避難行動パターン1：野次馬型

前述の 観点を重視し、ある程度近接した時点で避難を開始するが、離れられれば良く、再度接近した場合にさらに避難すると想定。

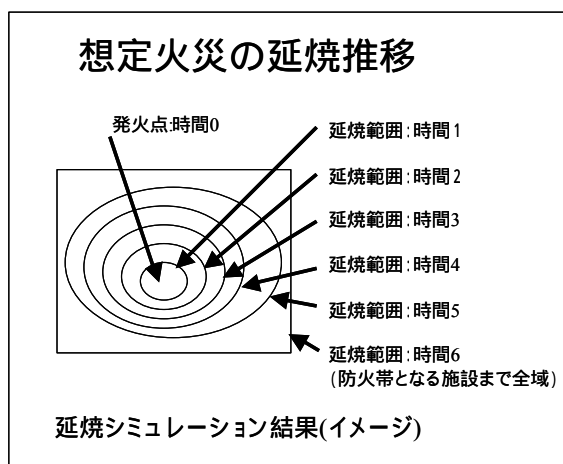


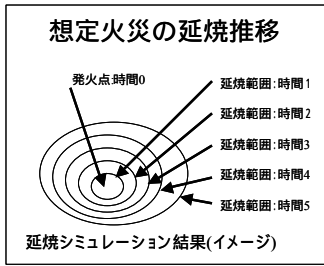
図 2.2.49 延焼シミュレーション結果(イメージ)

表 2.2.20 野次馬型火災避難（火災延焼範囲外への到達困難性）のイメージ

	評価項目		構成要素	起終点		移動主体	経路情報	その他			
	評価の視点	要素指標		起点	終点			制約条件	その他		
避難	火災延焼範囲からの避難	延焼避難(距離分布と非到達率)		延焼の恐れのある地点	当面延焼の恐れのない地点	健常者	逐次情報	延焼区域内は通行不能	延焼ケースごとに評価		
内訳: 火災の延焼推移に応じて、以下のように設定し評価する											
避難	火災延焼範囲からの避難	延焼避難(距離分布と非到達率)	時刻0	時刻2までの延焼範囲内の各地点	時刻2までの延焼範囲の外の各地点	健常者	逐次情報	なし	起点の区域の各建物を各リンク中心を代表値として評価		
			時刻1	時刻2~3の延焼範囲内の各地点	時刻3までの延焼範囲の外の各地点	健常者	逐次情報	時刻1での延焼範囲通行不能			
			時刻2	時刻3~4の延焼範囲内の各地点	時刻4までの延焼範囲の外の各地点	健常者	逐次情報	時刻2での延焼範囲通行不能			
			時刻3	時刻4~5の延焼範囲内の各地点	時刻5までの延焼範囲の外の各地点	健常者	逐次情報	時刻3での延焼範囲通行不能			
			時刻4	時刻5~6の延焼範囲内の各地点	外周道路(延焼遮断施設)	健常者	逐次情報	時刻4での延焼範囲通行不能			
			時刻5	避難終了							時刻5での延焼範囲通行不能
			時刻6								幹線道路区域内通行不能

注) ある程度近接した時点で避難を開始するが、離れられれば良く、再度接近した場合にさらに避難すると想定。その時点では延焼範囲の近傍まで使えたと設定。なお、本来は連続的に考慮すべきだが、シミュレーションの関係で時間のインターバルで設定する。設定間隔は延焼区域の移動が100m程度の時間と想定する。なお、避難開始区域(起点区域)と延焼区域(通行不能)の間に通行可能区域を設けたのは、避難の確実性が確保されていない人(袋小路に住む人、地震で前面道路が袋小路化した人など)の避難は、隣家が延焼しはじめた時点でなく、延焼に気がつき避難可能性がある時点であると考えられるからである。

