

# 震 災 工 学

—被害想定・リスクマネジメントからみた地震災害—

工学博士 矢代 晴実 編著

博士(工学) 佐藤 一郎 共著  
博士(工学) 烏澤 一晃

コ ロ ナ 社

## ま え が き

日本は、太平洋プレート、フィリピン海プレート、北米プレートという三つのプレートが集中する地域に位置しているため、地震が起りやすい地域であり、これまでも多くの地震の被害を受けてきた。政府、自治体などは、今後の発生が予測される地震に対して地域防災計画の見直しや地域地震防災戦略の策定などにより、「地震への備え」を行っている。

地震への備えは、地震による被害を明らかにすることから始める必要があり、地震被害を明らかにする基礎資料は地震被害想定になる。

地震被害想定は、対象地域に甚大な被害をもたらす可能性のある地震を洗い出し、その地震による被害を予測することである。この予測は、地震学、地震工学、災害社会学などの最新の知見を取り入れ、地域の自然的条件、都市環境などの社会的条件および産業構造の特性なども加味して、地域に影響を及ぼす地震による地震動の大きさや構造物の損壊、火災の発生などの物的被害、そこから発生する人的被害、経済被害を定量的または定性的に予測することになる。

具体的には、想定地震の決定は、東日本大震災から得られた教訓として、発生頻度はきわめて低いが発生すれば甚大な被害をもたらす、あらゆる可能性を考慮した最大クラスの地震・津波を想定の対象とすることが一般的になっている。そして想定地震が発生した場合の被害予測は、過去の地震被害のデータに基づいた、被害項目ごとに被害の原因と結果の関係を分析した被害推計式により行う。被害予測は、まず想定地震による地盤の揺れとそれに伴う液状化を予測する。つぎに、揺れによる被害と液状化などによる被害として、建物被害、火災被害、ライフライン被害、交通被害などを予測する。さらに、建物被害、火災被害、交通被害などから死傷者数などを予測し、建物被害、上水道被害、

および交通被害などからは避難者数や帰宅困難者数を予測する。

この被害想定手法の詳細を理解することにより、被害想定の数値をうのみにするのでなく、被害想定的前提や条件を知り、予測された数値の精度や意味することの本質を知ることができる。また、被害想定は、過去の地震被害データの蓄積や研究成果から一つ一つの被害項目の発生プロセスを構築して予測しているため、想定手法を知ることにより、一つ一つの被害項目の被害発生メカニズムを理解することができる。

被害想定により出された被害予測数値に対して、自治体や事業体は防災・減災の観点から対応策を計画・実施する必要がある。

被害想定による予測数値は、建物被害のように地震直後に発生するもの、地震火災のように延焼拡大により数日後に顕著になるもの、避難者などの社会的被害のように地震発生直後というより2~3日後以降から顕著になるものなど、被害項目により被害が大きくなる経過時刻が異なる。しかし被害想定の子測数値では時刻の経過は明確ではない。

また、地震被害想定では、想定されている地震は発生頻度はきわめて低いが、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの地震・津波を想定の対象とすることが一般的である。しかし、まれにしか発生しない地震への対策に用意できる予算には限りがあり、最も効果のある対策に予算を投入することが必要になってくる。

防災・減災対策を計画・実施する際には、地震発生から時間経過ごとの被害の状況を、被害想定を基に地震発生からの被害様相を作成して考える必要がある。また、防災・減災対策への優先順位や費用対効果を考える場合は、地震により発生すると想定される地震被害を総合的に判断し、確率的な考え方をを用いて被害規模を地震リスクとしてコストに置き換えて予測し、地震リスクに対する支配的な要因を抽出し、その被害要因に対する被害低減策の効果を投資と地震リスクの低減に置き換えて評価する、地震リスクマネジメント手法が必要になってくる。

