

厳 秘
Confidential

パシフィコ・エナジー・ストレージ 4 号合同会社 御中

地震リスク分析報告書

対象拠点：船橋市大神保町

2024 年 11 月

MS&AD インターリスク総研株式会社



2-102-2301—2409853

目 次

I. 評価対象.....	1
II. 被害想定	2
1. 対象ハザード	2
2. 分析に用いた物件情報.....	2
3. 確率分析.....	2
4. シナリオ分析	2
III. 地震、津波による被害	4
1. 地震による被害	4
(1) 被害率と被災度の関係	4
(2) 建築年代と地震被害	5
2. 津波による被害.....	6
(1) 津波高さと浸水深の関係.....	6
(2) 東日本大震災における津波被害	6
IV. 分析手法.....	7
1. 分析手順.....	7
2. イベントカタログ生成.....	8
3. ハザード強度算定	9
(1) 地震ハザード強度.....	9
(2) 津波ハザード強度.....	10
4. 被害算定（シナリオ分析）	12
(1) 揺れによる被害	12
(2) 液状化による被害.....	13
(3) 地震後火災による被害	14
(4) 津波による被害	15
5. 被害算定（確率分析）	16
6. 不確実性の考慮.....	18

<ご注意いただきたい事項>

1. 本報告書は、貴法人・管理者・公的機関その他から提供された情報に基づいて作成しています。当社としては、その正確性および完全性の検証ができないため、ご提供いただいた情報の齟齬による報告結果の不的確さについての責任は負いません。
2. 本報告書は、調査・分析の対象物に係わる全てのリスクを洗い出していること、もしくは他にリスクが存在しないことを保証するものではありません。
3. 本報告書作成に用いた分析方法は、過去の被害データを含むデータおよび最新の工学的知見に基づいて構築されています。しかしながら、分析モデルの構成等に多くの仮定がなされています。また分析に使用している情報も限られたものとなっております。従って、分析結果には然るべき予測誤差が含まれ、その使用方法によっては予測誤差が使用目的の許容範囲を超える場合もあります。また、本報告書において算出した被害想定額（または被害想定率）については、それらを超える損失が生じないことを保証するものではありません。本分析結果の使用に際しましては、この点を十分ご留意下さい。
4. 本報告書においては、地震に起因する人命などの損害については考慮していません。
5. 本報告書に基いて貴法人が決定された事項およびその結果につきましては、当社および分析ソフト開発会社（AIR Worldwide）は一切その責任を負わないものとします。
6. 貴法人は、当社の事前の文書による承諾がない限り、本報告書を融資金融機関や証券化の場合の投資家・格付機関等に開示することはできません。

I．評価対象

本リスク分析では以下の物件を対象としました。

拠点名	所在地
船橋市大神保町(蓄電池)	千葉県船橋市大神保町

II. 被害想定

本リスク分析は、AIR Worldwide の自然災害リスク分析ソフトウェア Touchstone を用いて実施しました。

1. 対象ハザード

本リスク分析は以下のハザードを対象としました。

■地震動・液状化 ■地震後火災 ■津波

2. 分析に用いた物件情報

本リスク分析は分析対象に関する以下の情報を反映しました。

■所在地 □建築年（施工前） ■建物構造 □階数 ■用途

3. 確率分析

確率分析では、対象拠点に被害を与える全ての地震を考慮し、将来発生し得る損失の大きさとその発生確率を算出します。

本報告書では、年超過確率 1.0%、0.4%、0.21%に相当する被害想定額をご提示します（被害想定率は合計再調達価額に対する被害想定額の割合です）。

年超過確率	被害想定率
年超過確率 1.0%（再現期間 100 年）	2.5%
年超過確率 0.4%（再現期間 250 年）	8.6%
年超過確率 0.21%（再現期間 475 年）	14.7%

4. シナリオ分析

シナリオ分析では、対象拠点に大きな影響を与える活断層やトラフ等で地震が発生した場合の被害想定額（率）をご提示します。

地震シナリオ	被害想定率
首都直下地震（元禄型関東地震） Mw8.5 程度	13.6%
相模トラフの地震 Mw7.7 程度	12.3%
フィリピン海プレート内部の地震（首都圏近郊） Mw7.2 程度	12.0%

【補足資料】年超過確率、再現期間について

確率分析では、現在想定する地震の発生確率に基づき、年超過確率に対する被害想定額を算出します。例えば、年超過確率 0.21% の被害想定額が 1 百万円の場合、「今後 1 年間に 0.21% の確率で、1 百万円以上の被害が生じる」と読み取ることができます。

年超過確率 0.21% のかわりに、「再現期間 475 年」や「50 年間での超過確率 10%」という形で確率を表現することも可能です。但し、これらの表現は現在から 1 年後までの被害の発生確率が将来的に変化しないことを前提としています。

実際には、被害の発生確率は時々刻々と変化するため、これらの表現は参考情報としてご理解ください。

現在から 1 年後までの被害の発生確率が 今後も変わらないと仮定		
年超過確率	再現期間	一定期間※での超過確率
年超過確率 1.0%	再現期間 100 年	50 年間での超過確率 約 39%
年超過確率 0.4%	再現期間 250 年	50 年間での超過確率 約 18%
年超過確率 0.21%	再現期間 475 年	50 年間での超過確率 約 10%

※一般的な建物の供用期間として、50 年間での超過確率を記載しています。

○再現期間

再現期間は、被害想定額以上の被害が平均 1 回生じる期間を示し、年超過確率の逆数で求められます。但し、再現期間内に必ず 1 回被害想定額以上の被害が生じるわけではなく、期間内に被害想定額以上の被害が生じない可能性や、2 回以上生じる可能性があることに注意が必要です。

例えば、年超過確率 0.21% は再現期間 475 年に相当します。再現期間 475 年の被害想定額が 1 百万円の場合、「（被害の発生確率が変わらなければ）今後 475 年間に平均 1 回、1 百万円以上の被害が生じる」となります。

○一定期間での超過確率

被害の発生確率が不変と仮定すると、被害がポアソン過程に基づいて発生すると見なし、年超過確率を一定期間での超過確率で表現することができます。

例えば、年超過確率 0.21% は、50 年間での超過確率 10% に相当します。50 年間での超過確率 10% の被害想定額が 1 百万円の場合、「（被害の発生確率が変わらなければ）今後 50 年間に 10% の確率で、1 百万円以上の被害が生じる」となります。