*: 延焼避難時の逐次情報については、延焼範囲の閉塞情報のみは移動開始時からあるものとする。



「火災延焼範囲外への到達困難性」における起終点設定、制約条件の考え方

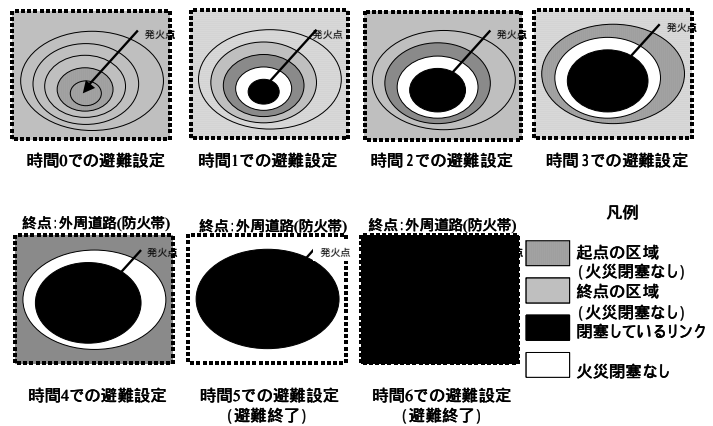


図 2.2.50 野次馬型火災避難（火災延焼範囲外への到達困難性）のイメージ

避難行動パターン 2：逃避型

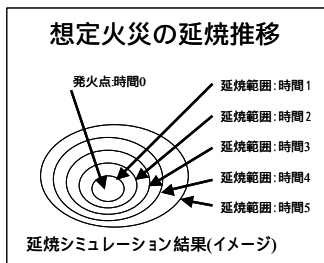
前述の の観点を重視し、ある程度近接した時点で避難を開始し、防火帯となる施設（幹線道路当）まで避難すると想定。（知人の家などは想定不能）

表 2.2.21 逃避型火災避難（幹線道路への到達困難性（延焼））のイメージ

	評価項目		構成要素	起終点		移動主体	経路情報	その他		
	評価の視点	要素指標		起点	終点			制約条件	その他	
避難	火災延焼範囲からの避難	延焼避難（距離分布と非到達率）		延焼の恐れのある地点	外周道路(延焼遮断施設)	健常者	逐次情報 1	延焼区域内は通行不能	延焼ケースごとに評価	
内訳：火災の延焼推移に応じて、以下のように設定し評価する										
避難	火災延焼範囲からの避難	延焼避難（距離分布と非到達率）	時刻0	時刻2までの延焼範囲内の各地点	外周道路(延焼遮断施設)	健常者	逐次情報	なし	起点の区域の各建物を各リンク中心を代表値として評価	
			時刻1	時刻2～3の延焼範囲内の各地点	外周道路(延焼遮断施設)	健常者	逐次情報	時刻1での延焼範囲通行不能		
			時刻2	時刻3～4の延焼範囲内の各地点	外周道路(延焼遮断施設)	健常者	逐次情報	時刻2での延焼範囲通行不能		
			時刻3	時刻4～5の延焼範囲内の各地点	外周道路(延焼遮断施設)	健常者	逐次情報	時刻3での延焼範囲通行不能		
			時刻4	時刻5～6の延焼範囲内の各地点	外周道路(延焼遮断施設)	健常者	逐次情報	時刻4での延焼範囲通行不能		
			時刻5	避難終了						時刻5での延焼範囲通行不能
			時刻6	避難終了						幹線道路区域内通行不能

注) ある程度近接した時点で避難を開始し、外周道路（幹線道路）等の延焼遮断効果のある施設まで避難すると想定。その時点では延焼範囲の近傍まで使えたと設定。なお、本来は連続的に考慮すべきだが、シミュレーションの関係で時間のインターバルで設定する。設定間隔は延焼区域の移動が100m程度の時間と想定する。なお、避難開始区域（起点区域）と延焼区域（通行不能）の間に通行可能区域を設けたのは、避難の確実性が確保されていない人（袋小路に住む人、地震で前面道路が袋小路化した人など）の避難は、隣家が延焼しはじめた時点でなく、延焼に気がつき避難可能性がある時点であると考えられるからである。

*：延焼避難時の逐次情報については、延焼範囲の閉塞情報のみは移動開始時からあるものとする。



「幹線道路への到達困難性(延焼)」における起終点設定、制約条件の考え方

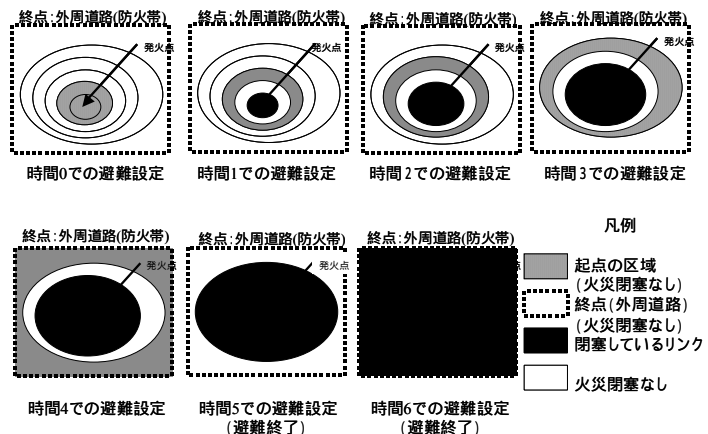


図 2.2.51 逃避型火災避難（幹線道路への到達困難性（延焼））のイメージ

この2つの避難行動パターンの比較においては、野次馬型のほうが、現実に近いと考えられるが、時間0~3で避難した避難者の避難行動の連続性が評価できないという問題(すぐ外まで逃げられたが、そこには出口がなく逃げられない場合などは、外側では避難不能とされるが、その建築物位置は避難可能と評価される。)がある。このため、逃避型を採用することとする。