本書では、1章として地震被害想定の子測と、地震災害の全体像と被害想定

の概要について述べている。つぎに地震被害項目別の概要とその被害想定手法に関して、2章では想定地震と、それによる建物被害や地震火災による物的被害、人的被害、および津波被害を、3章では社会的被害について述べている。4章は、被害想定予測を基に、時間経過ごとの都市での地震被害に関する様相を述べている。そして、5章で地震災害対策の手法の一つである地震リスクマネジメントについて、リスクの考え方の基本から述べている。

以上の内容により、地震の被害概要と被害想定手法を知ることにより地震被害発生メカニズムを理解し、そして地震リスクマネジメントの内容を理解することを目的としている。

本書が、地震災害に対する防災・減災対策のための理解の第一歩になれば幸いである。

本書発行直前の平成28年4月14日以降の一連の地震により、熊本県・大分県においては、甚大な被害が及び、多くの尊い命が失われました。犠牲になられた方々に謹んで哀悼の意を表するとともに、被災されたすべての方に心からのお見舞いを申し上げます。また、一刻も早く、復旧・復興がなされますようにお祈り申し上げます。

2016年5月

矢代 晴実

カバーデザイン  
写真出典：地震調査研究推進本部  
ホームページ  
提供元：阿部勝征氏，岩手県山田町

# 目 次

## 1. 序 論

1.1 地震被害想定之目的	2
1.2 地震被害想定之概要	3
引用・参考文献	7

## 2. 人的・物的被害と被害想定

2.1 地震想定と地震動	8
2.1.1 想定地震の設定と地震による揺れ	8
2.1.2 地震動予測と液状化・地震災害想定	14
2.2 建物被害	21
2.2.1 建物の地震被害の概要	21
2.2.2 建物被害想定	24
2.3 地震火災	30
2.3.1 地震火災被害	30
2.3.2 地震火災被害想定	32
2.4 人的被害	38
2.4.1 地震の人的被害	38
2.4.2 地震の人的被害想定	41
2.5 津波被害	49
2.5.1 津波被害	49
2.5.2 津波の被害想定	53

引用・参考文献	61
---------	----

### 3. 社会的被害と被害想定

3.1 ライフラインの被害	65
3.1.1 ライフラインの地震被害	65
3.1.2 ライフラインの被害想定	68
3.2 避難者・帰宅困難者	87
3.2.1 避難生活者数	87
3.2.2 帰宅困難者数	91
引用・参考文献	96

### 4. 都市の地震被害様相

4.1 首都直下地震の被害概要	99
4.2 地震発生直後の様相	99
4.2.1 建物・人的・火災被害様相	99
4.2.2 ライフライン被害様相	102
4.2.3 交通施設の被害様相	102
4.2.4 生活への影響	102
4.2.5 災害応急対応など	103
4.3 地震発生当日から翌日・2日後の様相	106
4.3.1 被害状況	106
4.3.2 ライフライン被害様相	106
4.3.3 交通施設の被害様相	106
4.3.4 生活への影響	107
4.3.5 災害応急対策など	108
4.4 地震発生から3日後の様相	109

4.4.1	ライフラインの被害様相	109
4.4.2	交通施設の被害様相	110
4.4.3	生活への影響	110
4.5	地震発生から1週間後以降の様相	113
4.5.1	ライフラインの被害様相	113
4.5.2	交通施設の被害様相	113
4.5.3	生活への影響	113
	引用・参考文献	118

## 5. 地震リスクマネジメント

5.1	リスクとリスクマネジメント	119
5.1.1	リスクの概念	119
5.1.2	リスクと確率	124
5.1.3	リスクマネジメント	130
5.2	地震リスクマネジメント	133
5.2.1	地震リスクの評価	133
5.2.2	地震リスクの対応	142
	引用・参考文献	148

あ	と	が	き	151
索		引		153

# 1

## 序 論

日本は多くの地震被害を受けた経験があり、地震による多様な被害を受けてきた。

地震が陸域で発生した場合は、震源近くで地盤は変位の食違いが発生して地表に大きな段差を残すことがあり、海域で発生した場合は、津波が発生することがある。そして、震源を中心に広く強い地震動（強震動）を発生させる。その強震動により地盤の液状化が発生したり、建物・構造物・都市施設が被害を受け、住民生活や社会に直接・間接の被害や影響を与える。直接被害は、強震動、強震動によるがけ崩れや地盤の液状化による建物被害、ライフライン被害と