Ⅲ. 地震、津波による被害

1. 地震による被害

(1) 被害率と被災度の関係

地震リスク分析では、建物や設備などの価額をベースとし、地震によって生じる被害を損害額として算出します。建物・設備の価額に対する損害額の割合を被害率と呼びます。

内閣府「災害に係る住家の被害認定基準」に定められる、損害率に応じた建物の被災区分を下表に示します。下表は住家を対象としていますが、建物の被害率と実際の損害の関係を把握する目安となると考えられます。

表 建物の被災区分と被害率

(出典：「災害に係る住家の被害認定基準運用指針」内閣府)

被災区分		内容	建物の被害率
全壊		住家がその居住のための基本的機能を喪失したもの、すなわち、住家全部が倒壊、流失、埋没、焼失したもの。 または住家の損壊が甚だしく、補修により元通りに再使用することが困難なもの。	50%～
半壊	大規模半壊	半壊であり、構造耐力上主要な部分の補修を含む大規模な補修を行わなければ当該住宅に居住することが困難なもの	(半壊のうち) 40%～50%未満
	半壊	住家がその居住のための基本的機能の一部を喪失したもの、すなわち、住家の損壊が甚だしいが、補修すれば元通りに再使用できる程度のもの。	20%～50%未満

また、財務省 HP「地震保険制度の概要」による、地震保険による保険金の支払区分を下表に示します。

表 地震保険の支払区分と被害率 (2017 年 1 月以降始期契約)

(出典：「地震保険制度の概要」財務省)

支払区分	内容 (建物)	内容 (家財)
全損	主要構造部 (土台、柱、壁、屋根等) の損害額が、時価の 50%以上である損害	地震等により損害を受け、損害額がその家財の時価の 80%以上である損害
大半損	主要構造部 (土台、柱、壁、屋根等) の損害額が、時価の 40%以上 50%未満である損害	地震等により損害を受け、損害額がその家財の時価の 60%以上 80%未満である損害
小半損	主要構造部 (土台、柱、壁、屋根等) の損害額が、時価の 20%以上 40%未満である損害	地震等により損害を受け、損害額がその家財の時価の 30%以上 60%未満である損害
一部損	主要構造部 (土台、柱、壁、屋根等) の損害額が、時価の 3%以上 20%未満である損害	地震等により損害を受け、損害額がその家財の時価の 10%以上 30%未満である損害

(2) 建築年代と地震被害

建築物の耐震基準は、大地震による地震被害を教訓として、過去何度も改正されてきました。特に、1981年の改正により建物の構造設計法が大きく変更されたため、1981年の改正以前の耐震基準を旧耐震基準、それ以降の耐震基準を新耐震基準と、一般的に呼んでいます。

新耐震基準の考え方は、建物の存在期間中に数度遭遇するであろう中規模地震（＝震度5強程度）に対して、建物をほぼ損傷なしとすること、また、建物の存在期間中に一度は遭遇するかもしれない大規模地震（＝震度6強～7に達する程度）に対して、倒壊・崩壊せず人命の安全が確保されることを目標としています。一方、旧耐震基準では中規模地震に対する設計は行われていますが、大規模地震については安全性を確認していません。

過去の大地震においても、新耐震基準により設計された建物は、旧耐震基準により設計された建物に比べ、地震被害が小さかったことが知られています。以下に、阪神・淡路大震災から得られたデータを参考として示します。

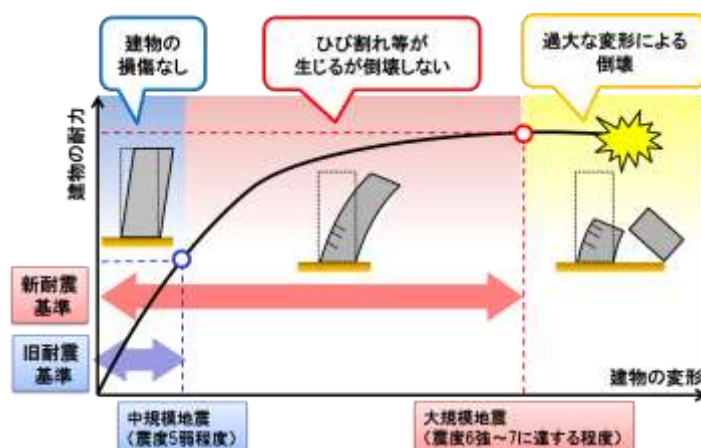


図 新耐震基準の概要
(国土交通省資料を基に作成)

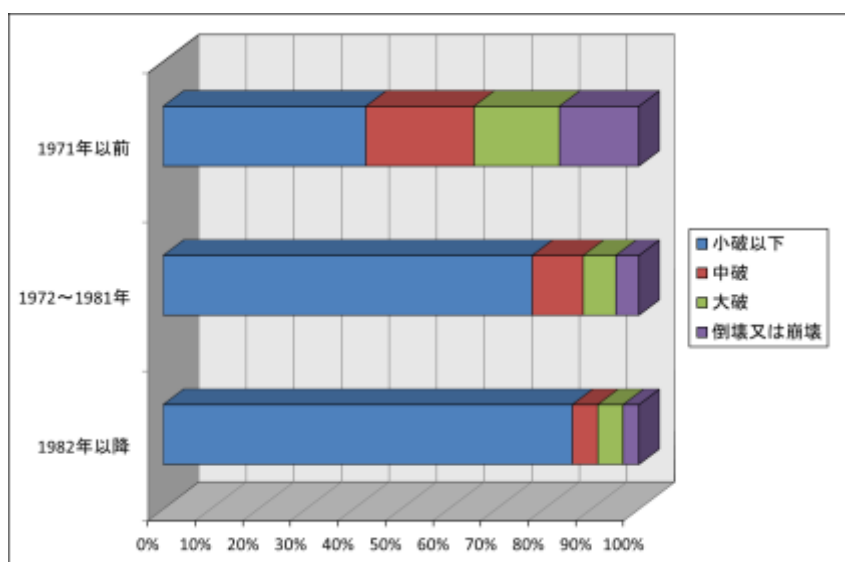


図 阪神大震災における建築年代別の建物被害状況
(建築震災調査委員会「平成7年阪神・淡路大震災建築震災調査委員会中間報告書」を基に作成)