(b)避難場所の安全性

罹災からの避難としては、兵庫県南部地震での「倒壊した自宅に近い場所での避難がなされた」という実績に基づき、一時避難場所と考えられる街区公園等を避難場所として評価しているが、これら一時非難場所は火災に対しては安全ではない。このため、延焼からの避難の開始位置としてカウントするとともに、重要箇所として評価を行う。(例えば到達不能率が極めて小さくなるよう対策を行う。)

これは、関東大震災では、多くの人々が避難した本所被服工場の火災に巻き込まれ、三万数千人が死亡したという教訓があるからである。

なお、これは複数箇所の発火により、四方から火災が迫り、避難することができなかつたためである。現在の防災対策では地区の分節等によって、四方から火災が迫ると言う状況は発生しにくくなっていると考えられるが、必要に応じ複数発火に対応した延焼シミュレーションと連動した評価も必要と考えられる。

2.2.9 全壊確率について

ここでは、必要性指標などに用いている全壊確率(全壊率を読み替えているもの)に関して留意事項を示している。

(1)全壊確率と全壊率との関係について

各建築物の地震時の状況を示す基礎的データとしての全壊確率は、構造別・建築年代別の全壊率を全壊確率と読み替えて用いている。

建物の被害状況の仮定については、建築物の耐震診断に応じて確率として設定することも考えられる。しかし、地区内の建物全ての建築診断を行うことは実際的でないので、地震に伴う建築物の全壊率データ等に基づき、設定することとした。具体的には、建築構造・建築年代別全壊率の計算式(値)を、当該建築構造・建築年代の建築物に関する全壊確率と読み替えて適用するものとする。

値については、村尾らの研究で構造別、建築年代別に地震動指標(PGV)と全壊率の関係が関数形で示されているので、これを全壊確率と読み替えることとした。

この研究では、ある地震動 x のときに、被災ランク R 以上の被害の発生する確率 $P_R(x)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 $\Phi(x)$ を用いて、下式で示す対数正規分布で表せると仮定して、兵庫県南部地震のデータをもとに係数を求め、相関の高さを確認している。

$$P_R(x) = \Phi((\ln x - \mu) / \sigma)$$

ここで、 x : 地表面最大速度(PGV), μ, σ : $\ln x$ の平均値および標準偏差

村尾修,山崎文雄:震災復興都市づくり特別委員会調査データに構造・建築年を付加した兵庫県南部地震の建物被害関数,日本建築学会構造系論文集,第555号,pp185-192,2002

しかしながら、構造別・建築年代の全壊率は観測値に基づくものであり、数学的には、これら区分の中に存在する脆弱な建築物から頑健な建築物までの分布に基づいて計算されていると考えるべきである。即ち、全てが同一の耐震性を有している建築物であれば全壊率 = 全壊確率であるが、「全壊率を

読み替えた全壊確率」は、各種の耐震性を有する建物の全壊確率の平均値であると考えられる必要がある。

一方で、耐震診断などを経ずに容易にデータ入手可能なパラメータから、全壊確率を計算することはできない。このため、構造別・建築年代別の全壊確率の平均値である「全壊率を読み替えた全壊確率」が入手可能な範囲で、偏りがなく、真値に近いと考えられるため、これを用いることとした。

なお、この「全壊率を読み替えた全壊確率」には以下のような性質がある。

全壊確率は建築構造、建築年代区分のみにより決まるものではないので、各建物にあてはめた場合には誤差を有する。

特に大きな全壊率となる古い年代区分は、真の全壊確率は広い分布範囲を有すると想定されるため、他区分と比較して大きな誤差がある可能性がある。

元データは神戸市データであり、建築物の構造別年代区分別の範囲内での耐震性の分布は、全国的に同一であることは保障されないため、その偏差を含む恐れがある。

また、全壊確率の計算が、単純な年代区分によっているため、このままでは、過去の地震、無理な増改築等による耐震性の低下、耐震補強などの建築後の状況変化を適切に反映した評価はできない(これらは分布の中で考慮されているともいえる)。