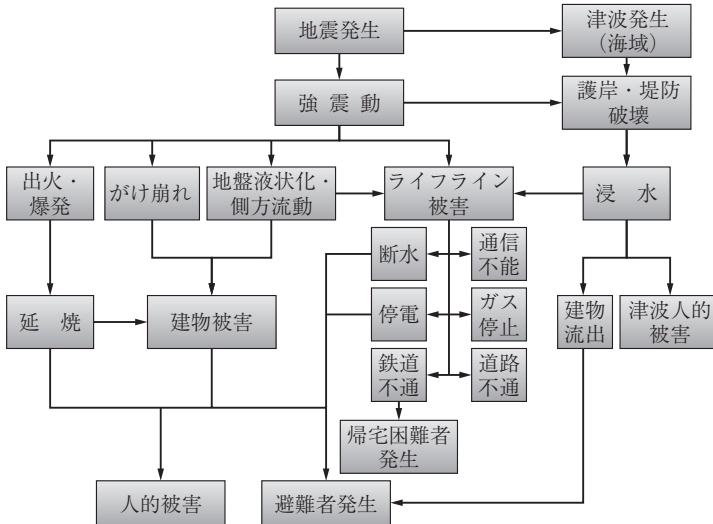


図 1.1 地震災害の現象



人的被害，そして津波発生による浸水による建物流出・津波人的被害などである。間接被害は、直接被害から派生する避難者の発生，帰宅困難者の発生や企業活動の停止，交通機関の停止による人・物の移動流通停止などによる経済被害などである。図 1.1 に地震災害の現象の流れを示す。企業活動の停止，交通機関の停止による人・物の移動流通停止などによる経済被害を除いたものである。

本章では，地震の被害現象を定量的・定性的に予測した被害想定に関して，その目的と役割を述べる。

## 1.1 地震被害想定之目的

地震被害想定は，先に示した地震災害の現象に沿って，被害予測をするものである。

被害想定では，前提条件としてある特定の地震を想定し，その地震が発生した場合に自治体などでの震度分布がどのようになるのかを把握し，その際の人的被害としての死傷者数や物的被害としての建物の倒壊棟数，火災やがけ崩れの発生状況，津波高や津波被害などを予測するものである。

そして被害想定は，単に人的・物的被害などの定量的・定性的な予測をするだけでなく，防災・減災対策の検討に生かすことを目的として，それぞれの被害が発生した場合の被災地の状況について，時間経過を踏まえ，相互に関連して発生しうる事象について，対策実施の困難性も含めてより現実的に予測するものである。

予測結果は，地震の被害を低減するために事前にどの地域でどのような対策を行う必要があるのか，また，地震発生時の応急対策活動としてどのようなことが必要になるのか，などの地震対策を検討する際の基礎資料として活用される。

また，被害想定は，数年に一度見直しが行われる。それは自治体などの人口や年齢構成，建物の構造分布や建物年代，道路・上水道などのインフラ整備などの状況が変化しているため，新たなデータに基づき被害想定を実施する必要があるからである。さらに，東日本大震災のような災害が発生するとその経験

を踏まえ、起こりうる被害をより広くとらえ、被害を定量的に示すことが困難なものについても定性的な被害シナリオを示すことにより、防災対策を立案する上での基礎資料とする必要がある。

以上のことから、被害想定目的は以下のとおりである。

- ① 地震学および地震工学などの最新の知見や技術を用い、自治体などの自然的条件やデータを用いて社会的条件の特性を加味して、地域に影響を与える地震による地震動の大きさや人的・物的、経済被害などの予測を行う。
- ② 地震に対する自治体などの脆弱性<sup>ぜいじやく</sup>を評価することにより、地域防災計画や地震防災諸施策の検討の基礎資料とする。
- ③ 地震による被害の軽減目標と、その目標を達成するために有効な対策を明確にした地震防災戦略などの見直しを行うための基礎資料とする。