2. 津波による被害

(1) 津波高さと浸水深の関係

津波の高さを表す用語について、下図に示します。

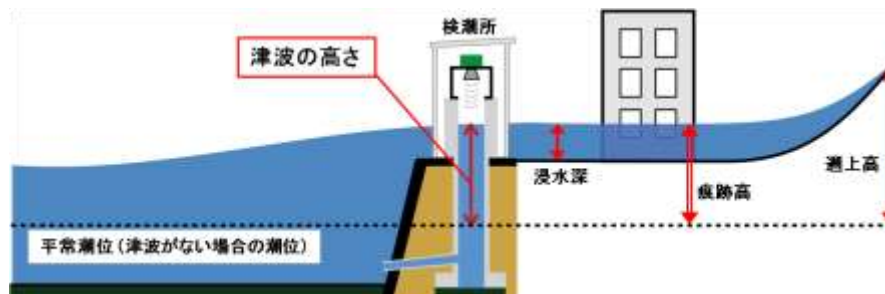


図 検潮所における津波の高さと浸水深、痕跡高、遡上高の関係

(出典：「津波について」 気象庁)

津波の高さ：津波がない場合の潮位（平常潮位）から津波によって海面が上昇した高さ

浸水深：地盤から津波痕跡までの高さ

痕跡高：津波がない場合の潮位（平常潮位）から津波痕跡までの高さ

遡上高：津波がない場合の潮位（平常潮位）から津波による浸水の最先端が達した高さ

(2) 東日本大震災における津波被害

国土交通省「東日本大震災の津波被災現況調査結果（第2次報告）」より、建物構造別（鉄筋コンクリート造、鉄骨造）の浸水深と建物被災状況の関係を下表に示します。浸水深2.0m以上から全壊となる建物の割合が大きく増えていることが読み取れます。

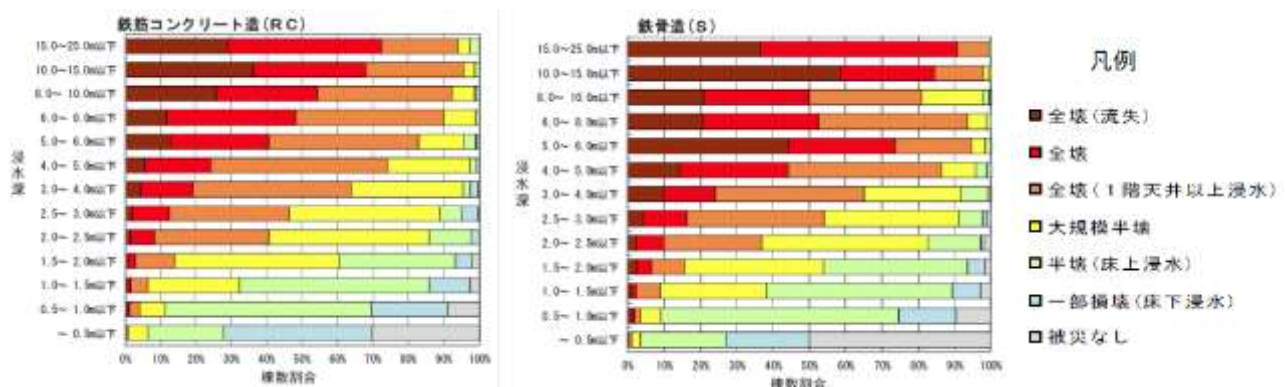


図 建物構造別の浸水深と建物被災状況の関係

(出典：「東日本大震災の津波被災現況調査結果（第2次報告）」 国土交通省（2011）

IV. 分析手法

1. 分析手順

地震・津波リスク分析は、対象拠点に影響を及ぼす地震源の特性、対象拠点直下の地盤状況、構造物の耐震性等を評価し、地震・津波に起因する評価対象物の被害想定率を算出するものです。

リスク分析の手順は以下フローのとおりです。

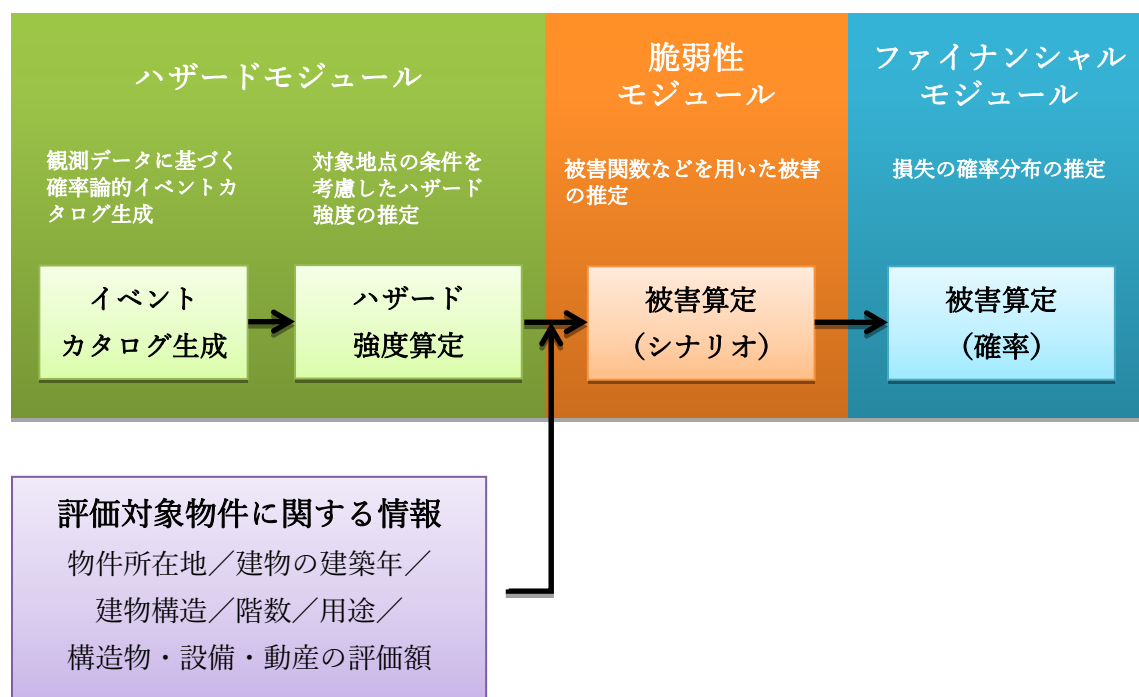


図 リスク分析の手順

2. イベントカタログ生成

地震・津波リスク分析では、日本全国の震源について震源位置、深さ、規模（マグニチュード）、発生確率等を評価したデータベース（イベントカタログ）を用いて対象拠点の被害想定率を算出します。