このため、建築物毎の状況、地区特性としての耐震分布の違い(例えば江戸や明治期の豪商の街並みなどは、一般的な昭和25年以前建築とは異なると考えられる。)を詳細に勘案する必要がある場合にあっては、耐震診断などの結果を活用することが考えられる。

但し、全壊確率を直接入力する方法を設けておらず、また、耐震診断によって全壊確率を直接設定することは困難であると思われるため、例えば「昭和51年～昭和57年」並みの耐震性を有するといった考え方で、これらの区分を便宜的に適用すれば良い。

(2)自治体式と震特委員会式について

全壊確率は全壊率を読み替えることとしたが、このもとの計算式である村尾らの研究における全壊率は2つの定義に基づいており、それぞれの異なった年代区分に基づく係数が示されている。

村尾修,山崎文雄:震災復興都市づくり特別委員会調査データに構造・建築年を付加した兵庫県南部地震の建物被害関数,日本建築学会構造系論文集,第555号,pp185-192,2002

これは、それぞれのもととなる全壊を定義している調査の差異によって生じているものである。本研究における他の引用文献において、いずれも分析に用いられている定義であるため、本件研究では場面に応じて両方の全壊率を使い分けて用いることとする。

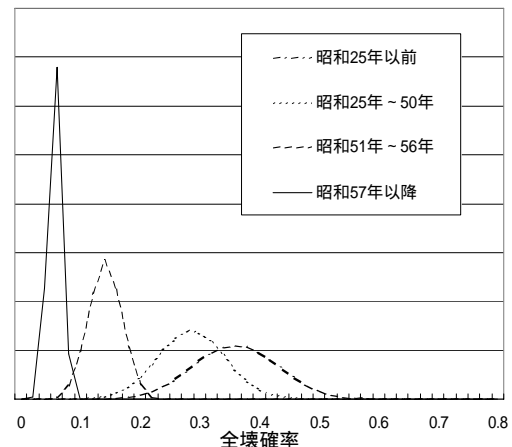


図 2.2.52 木造の全壊確率の分布イメージ

表 2.2.22 もととなる全壊を定義している調査の差異

	自治体式	震特委員会式
調査主体及び名称	神戸市による「家屋被害調査」	震災復興都市づくり特別委員会による「被害実態緊急調査」
目的	被災者に対する義援金の配分、固定資産税の減免措置、および復旧・復興施策のための被害実態調査	被災の全体像の把握と後の学術的貢献
評価基準	「被害認定統一基準」に基づく市独自の調査票	修理・再利用可能性の観点から定義を設定
全壊の定義	住家滅失(損害程度が50%以上)	撤去済み/再利用不可/住める見込みが非常に小さい(ランクC(全壊又は大破)を読み替え)
直近下位の定義	半壊:損害が甚だしいが再利用可(損害程度が20%以上50%未満)	ランクB(中程度の損傷):大幅な修理で再利用可能/大幅な修理で住める可能性あり

基本的には、居住可能性などの震災直後の利用に関する事項については自治体式を、建物の倒壊などの物理的形状及び建築物の形状変更に伴う被害(けが人の発生など)に関係するものについては震特委式を使い分けることとした。

表 2.2.23 建物被害関数(神戸市灘区における自治体調査対応)

木造	-1951	4.36	0.441
	1952-1961	4.44	0.353
	1962-1971	4.45	0.342
	1972-1981	4.73	0.378
	1982-1994	5.12	0.496
	全年代	4.51	0.41
R C 造	-1971	5.12	0.464
	1972-1981	5.33	0.575
	1982-1994	6	0.789
	全年代	5.5	0.705
S 造	-1971	4.64	0.619
	1972-1981	4.97	0.49
	1982-1994	5.64	0.731
	全年代	5.14	0.628

表 2.2.24 建物被害関数(神戸市灘区における震特委調査対応)

木造	-1950	4.76	0.43
	1951-1970	4.84	0.413
	1971-1981	5.15	0.504
	1982-1994	5.45	0.534
	全年代	4.9	0.447
R C 造	1951-1970	5.52	0.666
	1971-1981	5.79	0.708
	1982-1994	6.25	0.792
	全年代	5.78	0.648
S 造	1951-1970	5.39	0.858
	1971-1981	5.78	0.858
	1982-1994	6.09	0.858
	全年代	5.44	0.541