## 1.2 地震被害想定概要

地震被害想定の実施は、前提条件として自治体などに被害を及ぼす地震を想定する。そして、その地震による地震動を受ける自治体などに関して、自然条件（震源断層、地質・地下調査、地下水位、地形、ボーリングデータ、土質データ、地形の標高・急斜面など）や、社会条件（人口、建物データ、ライフラインデータ、交通施設データ、重要施設データ、消防力 など）、災害対応力（地域防災計画、団員や機材などの自治体などの防災資源、近隣自治体からの応援体制 など）に関する調査を実施する。

つぎに想定地震と自然条件により地震動・液状化、斜面崩壊といった自然条件における地震災害の予測を行う。この結果と社会条件の調査の結果より地震被害想定を予測を行う。地震被害想定を実施する際の主な調査項目と調査の流れを図 1.2 に示す<sup>1)†</sup>。また、実施される予測項目について表 1.1 に示す。

<sup>†</sup> 肩付番号は、章末の引用・参考文献の番号を表す。2章以降も同様である。

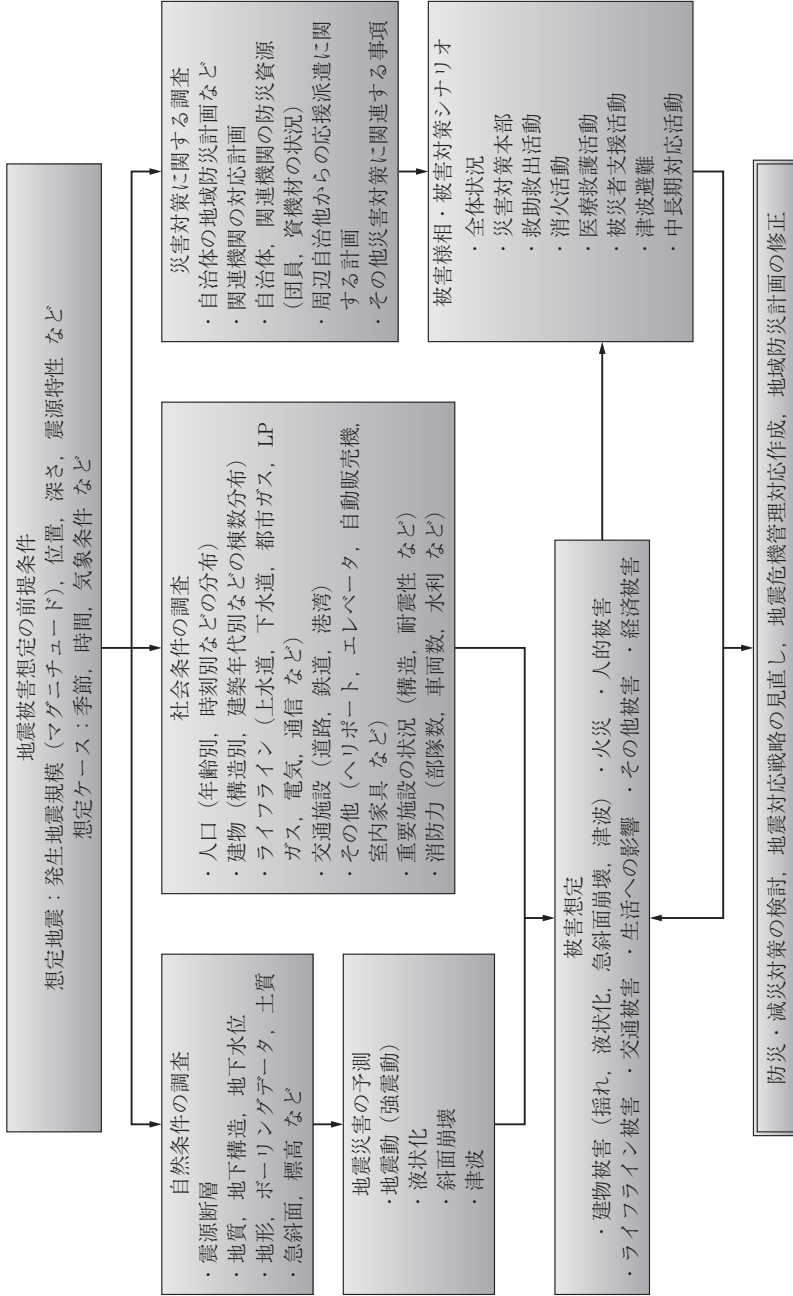


図 1.2 地震被害想定調査の流れ<sup>1)</sup>

表 1.1 地震被害想定予測項目

強震動	計測震度	ライフライン被害	上水道被害	
	最大加速度		下水道被害	
	最大速度		都市ガス被害	
	SI値		LPガスボンベ被害	
	液状化危険度		電力被害	
	急傾斜地崩壊		通信被害	
	宅地造成地崩壊		インターネット被害	
	津波		生活への影響	避難者数
	長周期地震動			要援護者数
	帰宅困難者数			
屋外転倒、落下物	ブロック塀転倒		物資	
	自動販売機転倒		医療機能	
	屋外落下物の発生		保健衛生、防疫、遺体処理など	
建物被害	揺れによる建物被害	その他	エレベータ停止による閉込め	
	液状化による建物被害		長周期による高層ビルへの影響	
	急傾斜地崩壊による建物被害		道路閉塞	
	津波による建物被害		危険物、コンビナート被害	
火災	出火件数		地下街、ターミナル駅被害	
	焼失棟数		文化財被害	
人的被害	建物被害による死傷者		大規模集客施設被害	
	急傾斜地崩壊による死傷者		鉄道、自動車被害	
	ブロック塀などの倒壊による死傷者		河川堤防、ため池被害	