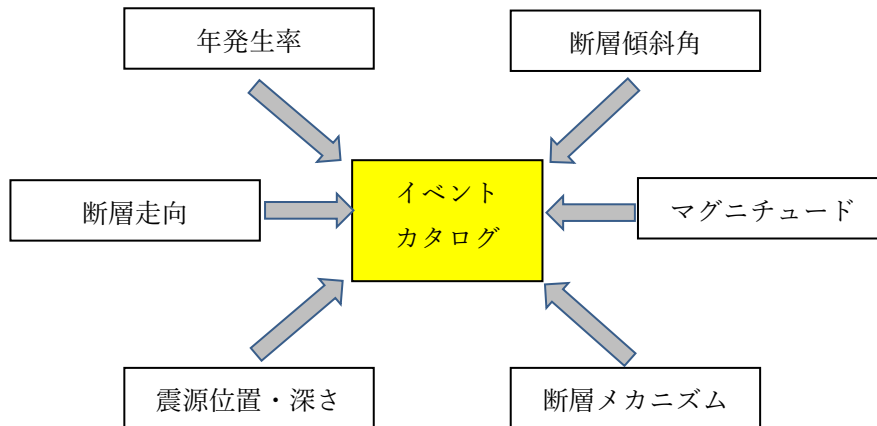


図 イベントカタログの項目

震源としては、地震調査研究推進本部の長期評価結果（主要な活断層で発生する地震や海溝型地震を対象に、地震の規模や一定期間内に地震が発生する確率を予測した、地震発生可能性の長期評価）を基に、AIR Worldwide の独自見解を加えた約 80 万のシナリオを考慮しています。

なお、津波を発生させる地震としては、約 5,000 シナリオを考慮しています。

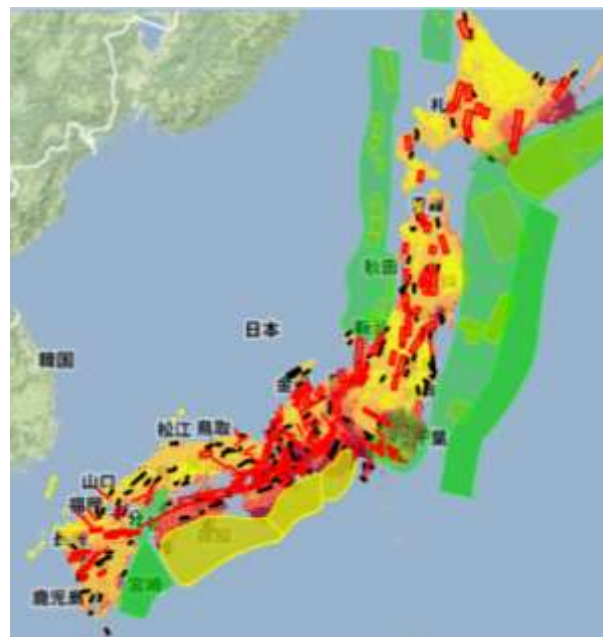


図 主な震源の位置

（出典：地震調査研究推進本部）

3. ハザード強度算定

前項のイベントカタログで評価された各震源について、評価対象地点における揺れの強さ、津波による浸水深・速度等を算定します（これらを「ハザード強度」と呼びます）。

（1）地震ハザード強度

地震による揺れの強さは、伝播特性（震源から離れると揺れは小さくなる）と、地盤増幅度（評価対象地点直下の地盤で揺れが増幅する）から算定します。

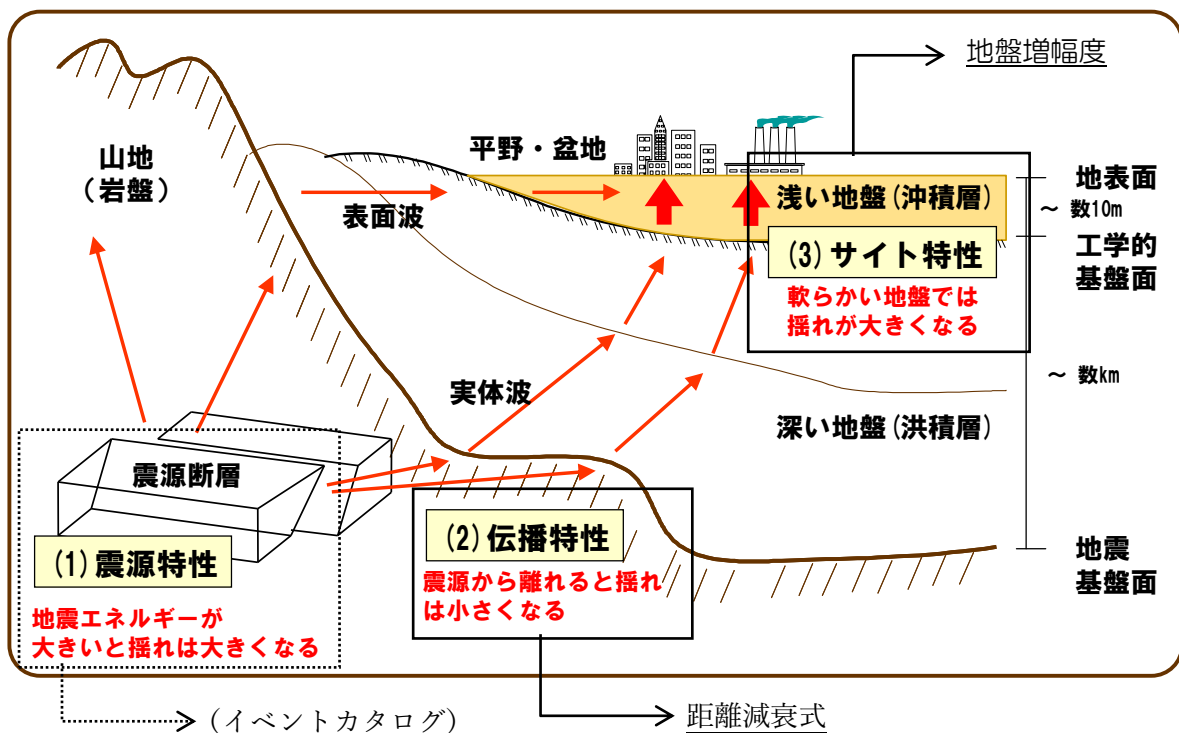


図 地震による揺れの強さの算定イメージ

地震による揺れは震源から遠くなるほどエネルギーを消費して減衰します。リスク分析では、過去の地震における観測データを基に震源からの距離と揺れの強さを関数化して表現した「距離減衰式」を用いて評価対象地点の地震基盤面における揺れの強さを算定します。

(2) 津波ハザード強度

津波とは、地震などによって発生した海底地盤の急激な変化により海水面上昇（下降）し、水面の変動が海面を伝播して海岸に打ち寄せる現象です。

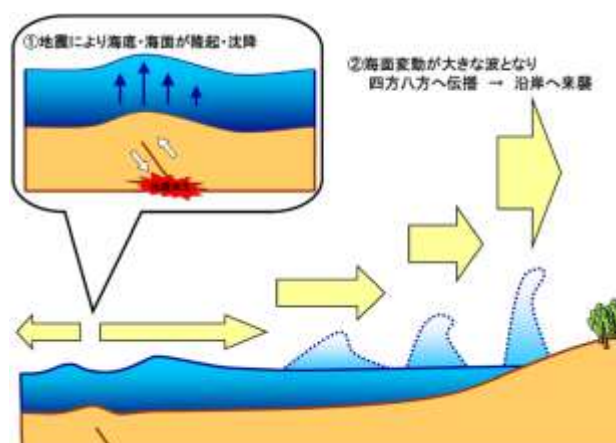


図 津波の発生メカニズム
(出典：気象庁)

津波は海岸付近で増幅し、陸地を遡上することによって建物等に被害が発生します。津波が海岸付近で増幅する要因は主に以下の3つがあります。

- ・浅水変形：津波は浅い海域ほど遅く伝わるため、後の波が前の波に追いついて、波の高さが大きくなる。
- ・集中：V字型の湾では、湾口から奥に行くに連れて次第に狭くなるため、津波が集中する。
- ・屈折：津波は浅い海域ほど遅く伝わるため、浅い海域を巻き込むように進行方向が曲げられ、岬の先端部に集中する

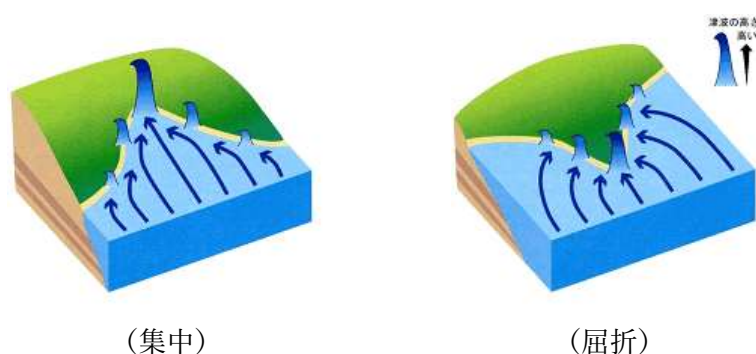


図 津波の集中と屈折
(出典：気象庁)

津波による浸水深、速度は、東北大学の「TUNAMI」プログラムによる、堤防の破壊を考慮した精緻な数値計算シミュレーション（以下、津波シミュレーション）に基づいて算定します。



図 津波シミュレーションのイメージ（南海トラフの巨大津波）

津波シミュレーションでは、「初期水位の算定（津波生起）」、「津波伝播解析」、「津波遡上解析」の3段階で津波ハザードの強度を計算します。

① 初期水位の算定（津波生起）

断層のすべり分布に基づいて海底の地殻変動量を計算し水位の上昇量を算定

② 津波伝播解析

初期水位や海底地形情報に基づいて海岸線での津波高、津波到達時間などを算定

※基礎方程式：線形長波理論、浅水理論、分散波理論

※数値計算法：差分法

③ 津波遡上解析

海岸線での津波高と地形情報に基づき、津波の遡上高、浸水深、流速、波力、最大浸水時間などを算定

※基礎方程式：浅水理論

※数値計算法：差分法

4. 被害算定（シナリオ分析）

（１）揺れによる被害

揺れによる被害は、揺れの強さと損失の大きさの関係を表す被害関数によって算定します。被害関数は、構造解析や過去の地震による被害事例を基に、構造種別、用途、建築年等によってあらかじめ算出されており、対象物件に応じた被害関数を適用して被害想定率を算定します（組み合わせにより 1,000 ケース以上の被害関数があります）。

被害関数は、構造解析によって構造種別（鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造 等）ごとに算出された「地震力（揺れの強さ）－構造物の変形量」の関係と各シナリオの加速度応答スペクトルを組み合わせることで算定した変形量に対する構造物の各構成要素（柱、はり、壁、設備 等）の被害を積算することによって設定します。

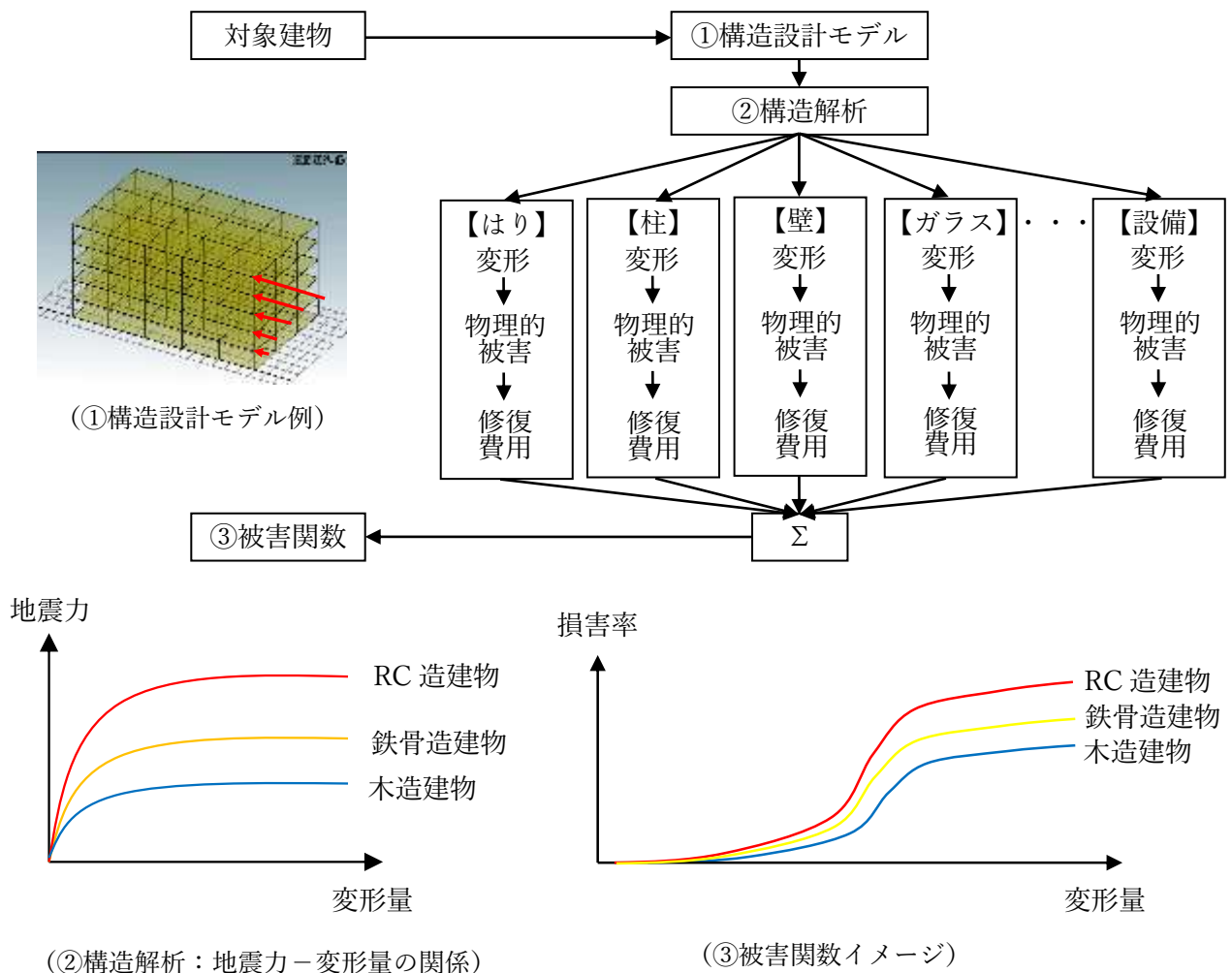


図 被害関数の設定イメージ
(出典：AIR Worldwide Corporation)

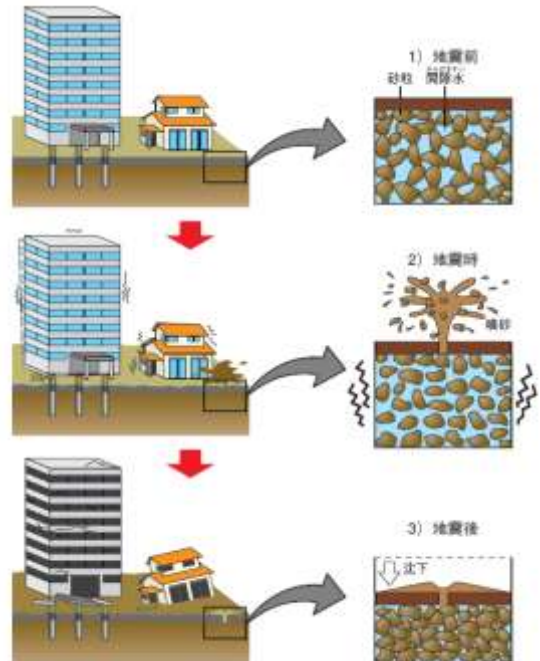
(2) 液状化による被害

液状化は次の3つの条件が揃った場合に発生します。

- 1)土の粒子がゆるく詰まった砂質地盤である
- 2)地下水位が高い
- 3)大きい揺れが発生した

※液状化の発生メカニズム

- ①地盤は普段は小さな砂粒同士が支えあい、その間を水が満たしている状態で安定している。
- ②地震が発生し、激しい振動が生じると砂粒の支えあいが崩れる。
- ③この時に砂粒間の水に圧力が加わり、地盤が液体のような状態になる。
- ④上からの圧力により、地表に逃げようとした水が砂とともに噴き出すことがある（噴砂現象）。
- ⑤地盤の液状化が起こると、地盤の沈下や、地中内のタンクやマンホールの浮き上がり、建築物の傾き・転倒などの被害が発生する。
- ⑥液状化した地盤は沈下するだけでなく、水平方向へも大きく移動するため、港湾の岸壁や護岸構造物、ガス管や水道管などの埋設管に被害を及ぼす。



(出典：文部科学省)

液状化による被害は、液状化の危険度を表す P_L (Potential of Liquefaction) 値を基に算定します。 P_L 値は地震による揺れの強さを基に算出される液状化対象層ごとの液状化抵抗率 (F_L) を用いて地層全体の液状化危険度を評価する指標であり、 P_L 値が大きいほど液状化の危険度が高くなります。

【 P_L 値の算出式】

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot W(Z) dz$$

$$F = \begin{cases} 1 - F_L & (F_L < 1.0) \\ 0 & (F_L \geq 1.0) \end{cases}$$

$$W(Z) = 10 - 0.5Z$$

P_L : 液状化危険度

F_L : 液状化抵抗率

Z : 深度 (m)

(3) 地震後火災による被害

地震後に発生する火災には以下のような特徴があります。

- ① 地震による揺れが強いほど出火する確率が高い。
- ② 出火が同時多発となり、広域火災となるケースが多い。
- ③ 消防活動が制限されることにより、延焼が拡大する傾向にある。
- ④ 市街地特性（例：木造建物が密集→延焼しやすい、道路幅が広い→延焼しにくい）や風速によって延焼範囲が大きく異なる。

地震後火災の分析にあたっては、これらの特徴を反映した損害額を算定するために、出火シミュレーションや延焼シミュレーションの手法をモデリングに反映しています。

地震後火災の被害想定は下記の手順で算定します。

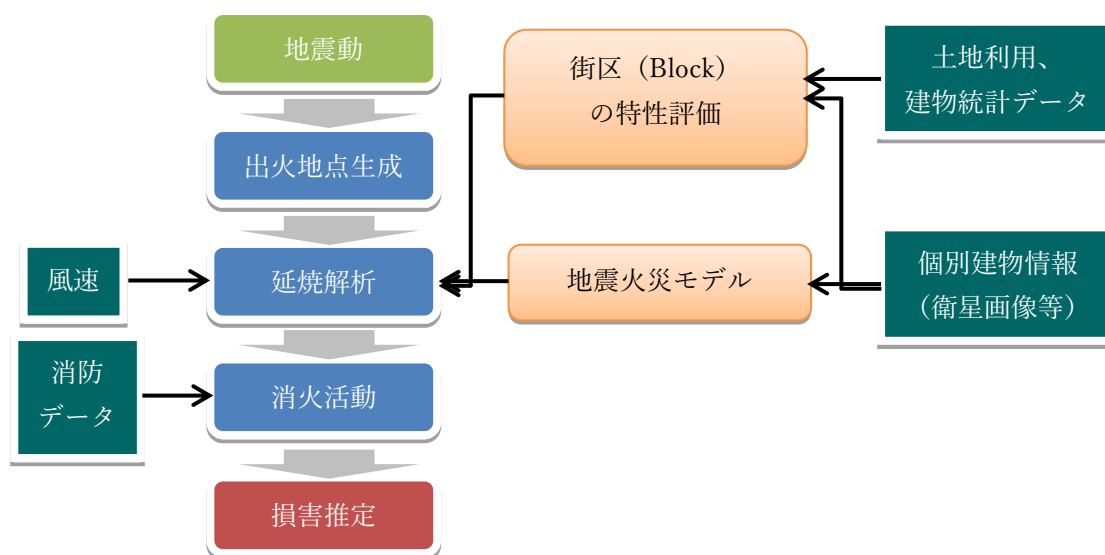


図 地震後火災評価フロー
(出典：AIR Worldwide Corporation)

(4) 津波による被害

津波による被害は、浸水深および流速と損失の大きさの関係を表す被害関数によって算定します。被害関数は、2011年3月11日に発生した東日本大震災の被災現況調査データ（国土交通省）および保険損害データを基に、構造種別、用途、建築年等によってあらかじめ算出されており、対象物件に応じた被害関数を適用して被害想定率を算定します（1,000 ケース以上の組み合わせに対応しています）。

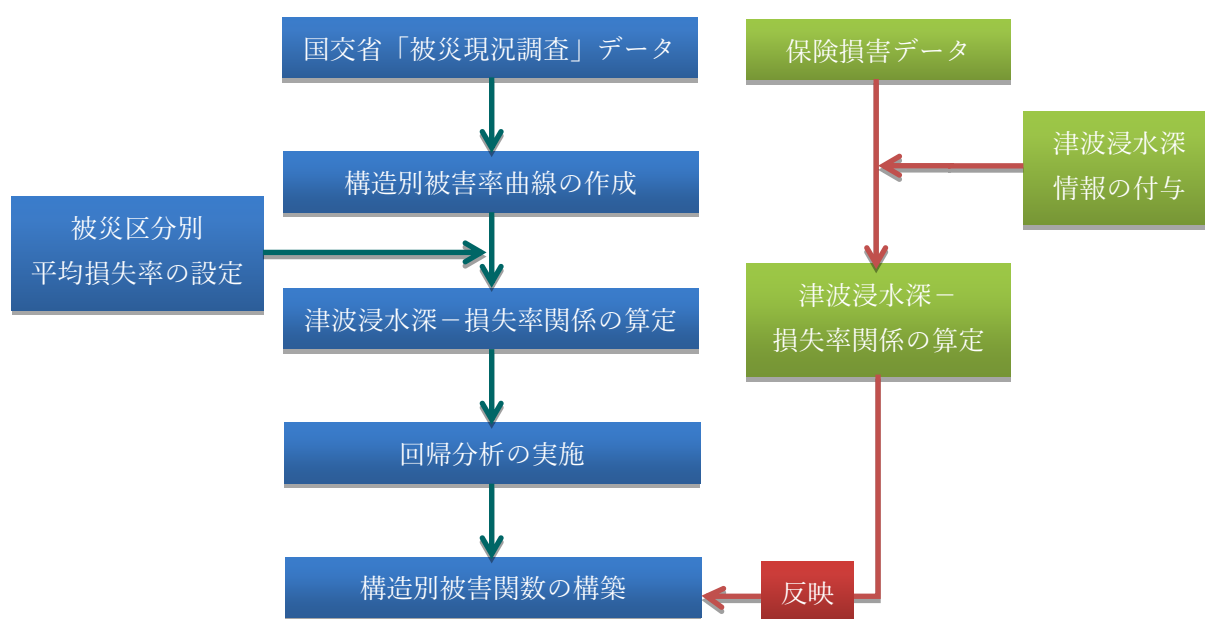


図 津波被害関数の構築フロー

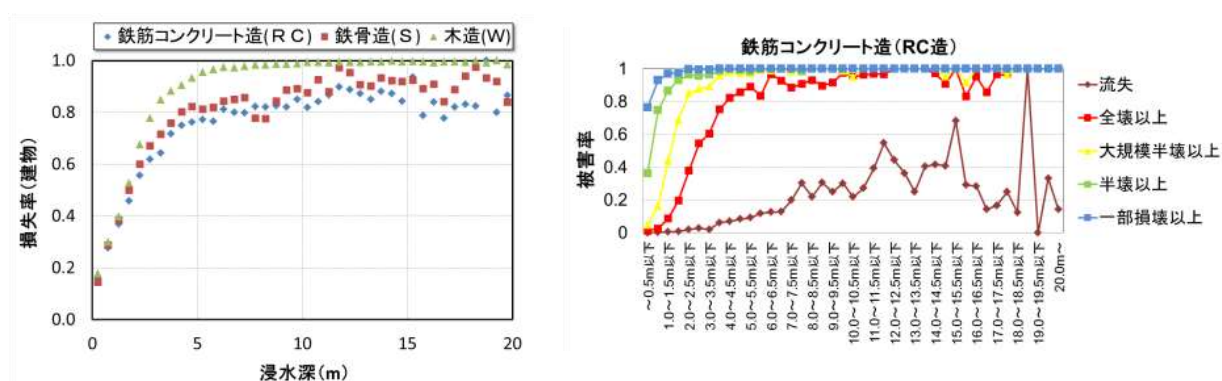


図 津波被害関数イメージ
(国土交通省資料を基に作成)

5. 被害算定（確率分析）

確率分析では、まず考え得る全ての地震について、「4. 被害算定（シナリオ分析）」で解説した手法により、評価対象物件が受ける被害想定額を算出します。

それぞれの地震は、「2. イベントカタログ生成」において発生確率が評価されており、被害想定額と発生確率の一覧表を作成することができます（下図）。この一覧表について被害想定額を大きい順に並べ替え、被害想定額上位から順に発生確率を累積すると超過確率になります※。

「予想損失額 62 億円、年超過確率 0.702%」は「1 年間に 62 億円以上の損失が生じる可能性が 0.702%」という意味になります。

※下図例の「4 EQ867-2M7.2 の年超過確率 0.702%」算出方法

$$1 - ((1 - 0.142\%) \times (1 - 0.100\%) \times (1 - 0.290\%) \times (1 - 0.172\%)) = 0.702\%$$

被害想定額を横軸に、年超過確率を縦軸にとって描いた曲線がイベントリスク曲線（以降、イベントカーブ）です。

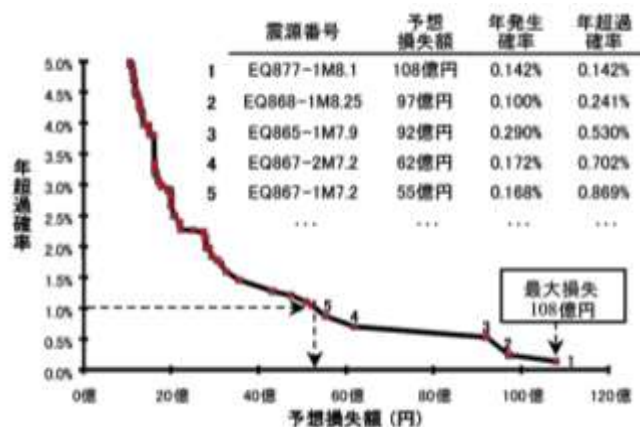


図 イベントカーブの作成

（出典：「地震危険度指標に関する調査研究」 損害保険料率算出機構 平成 14 年 12 月）

また、イベントカーブに対して分析の不確実性を考慮したカーブをリスクカーブといいます。

リスクカーブは、各シナリオに対する被害想定額のばらつきを次ページ図のように確率分布で表し、それぞれのシナリオについてある損失額（次ページ図では X）以上の損失が生じる確率（次ページ図のハッチング部分）を足し合わせることによって作成されます。

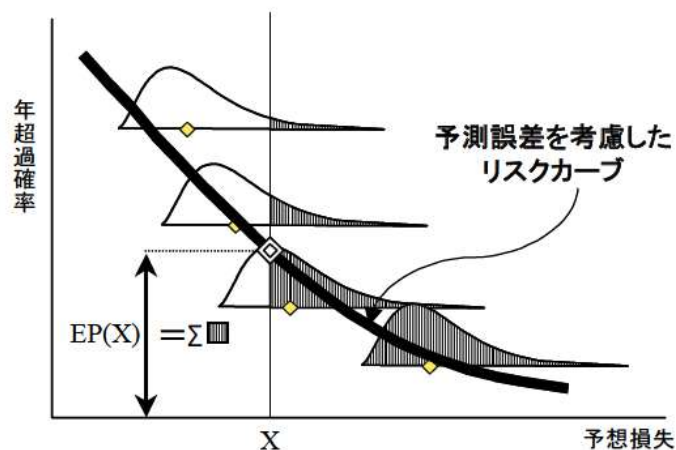


図 リスクカーブの作成

(出典：「地震危険度指標に関する調査研究」 損害保険料率算出機構 平成 14 年 12 月)

確率分析では、リスクカーブに基づき年超過確率に対する被害想定額を算出します。

年超過確率は再現期間の逆数ですので、再現期間 100 年は年超過確率 1%、再現期間 475 年は年超過確率 0.21%に相当します。

なお、再現期間 475 年の被害想定額は、不動産投資・取引におけるデューデリジェンス調査で地震リスクを評価する際の指標として用いられており、「50 年間の超過確率 10%に相当する被害想定額」と定義されています。

下式のポアソン過程（「t 年間の超過確率 P」と「年超過確率」の関係を表す式）の考え方によれば、「50 年間の超過確率 10%」と「年超過確率 0.21%（再現期間 475 年）」は同じ意味になります。

$$1 - e^{-\lambda t} = P \quad : \quad t \text{ 年間に } P \text{ の確率で発生する地震の年超過確率が } \lambda$$

6. 不確実性の考慮

リスク分析は将来発生する事象を予測するものであり、以下のような不確実性が含まれます。

- ① 地震危険度の設定に関する不確実性
- ② サイトでの地震動の伝播の推定誤差
- ③ 地盤増幅特性の評価誤差
- ④ 地震動指標による建物応答評価誤差
- ⑤ 耐力（構造や設備等）のばらつき
- ⑥ 建物耐力や応答評価モデルに内在する不確実性

ここで、①、②は地震動評価の不確実性、③～⑤は評価対象の損失予測過程に関する不確実性に分類されます。また、⑥は地震動評価と脆弱性評価の不確実性が混在したものと考えられます。

各モデル会社は、それぞれ最良と考える予測手法やデータ解釈によってモデルを構築しています。そのため、同じ評価対象に同じ災害を予測しても分析結果が異なることがあります。

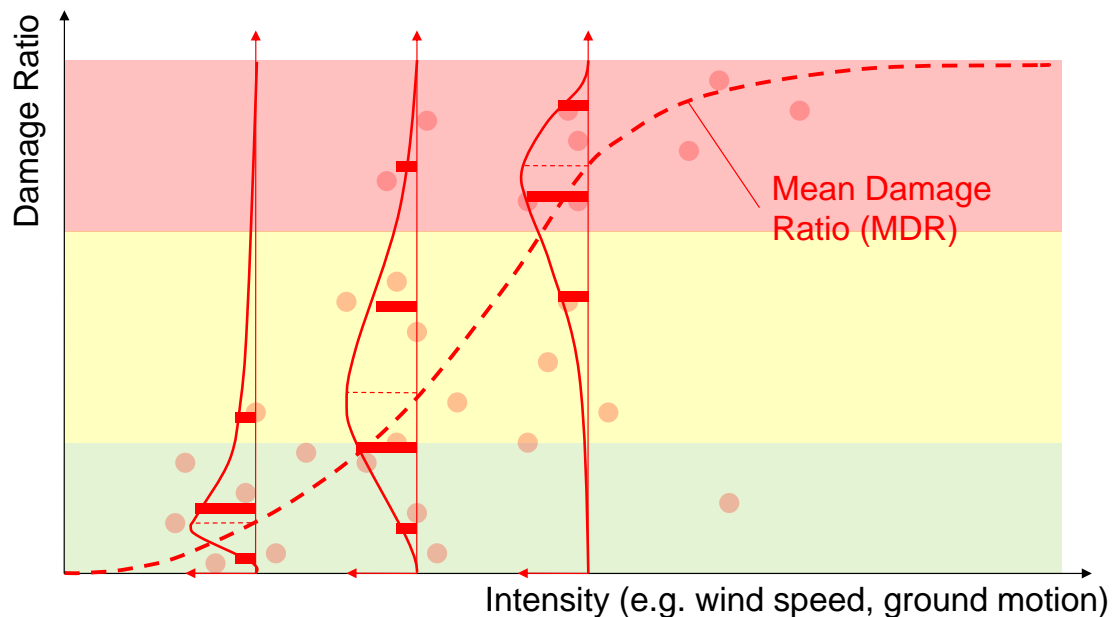


図 不確実性の例（被害関数）
（出典：AIR Worldwide Corporation）

