

第5章 損壊被害関数と実績被害率の乖離要因の整理

5.1 はじめに

第4章で示す工学的知見を反映したパラメータを用いて作成した損壊被害関数は、地震保険実績による被害率と少なからず乖離がある。本章では、この差が生じた要因として考えられるものを整理することで、将来的な損壊被害関数の改良の可能性や、そのために必要な調査研究の方向性を検討する。

次節以降では各要因について、今回、損壊被害関数を作成した際での扱い方と、現時点で考慮できていない事項を示す。

このように第4章までに作成した損壊被害関数と地震保険実績との差の要因が十分に分かっていない一方で、実務上、地震保険実績と整合する損壊被害関数が必要になることもある。整合を取る方法は様々に考え得るが、第3章に述べた各パラメータの設定方法を改めて見直すと、とくに変形クライテリアの不確実性は大きく、例えば当座のものとして、工学的に説明可能な変形クライテリアの設定値に対し、実績に合わせる趣旨の調整係数を別途考慮する方法が挙げられる。この場合、調整係数を必要とする要因は十分に解明されていないことを明示し、その物理的な解釈に誤解を生じないように配慮しなければならない。

なお、以下に記載する「実績被害と算定被害の差の要因」としてあげた事項は、将来の検討に幅広く資するため、必ずしも被害率の評価に影響があると確認されたものに限らず、可能性があるとして現時点で議論にあがったものであることに留意されたい。

5.2 被害率の乖離要因

算定被害率と実績被害率との乖離要因を検討するにあたり、実績側にも地震動の推定等に関して各種誤差の要因が考えられるが、ここでは損壊被害関数の作成に係る要因について整理する。乖離要因について地震応答解析を利用して作成した損壊被害関数に起因するものを大別すると、主に入力地震動指標に関する要因、損壊被害関数の区分に関する要因、振動モデルに関する要因、被害評価のための応答指標に関する要因が考えられる。

入力地震動指標については、建物区分、また被害認定によらず同一の指標を用いることにしたため、全体としてもっとも適切な指標として PGV を採用した。しかし、建物の属性や被害レベルなどによって指標を使い分ける、あるいは複数の指標を組み合わせるなど、より細やかな検討をすれば被害率との関係が強い指標を見つけることができるかもしれない。また、PGV は揺れの強さの指標であることから、とくに継続時間等の入力エネルギーの違いが被害率に影響するとすれば、これらが平均的なものとは異なる地震では算定被害率と実績被害率に乖離が生ずる可能性がある。

建物区分は、現在、建物構造種別と鉄筋コンクリート造では階数でも区分しているが、他にも建物用途や外装・屋根材の種類等も被害の発生に影響している可能性がある。また、同じく建築代区分は、規基準の変遷に基づき区分しているが、劣化、材料・構法の技術向上、あるいは維持管理や大規模改修が被害発生に影響があるとすれば、さらにはこれらの分布が地域や時期によって偏りがあるならば、実績被害率が算定被害率から乖離する要因になっていることが考えられる。

損壊被害関数の構築に用いる振動モデルに関して、現状では多質点系せん断ばねモデルを用いて 1 方向入力を与えているが、せん断ばねモデルによるある層への変形集中や、1 方向入力によるねじれ応答の非考慮が影響する可能性がある。特に入力地震動に関しては、地表観測記録をそのまま質点モデルの入力地震動として用いており、入力損失など建物と地盤の相互作用の影響を考慮していない。

振動モデルから得られた応答から被害率を推定する際には、モデルの最大層間変形角を対象とした変形クライテリアを用いているが、加速度や残留変形角など、変形以外の指標と相関する被害を考慮できていない可能性がある。また、地震保険実績被害（全損、半損、一部損）と建物変形との関係性は直接に評価されておらず検討の余地がある。

その他の要因を含め、考えられるものを表 5.2.1 に列挙する。

表 5.2.1 損壊被害関数の作成に関する誤差の要因

損壊被害関数を作成する際の検討項目	現状の取り扱い	実績被害と算定被害の差が生じ得る要因
損壊被害関数の説明変数の設定	水平成分の地表最大方向 PGV	<ul style="list-style-type: none"> • 建物の種別、被害程度によっては、PGV と相関が弱いことによるばらつき • 個々の地震動の周期特性、継続時間、余震による累積損傷の影響
構造種別の区分	以下の区分を設定 <ul style="list-style-type: none"> • 木造（在来軸組構法、枠組壁工法） • 軽量鉄骨造 • RC 造（1-2F、3-5F、6-10F、11F-） 	<ul style="list-style-type: none"> • 建物構造、階数以外に被害率に影響する主要な要因の非考慮 例：重量、各階面積、耐震要素、接合部、開口、偏心、外装・屋根材の種類、店舗など他用途の有無、増築の有無
建築年代の区分	<ul style="list-style-type: none"> • 以下の区分を設定（構造種別により設定していない区分もある） • 1980 年以前、 • 1981 年～2000 年、 • 2001 年以後 	<ul style="list-style-type: none"> • 耐震基準以外での建築年による被害率に影響する要因の非考慮 例：壁量柱量、劣化、材料・構法の技術向上、大規模改修

表 5.2.2 損壊被害関数の作成に関する誤差の要因

損壊被害関数を作成する際の 検討項目	現状の取り扱い		実績被害と算定被害の差が生じ得る要因
振動解析モデル	解析自由度	並進 1 方向	<ul style="list-style-type: none"> 2 方向入力による影響の非考慮
	各階床	各階 1 質点の多質点系	<ul style="list-style-type: none"> ねじれの非考慮
	各階ばね	等価せん断バネモデル	<ul style="list-style-type: none"> 降伏層への変形集中による層間変形の過大評価
	建物 1 階への 入力地震動	基礎固定系として入力	<ul style="list-style-type: none"> 地盤-建物の相互作用の影響の非考慮 (入力損失、逸散減衰、連成系固有周期) 基礎底の滑動の影響の非考慮
	モデル群の変数	建物耐力 (1 階降伏ベースシア係数)	<ul style="list-style-type: none"> 建物耐力と独立に生じうる、建物特性の非考慮 降伏変形角、重量・剛性分布、高さ方向の耐力分布、復元力特性の異なる建物の影響(壁式 RC 等)
モデルへの入力地震動	入力地震動の選 択	計算対象の最大方向 PGV に 近い観測記録を収集し、振幅 を調整	<ul style="list-style-type: none"> 損壊被害関数の変数と同様、PGV 以外の指標が適切である可能性 実観測記録の振幅を調整して入力する影響 入力地震動セットの抽出方法の影響
	方向成分	方向別の PGV が平均となる 成分の加速度記録を入力	<ul style="list-style-type: none"> 観測点での平均方向と対象地域を代表させる地点での平均方向の違い

表 5.2.3 損壊被害関数の作成に関する誤差の要因

損壊被害関数を作成する際の検討項目	現状の取り扱い		実績被害と算定被害の差が生じ得る要因
建物群のモデル化の方針	建物の弱軸方向に被害が生じることを想定してモデル化		<ul style="list-style-type: none"> • 構造特性のさまざまなばらつきをもつ建物群を耐力だけがばらつくモデルに集約することの誤差 • 異方性が強い地震動に対する建物強軸側の被害 • 弱軸を耐力の低い側としているが、変形性能が低い方向が弱軸となる可能性の非考慮
質点系の解析パラメータ	質点数	木造：2F S造：2F RC造：2、4、8、12F	<ul style="list-style-type: none"> • 木造・S造の平屋建て、部分2階建て、3階建て以上の非考慮
	復元力特性	木造：スリップ+バイリニア S造：ノーマルバイリニア RC造：武田モデル	<ul style="list-style-type: none"> • 建築年代による復元力特性の違い • S造引張ブレースの非考慮 • 構造種別内での構造特性の違い（例、近年の壁を耐力要素とする木造住宅と伝統的な柱梁を耐震要素とする住宅、中低層の壁式RC造と高層RC住宅など）
	降伏変形角	木造： $R_y=1/120$ S造： $R_y=1/250$ RC造： $R_y=1/150$	<ul style="list-style-type: none"> • 上欄記載の復元力特性と同様（例えば、RC造のせん断破壊部材($R_y=1/250$程度)の非考慮など）

表 5.2.4 損壊被害関数の作成に関する誤差の要因

損壊被害関数を作成する際の 検討項目	現状の取り扱い		実績被害と算定被害の差が生じ得る要因
質点系の解析パラメータ (続き)	重量分布	木造・S造：1F:2F=1:0.67 RC造：各階一様	<ul style="list-style-type: none"> • 屋根の違いによる重量分布の違いの非考慮 • 斜線制限等によるセットバックの有無の非考慮 • 設計重量と地震時に作用する重量が異なる可能性の非考慮
	剛性分布	木造・S造：耐力に比例 RC造：台形分布	<ul style="list-style-type: none"> • ピロティ構造など立面的不整形の非考慮
	耐力分布（1Fせん断力係数との比）	木造：1F:2F=1:1.5 S造：1F:2F=1:1.56 RC造：Ai分布	<ul style="list-style-type: none"> • ピロティ構造など立面的不整形の非考慮
	降伏後剛性	木造：1/1000 S造：15/100 RC造：1/100	<ul style="list-style-type: none"> • 共通：設計での慣例値を用いており、実測値（特に大地震時）との関係が不明
	減衰	木造：5%瞬間剛性比例 S造：2%初期剛性比例 RC造：3%瞬間剛性比例	<ul style="list-style-type: none"> • 相互作用による減衰効果の非考慮 • S造・RC造：設計での慣例値を用いており、実測値（特に大地震時）との関係が不明

表 5.2.5 損壊被害関数の作成に関する誤差の要因

損壊被害関数を作成する際の 検討項目	現状の取り扱い		実績被害と算定被害の差が生じ得る要因
被害と対応づける 建物応答指標	最大層間変形角を採用		<ul style="list-style-type: none"> • 木造、S造：建物全体の被害状態から判定する損害調査方法との不整合（変形最大階以外の階における被害の影響） • 共通：基礎被害の影響の非考慮 • 共通：地盤変状に起因する被害の非考慮 共通：加速度依存型の被害（木造の瓦屋根、内外壁の面外加速度）の非考慮 • 共通：建物の残留傾斜による被害の非考慮
被害クライテリアの設定	中央値（木造）	被災度区分判定等からの推定	<ul style="list-style-type: none"> • 地震保険における実被害と層間変形角の関係の不確実性
	中央値（S造）	被災度区分判定等からの推定	<ul style="list-style-type: none"> • 地震保険における実被害と層間変形角の関係の不確実性
	中央値（RC造）	被災度区分判定等からの推定	<ul style="list-style-type: none"> • 地震保険における実被害と層間変形角の関係の不確実性
	ばらつき	経験的に決定	<ul style="list-style-type: none"> • 地震保険における実被害と層間変形角の関係の不確実性
	分布形	対数正規分布を3折れ線分布に置換	<ul style="list-style-type: none"> • とくに小さい範囲の分布の不確実性

表 5.2.6 損壊被害関数の作成に関する誤差の要因

損壊被害関数を作成する際の 検討項目	現状の取り扱い		実績被害と算定被害の差が生じ得る要因
建物耐力モデルの設定	平均値（木造）	実建物の振動台実験結果と壁量の関係、平均壁量の統計値から設定	<ul style="list-style-type: none"> 基準法壁量と実耐力の関係の不確実性 （実耐力と基準法壁量の差は、準耐力壁、雑壁、材料強度、立体効果・直交壁、仕上げ、速度効果、偏心、弾塑性、重量、減衰などが加味されたものと考えられる。）
	平均値（S造）	既往の積み上げモデルの耐力に、経験的に余力を考慮	<ul style="list-style-type: none"> 実建物、特に近年の工業化住宅の性能のデータ不足 （経験的に考慮した余力は、非構造材、建具、階段による効果を想定している。）
	平均値（RC造）	既往研究で図面から計算した耐力を実耐力相当に補正	<ul style="list-style-type: none"> 耐力を発現する際のメカニズムのばらつき（今回採用した耐力はせん断ひび割れ強度相当と考えられ、せん断終局強度や曲げ終局強度は考慮できていない）。 直交構面の効果の非考慮。
	ばらつき	既往の耐震診断結果の分布などを参考に設定	<ul style="list-style-type: none"> 下限値の存在など、下限値付近の分布形状が不明 耐力との相関の非考慮（耐力が大きい場合に変形性能が小さいなど）
	分布形	対数正規分布	<ul style="list-style-type: none"> とくに小さい範囲の分布の不確実性