	自動販売機転倒による死傷者		災害廃棄物	
	屋内収容物の移動・転倒による死傷者		ヘリポート機能支障	
	屋外落下物による死傷者		複合被害	
	火災による死傷者		治安	
	津波による死傷者		社会中枢機能への影響	
	自力脱出困難者数(要救出者数)		震災関連死	
	津波による要救助者、要捜索者		重要施設の被害想定	
	交通被害	道路被害(高速道路、一般道路)	経済被害	資産などの被害
鉄道被害		生産、サービス低下による影響		
港湾被害		交通寸断による影響		

## あ と が き

本書において、地震被害想定の目的、被害想定概要、想定地震の考え方、建物被害予測や地震火災などによる物的被害と人的被害および社会的被害の被害概要と想定手法、被害想定予測を基にした時間経過ごとの地震被害様相、そして地震リスクマネジメントに関して述べた。

被害想定手法の詳細を理解することにより、被害想定予測の数値をうのみにせず、被害想定的前提や条件を知り、予測された数値の精度や意味することの本質を理解し、被害手法から被害項目の被害発生メカニズムを理解してもらいたいと考えた。また、地震発生からの被害様相を知ることから防災・減災対策および緊急対応策を考える基礎情報を得られること、そして防災・減災対策への優先順位や費用対効果を考えるために地震リスクマネジメント手法が有効なこと、を知ってもらいたいと考えた。

しかし、本書で述べた被害想定手法や地震リスクマネジメント手法で実施された予測数値と実際の被害は、相当の幅をもって変動する可能性がある。結果の変動要因としては、以下の点が挙げられる。

- (1) 実際に発生する地震が想定どおりになるとはかぎらない。
- (2) 地震により地震動強さ、津波高・到達時間にばらつきが大きい。
- (3) 過去の大規模な地震被害例に限られることから、被害の定量化のために作成した推定式が少数のデータに依拠したものにならざるを得ない。  
また、ばらつきのあるデータは平均化して取り扱っているため、個別の構造物の特性まで十分には反映できていない。
- (4) 地震動や津波などのハザードの情報から被害予測をする定量的評価と、地震火災、人的被害や社会的被害のような2次的、3次的被害の予測には、まだ多くの課題が残されている。

- (5) さまざまな仮定をにおいて予測したものである。
- (6) 被害の中には現状の技術では定量評価ができなかった項目がある。
- (7) 過去の地震では発現されなかった被害で、現在の社会では発生確率は小さくてもそれが起これば甚大な被害を及ぼすような事象が、発生する可能性もある。
- (8) 被害予測は、ある一定の条件の下で想定するもので、季節、気象、時間によっては被害量が大きく変動する。また、最新の知見や技術によっても誤差が含まれる。
- (9) 現状での被害予測結果は、地震防災・減災対策の進捗により変化する。現在の社会状況の下での被害想定がなされるため、地震防災・減災対策の進捗や社会状況の変化に伴い、被害の種類や量が変化していくことを理解しておく。

これらの問題点については、今後の研究課題として取り組みながら、より精度の高い手法を開発する必要があると考えている。

今後、日本では首都直下地震や南海トラフ巨大地震などの発生する切迫度が高まっているなかで、被害想定や地震リスク評価によりリスクの定量化・定量化を行い、社会状況の変化や安全技術の向上なども踏まえ、効率的なハード・ソフト両面の防災・減災対策を進める必要がある。

本書が少しでも防災・減災対策向上のお役に立てれば幸いである。

# 索 引

<b>【あ】</b>	仮設トイレ	112	港湾岸壁被害率	85	
	仮想地震	136	固有周期	136	
安全率	121	加速度応答スペクトル	11	<b>【さ】</b>	
<b>【い】</b>	火面周長	36	災害対応活動	103	
意思決定	119, 122	間接被害	2	再現期間	139
異常災害債券	144	岩盤	11	<b>【し】</b>	
移動用無線基地局車	107	管路被害	68	死者率	41
イベント曲線	139	<b>【き】</b>		地震	8
イベントツリー	120	危機管理	130	地震PML	139
<b>【え】</b>		期待効用理論	125	地震火災被害	32
影響度	119, 126, 129	期待値	125	地震対策シナリオ	6
液状化	13, 16	帰宅可能者	93	地震動	8, 14
液状化安全率	18	帰宅困難者	93	地震動強さ	136
液状化危険度	17	帰宅困難率	94	地震動伝播	14
液状化指数	18, 27	救援物資	114	地震による損失額	134
延焼火災	30, 106	救急活動	104	地震リスク	132
延焼遮断帯	36	救命	104	地震リスク評価	134, 137
炎上出火	33	供給停止	106	地震リスク分析	132, 134
延焼出火件数	34	強靱化	128	支払限度額	141
炎上出火率	33	共振現象	136	地盤災害	14
延焼速度	36	距離減衰式	16, 136	地盤増幅度	16
<b>【お】</b>		キラーパルス	136	斜面崩壊	18, 29
応答解析	24, 27	緊急時対応	130	斜面崩壊危険度ランク	19
応答スペクトル	137	緊急通行車両	110	渋滞	108
<b>【か】</b>		緊急輸送活動	104	首都直下地震	9
海溝型地震	9	緊急輸送道路	106, 110	条件付きの支払期待値	141
架空線被害	72	<b>【け】</b>		焼失棟数	36
家具転倒率	43	計画停電	109, 113	自力脱出困難者	41, 106
確率	119, 129	経済合理性	127	浸水深	50
確率密度関数	141	経済損失	126, 138	浸水範囲	51
火災域拡大	36	<b>【こ】</b>		人的被害	2
		工学的基盤面	14	震度別道路施設被害率	77
				真の不確実性	123

	<b>【せ】</b>	道路啓開	106	不確実性	122
		道路啓開作業	108	物的被害	2
生起確率	125	道路閉塞	108	腐敗性廃棄物	114
生産・物流機能	107	道路リンクの閉塞率	78	プレート内地震	9
絶対安全	125	特設公衆電話	107	プロスペクト理論	125
全壊率	41, 46			<b>【へ】</b>	
先験的確率	122, 123	<b>【な】</b>		閉塞率	75
	<b>【そ】</b>	ナショナルレジリエンス	127	ベアシスリスク	145, 148
層間変形	137	軟弱地盤	11	<b>【ほ】</b>	
早期避難率	53			ポートフォリオ	135, 138
損失関数	138	<b>【に】</b>		<b>【め】</b>	
	<b>【た】</b>	認知バイアス	125	免責金額	141
代替のリスク移転	144	<b>【ね】</b>		<b>【も】</b>	
宅地造成地盤	14	年間超過確率	139	モデリング	124
建物内滞留人口	41, 46	年期待損失	141	<b>【よ】</b>	
建物被害予測式	26	<b>【は】</b>		要救助者数	41
短期避難者	88	ハイリスクハイリターン	120	要救助者率	46
断水人口率	69	発生確率	126	<b>【ら】</b>	
断水率	69	<b>【ひ】</b>		ライフライン	65
	<b>【ち】</b>	被害想定	3	<b>【り】</b>	
超過確率	134, 139	被害暴露量	99	リスク	119, 122, 130
長期避難者	88	被害様相	6	リスクアセスメント	132
長周期地震動	137	被害様相予測	99	リスク曲線	134, 139
直接被害	1	被害率曲線	24, 26	リスクコントロール	133, 142
	<b>【つ】</b>	非常用電源	107, 108	リスク処理	142
通電火災	106	非常用発電	110	リスク評価	124, 132
通話支障	113	微地形分類	16	リスクファイナンス	133, 142, 144
津波波高	51	避難完了所要時間	57	リスク分析	132
	<b>【て】</b>	避難行動	57	リスクベース	120
停電件数	73	避難者	87	リスクベース経営	129
停電率	75	避難速度	57	リスクマトリックス	127
定量評価	124	避難未了率	57	リスクマネジメント	127, 130, 131
電柱折損率	73	ヒューリスティック	125		
電柱被害本数	73	表層地盤	16		
	<b>【と】</b>	表層地盤増幅度	16		
統計的確率	122, 123	<b>【ふ】</b>			
統計分析	123	フォルトツリー	120		



リスクマネジメントプロセス	131	<b>【欧文】</b>	$F_L$ 値	18	
<b>【れ】</b>			FT	120	
		ART	144	L1 津波	53
		CATBOND	144	L2 津波	53
レジリエンシー	142	ERM	129	$P_L$ 値	18
		ET	120		

**矢代 晴実** (やしろ はるみ)

防衛大学校教授, 工学博士

早稲田大学大学院理工学研究科博士課程修了 (建設工学専攻)

早稲田大学助手, 東京海上日動火災保険会社, アジア防災センター,

東京海上日動リスクコンサルティング株式会社を経て, 現職

専門: 地域・都市防災学, リスクマネジメント, 危機管理

著書: 『都市の地震防災』フォーラムエイトパブリッシング (2013年)

『大規模災害概論』コロナ社 (2014年)

**佐藤 一郎** (さとう いちろう)

東京海上日動リスクコンサルティング株式会社, 企業財産本部長,

博士 (工学), 一級建築士

東京大学大学院工学系研究科博士課程修了 (建築学専攻)

清水建設株式会社勤務を経て, 現職

専門: 信頼性工学, 災害リスク, リスクマネジメント

**鳥澤 一晃** (とりさわ かずあき)

鹿島建設株式会社技術研究所, 主任研究員, 博士 (工学), 一級建築士

横浜国立大学大学院環境情報学府博士課程単位取得満期退学 (環境リスクマ

ネジメント専攻)

専門: 地震リスク評価, リスクマネジメント, 空間情報科学 (GIS)

**震災工学 — 被害想定・リスクマネジメントからみた地震災害 —**

Engineering of Earthquake Disaster

— From the Aspect of Damage Estimates and Risk Management —

© Harumi Yashiro 2016

2016年6月23日 初版第1刷発行



検印省略

編著者 矢代 晴実

著者 佐藤 一郎

鳥澤 一晃

発行者 株式会社 コロナ社

代表者 牛来真也

印刷所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03)3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-05250-3

(金)

(製本: 愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします