



Title	地域性及び時代性を考慮した木造建築物の地震被害関数構築に関する研究
Author(s)	竹内, 慎一
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13652号
Issue Date	2019-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k13652
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74195
Type	doctoral thesis
File Information	Shinichi_Takeuchi.pdf



博 士 論 文

地域性及び時代性を考慮した木造建築物の
地震被害関数構築に関する研究

2019 年 2 月

北海道大学大学院工学院
建築都市空間デザイン専攻

竹内 慎一

論文要旨

大規模地震は様々な対策によって被害軽減を図ることが重要であり，効果的・効率的に軽減策を講じなければならない。このため自治体は被害軽減量を数値目標として定め，被害要因の分析を通じ効果的な対策を推進することが求められている。これまで自治体は，対策推進のため当該地域ごとに地震被害量の推定を行っているが，方法として全国一律の被害率関数を用いることが多かった。しかし被害は地域性が色濃く反映するものであり，特に木造建物は地域による構法の違いや建築年数の違いによる耐震性の差が大きく，これらを考慮した関数構築が求められる。本論文は，北海道を例に，木造建物群の高精度な被害率関数の構築方法として，地域性及び時代性を考慮した木造建物の耐震評点分布の推定と被害率関数の構築方法を提案するとともに，構築関数の精度向上のために地震発生後の被害調査結果を取り込んだ関数の更新方法について提案するものである。

第1章「序論」では，既往研究の課題整理から地域性を考慮した建物群の被害率関数を構築する方法を検討した。第1の方法は，過去の地震被害資料をもとに関数を構築する方法であり，1995年兵庫県南部地震以降，同地震による関数が全国自治体で最も良く使われている。これは観測地震動と建物被害率を統計分布に当てはめる方法で，構築は容易であり，被災条件は付くものの仮定を持ち込まない事実データのみに依拠している点で信頼性は高い。その反面，必要となる資料が大規模被害を受けた自治体に限られ，関数は被災地の地域性を強く反映し，被災地以外においては本来，適用の可否について注意が必要となる。第2の方法は，復元力特性や周期など建物の振動応答モデルを設定し，地震応答解析に基づいて関数を構築する方法である。この場合，建物の周期特性や耐震性能分布など地域性を反映できる半面，建物モデル化の正否に加え計算に必要な設定条件が多いことが問題点として指摘できる。第3の方法は，個別建物の損傷度関数（個別建物保有の耐震性能，作用する地震動強さ，その結果としての損傷度の3変数の関係を関数化したもの）に木造建物群の耐震性能を指標化した耐震評点分布を適用して被害率関数を構築する方法である。地域の評点分布を用意できれば，構築が比較的容易であり，地域性を反映できる。以上の検討の結果，本論文は第3の方法を応用発展させることで被害率関数を構築する。

第2章「北海道の木造住宅の地震被害と耐震性能」では，過去における北海道の木造住宅被害の傾向および宅の耐震性能に関わる仕様を分析した。その結果，北海道は時代の経過と共に木造住宅の仕様が変化し耐震性が向上したことが推測され，その主な理由は断熱気密性の向上や施工性の向上を図るためではあるが，結果的に住宅の耐震性向上に影響を及ぼしているものが少なくない結論づけられた。北海道における木造住宅の構造仕様の変遷から，仕様の経年変化が耐震性の向上に寄与している可能性があることを指摘し，北海道の住様式の地域性と時代性が当該地域の地震被害率に大きく関わることを確認した。

第3章「地域性を考慮した耐震評点分布の推定と被害率関数の構築」では、個別建物の損傷度関数を基に、地域の耐震評点分布を考慮することで、木造建物群の被害率関数を構築する方法を提案した。具体的には北海道が実施した木造住宅の耐震診断結果を利用し、木造建物群の被害率関数を構築する方法を検討した。損傷度関数を2004年版の診断結果に適合するように、全国調査が行われている日本木造住宅耐震補強事業者協同組合(以降、木耐協と略称。)の診断結果を用いて見直した。次に道の診断結果をもとに建築年代別の評点分布を対数正規分布でモデル化を試みた。1971年以降は件数が十分にあるためモデル化が可能だが、1970年以前は十分ではない。このようにデータ数が不十分なケースは全国で想定されるため、全国平均である木耐協の診断結果を事前分布に仮定したベイズ更新から評点分布を推定する方法や、建築年代に近い時期に発生した地震の被害資料から損傷度関数を用いて評点分布を推定する方法を汎用的な方法として提案した。以上を適用し、北海道における木造建物の耐震評点の年代別分布を推定した。得られた評点分布は、1950年以前の建築年代で木耐協調査による全国平均とほぼ同じであること、当時の北海道の建物様式が本州仕様をそのまま持ち込んだことを意味する。一方、1960年以降では全国平均より平均値、標準偏差が大きく、北海道の工夫に富む多彩な建築構法の採用による耐震性能の多様性を関数に取り込むことができた。最終的に見直した損傷度関数と推定した年代別の耐震評点分布とから、北海道の木造建物群の被害率関数を構築した。中央防災会議が推奨する普通地(寒冷地を除く全国の地域)や極寒冷地(北海道)の関数と比較すると、構築関数は同一震度で被害率が低く、寒冷地の建物の耐震性がより高く評価され実態により即している。本提案方法により耐震性能の地域性が十分に評価できることを確認した。

第4章「地震被害調査結果に基づいた被害率関数の更新」では、2018年9月に発生した北海道胆振東部地震の被害調査結果を利用して、3章で構築した被害率関数を更新する方法を検討した。まず胆振東部地震を対象に構築関数を用いて市町村単位の全半壊棟数を被害想定した。構築関数による推定被害棟数は、胆振東部地震の実被害に比べて1.6~1.7倍となった。なお中央防災会議による手法の実被害比は6.0~6.8倍であり、構築関数の精度はこのままでも本邦の標準関数に比較し高いことがわかる。次に将来的な関連被害データの蓄積を想定し、関数の更新方法を提案する。構築関数を胆振東部地震で得られた被害情報をもとにベイズ更新することで関数の精度向上を試みた。方法は、3章で構築した評点分布を事前分布とし、胆振東部地震の実被害をもとに推計した評点分布を尤度として利用したベイズ更新をすることで、胆振東部地震の被害情報を考慮した評点分布を作成する。胆振東部地震の評点分布を利用してベイズ更新した北海道の評点分布をもとに被害率関数を再構築し、全半壊棟数を再推定した。この結果、実被害との比が北海道全体で1.6~1.7倍から1.2~1.4倍に改良され、評価精度の向上が確認されると共に、将来的関数更新法の有効性も確認できた。

第5章「結論」では、本論文の成果を総括すると共に今後の展望について述べた。

以上の研究の結果、本論文では地域性及び時代性を考慮した木造建物群の地域被害率関数の構築方法および地震発生後の被害調査結果を取り込んだ関数の更新方法を提案し、北海道を事例として、地域性を考慮した被害率関数を構築することができた。

本研究に関する発表論文

[論文]

- (1) 竹内慎一・岡田成幸・中嶋唯貴：地域性及び時代性を考慮した木造建築物の地域地震被害率関数構築法の提案－北海道を例とした耐震評点分布を利用する方法－，日本建築学会構造系論文集，No. 753，pp.1549-1559，2018 年 11 月
- (2) 竹内慎一・高橋章弘・南慎一：北海道の集落の実態分析による地域防災力に関する評価指標の検討，地域安全学会論文集，No. 14，2011 年 3 月

[発表]

- (1) 高橋章弘・南慎一・竹内慎一：北海道における住宅所有者の耐震化に係る意識調査，地域安全学会梗概集，No. 21，pp. 115-118，2007 年
- (2) 竹内慎一・南慎一・高橋章弘：北海道における建築物の耐震化による被害軽減効果の算出，日本建築学会北海道支部研究報告集，No. 80，pp. 169-172，2007 年 7 月
- (3) 竹内慎一・南慎一・高橋章弘：北海道における集落の地域防災力に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集(東北)，F-1，都市計画，pp. 383-384，2009 年 8 月
- (4) 南慎一・竹内慎一・高橋章弘：北海道における集落の防災活動に関わる基礎的な分析，日本建築学会学術講演梗概集(東北)，F-1，都市計画，pp. 381-382，2009 年 8 月
- (5) 南慎一・高橋章弘・竹内慎一：北海道における既存木造住宅の耐震化に係るアンケート調査，日本建築学会学術講演梗概集，B-2，構造 II，pp. 907-908，2011 年 7 月
- (6) 竹内慎一・高橋章弘・南慎一：北海道における木造住宅の診断結果に基づいた耐震性能の実態把握，日本建築学会学術講演梗概集，B-2，構造 II，pp. 905-906，2011 年 7 月
- (7) 竹内慎一・南慎一・高橋章弘：青森県六戸町における既存木造住宅の耐震性能と所有者の意識に関わる調査，日本建築学会北海道支部研究報告集，No. 84，pp. 575-578，2011 年 7 月
- (8) 竹内慎一・南慎一・高橋章弘：北海道における既存木造住宅の耐震性能の実態把握，日本建築学会北海道支部研究報告集，No. 84，pp. 195-198，2011 年 7 月
- (9) 竹内慎一・南慎一・岡田成幸・石井旭・戸松誠：北海道の木造住宅の診断結果を考慮した建物被害予測手法の検討，日本建築学会北海道支部研究報告集，No. 86，pp. 109-112，2013 年 6 月

目 次

第1章 序論

1.1	はじめに	1
1.2	既往の研究	3
1.2.1	地震被害資料を用いた被害率関数構築に関する研究	3
1.2.2	地震応答解析を用いた被害率関数構築に関する研究	5
1.2.3	耐震診断結果を用いた被害率関数構築に関する研究	7
1.2.4	地域を単位とした防災力向上に関する研究	10
1.3	本論文の目的	11
1.4	本論文の構成と概要	12

第2章 北海道の木造住宅の耐震性と地震被害

2.1	はじめに	13
2.2	北海道の木造住家の建築年代別割合	14
2.2.1	北海道の木造住家の年代別割合	14
	(1) 調査方法	
	(2) 北海道の木造住家棟数	
	(3) 北海道の木造住家の建築年代別割合	
2.2.2	旧耐震基準の木造住家の年代別割合	21
	(1) 1961年以前の木造住家の年代別割合	
	(2) 1962～1971年の木造住家の年代別割合	
	(3) 1972～1981年の木造住家の年代別割合	
	(4) 北海道の木造住家の建築年代別割合の傾向	
2.3	北海道の木造住宅の耐震性と仕様	28
2.3.1	北海道の木造住宅の診断結果の年代別傾向	28
	(1) 北海道の木造住宅の耐震診断結果	
	(2) 旧耐震基準の木造住宅の診断結果の傾向	
	(3) 耐震診断に関わる建築年代別の係数	
2.3.2	北海道における木造住宅の仕様の変遷	32
2.4	北海道の住家の地震被害	34
2.4.1	過去の地震による住家被害の発生状況	35
	(1) 地震による住家被害の発生状況	
	(2) 1993年釧路沖地震の住家被害の発生状況	
	(3) 2003年十勝沖地震の住家被害の発生状況	
2.4.2	地震被害の比較	45
2.5	第2章のまとめ	47

第3章 地域性と時代性を考慮した被害率関数

3.1	はじめに	49
3.2	損傷度関数の地域被害評価への適用方法	51
3.2.1	木造住宅の損傷度関数	51
3.2.2	損傷度関数を利用した地域被害率関数の構築方法	52
	(1)耐震評点 I_w の区間 Δ における確率の推定	
	(2)震度 S_1 における評点 I_w 毎の Damage Level の計算	
	(3)地域被害率関数の推定	
3.3	2004年版診断結果を用いた損傷度関数の作成	56
3.3.1	損傷度関数の作成方法	56
3.3.2	損傷度関数作成のための被害率関数	56
3.3.3	損傷度関数作成のための耐震評点分布	57
3.3.4	2004年版診断結果を用いた損傷度関数	58
3.4	木造建物群の耐震評点分布の推定	59
3.4.1	診断結果に基づいた耐震評点分布の推定	59
3.4.2	1970年以前の耐震評点分布の推定方法	62
3.4.3	地震被害に基づいた耐震評点分布の推定	63
	(1)1952年十勝沖地震の震度と木造住宅全壊率	
	(2)震度と被害率との関係の推定	
	(3)1952年十勝沖地震に基づいた耐震評点分布の推定	
	(4)1950年以前の耐震評点分布の推定	
3.4.4	ベイズ更新に基づいた耐震評点分布の推定	70
	(1)ベイズ推定	
	(2)事前分布の作成	
	(3)尤度関数の作成	
	(4)事後分布の作成	
	(5)ベイズ更新による耐震評点分布の推定	
	(6)1961年-1970年の耐震評点分布の推定	
3.4.5	全国データに基づいた耐震評点分布の推定	74
	(1)木耐協（全国）データの耐震評点分布の比	
	(2)耐震評点分布の比を基にした分布の推定	
3.5	北海道の耐震評点分布と地域被害率関数	76
3.5.1	北海道の建築年代別の耐震評点分布	76
3.5.2	北海道の木造建物群の地域被害率関数	79
	(1)耐震評点分布に基づいた地域被害率関数の構築	
	(2)既往の被害率関数との比較	
	(3)北海道の過去の地震被害との比較	
3.6	第3章のまとめ	85

第4章 地震被害調査結果に基づいた被害率関数の更新

4.1	はじめに	87
4.2	北海道胆振東部地震の震度と建物被害状況	88
4.2.1	地震の概況	88
4.2.2	人的被害の概況	88
4.2.3	建物被害の概況	88
4.3	被害率関数による北海道胆振東部地震の被害推定	91
4.3.1	市町村単位の代表震度	91
4.3.2	市町村単位の建物数	93
4.3.3	木造建物の被害棟数の予測	96
	(1) 中央防災会議（2006）の被害率関数	
	(2) 中央防災会議（2012）の被害率関数	
	(3) 北海道（2018）の被害率関数	
4.3.4	木造建物の被害棟数の予測結果	103
4.4	被害率関数の更新	107
4.4.1	被害率関数の更新方法	107
4.4.2	被害調査結果に基づく耐震評点分布の推定	108
4.4.3	北海道の耐震評点分布の更新	113
	(1) 事前分布の作成	
	(2) 尤度関数の作成	
	(3) 事後分布の作成	
	(4) ベイズ更新による耐震評点分布の推定	
4.4.4	北海道の被害率関数の更新と検証	118
	(1) 被害調査結果に基づく北海道の被害率関数の更新	
	(2) 更新被害率関数による地震被害の推定と検証	
4.5	第4章のまとめ	124

第5章 結論

5.1	本論文のまとめ	125
5.2	今後の課題と展開方向	128

参考文献	130
------	-----

謝 辞	137
-----	-----

第1章 序論

1.1. はじめに

大規模地震は様々な対策によって被害軽減を図ることが重要であり、特に切迫性の高い地震や甚大な被害が予想される地震は、効果的・効率的に軽減策を講じなければならない。このため具体的な被害軽減量を数値目標として定め、被害要因の分析を通じ効果的な対策を選択し、戦略として集中的に推進することが求められる^{1-1)~3)}。減災対策には、地域を単位とした対策の推進¹⁻⁴⁾や防災力の向上^{1-5)~7)}が非常に有効である。

被害量計算には、建物の個別被害を評価する損傷度関数の他、自治体では地域を単位とする被害率関数が用いられるが、近年の評価精度向上の要求を承け、特に木造住宅耐震性においては地域性（地域による構法の違い）や時代性（築年数の違い）に強く配慮した関数提案が求められている。

本論は各地域における防災行政での活用を意図し、木造住宅の高精度な被害率関数の構築方法を新たに提案するものであり、北海道を例とする。なお、建物構法は地域の気候区分に影響を受ける。地域分類として、例えば住宅の省エネルギー基準の地域区分がある。北海道は、地域区分のうち最も寒冷な地域として、旧基準ではⅠ地域、平成25年基準では1地域・2地域にほぼ全域が指定されている。本論では、北海道内を同一地域として扱い、耐震性の違いの主要因は時代による構法の変遷によるものとする。

北海道¹⁻¹⁾においても、中央防災会議の日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の地震防災戦略¹⁻²⁾を受けて、地域目標（対策推進による被害半減などの数値目標）を策定し効果的・効率的な地震対策の推進を努めることが求められている。こうした地震防災対策の目標設定を検討するため、地域性を考慮した被害想定が必要である。特に北海道の木造住宅は本州の住宅に比べて積雪寒冷の仕様から構法の違いが顕著であり、また時代と共に大きく変遷しており、本邦標準の被害率関数の適用は被害予測及びそ

れに基づく対策に過誤が生じる恐れがあることから、地域の耐震性能を考慮した高精度な被害予測手法が求められる。

1.2. 既往の研究

1.2.1 地震被害資料を用いた被害率関数構築に関する研究

これまで日本では、地震被害の資料に基づいた木造被害率関数あるいは被害率曲線に関する研究が報告されている。

古くは、1923 年関東大震災における資料を用いた物部(1933)¹⁻⁸⁾が、木造家屋の家屋倒壊率と合震度との関係を定量的に把握する考え方を示した。着目している被災対象群が平均的な耐震強さの周りに標準偏差で正規分布しているという仮定のもとに正規分布関数での記述を示した。被害率関数を正規分布関数で示す考え方は、以降の研究において踏襲されている。

岡田・鏡味(1991)¹⁻⁹⁾は、米国においてカリフォルニア州に現存する構造物を中心に様々なもの(78 の構造種別)について専門家の意見を整理し、Applied Technical Council(1985)より資料集(ATC-13)として報告されている事例¹⁻¹⁰⁾に着目した。日本における気象庁の震度階級¹⁻¹¹⁾や東京都防災会議の震度解説表の被害記述¹⁻¹²⁾を専門家の知見に基づく資料として着目し、資料の被害記述を定量化することで、木造住宅を含む各種の被災対象(人間・建築物・付属構造物・屋内収容物・火気使用器具・屋外構造物など)56 項のバルナラビリティ関数を構築して示した。

1995 年に発生した兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)は、日本で初めて震度 7 が適用された地震であり、都市直下型の地震であったために揺れによって多数の木造住宅が倒壊した¹⁻¹³⁾他。被災自治体や学術団体・研究機関は、復旧復興のために建物被災度調査¹⁻¹⁴⁾を実施し、多くの実被害データが収集された。

兵庫県南部地震の発災後は、観測された地震動と実被害データを用いた様々な解析が行われた。

林・宮越ら(1997)¹⁻¹⁵⁾,¹⁻¹⁶⁾は、神戸市中央区三宮地域における再現地震動および日本建築学会近畿支部による木造建物の被災度調査結果から、木造建物の被害と最大地動速度の関係の把握を行った。この結果と建築研究所がとりまとめた低層独立住宅の被災度調査結果に基づいて、神戸市より尼崎市、宝塚に至る広域な範囲での最大地動速度の分布を推定した。推定した地震動強さをもとに低層建物および中高層建物の全建築年代を対象とした用途別の被害率関数を構築している。

長谷川・翠川ら(1998)¹⁻¹⁷⁾,¹⁻¹⁸⁾は、既往の研究から推定した最大地動速度分布を利用し、建築研究所による被害データ¹⁻¹⁹⁾と村上らによる東灘区西部地区の被害調査結果¹⁻²⁰⁾を用いて、木造建築物の建築年代別の被害率関数を作成した。この被害率関数と地形分類から推定したメッシュ単位の地震動強さ、地域メッシュ統計から推定した木造建物棟数から、神奈川県北部を対象に想定地震に対する木造建物の被害予測を行った。

村尾・山崎は、地震観測点の少ない神戸で被害率を元に町丁目単位の地震動強さを

推定し、灘区について再推定を行って地震動分布の精度向上を図った¹⁻²¹⁾。推定した地震動分布と、神戸市が行った灘区の3万棟を超える年代別の建物被災度調査結果から、構造別（木造・鉄筋コンクリート造・鉄骨造・軽量鉄骨造）および建築年代別（木造5区分、他構造は3区分）の被害率関数を構築した¹⁻²²⁾。

佐伯・翠川(2001)¹⁻²³⁾は、地震により住民が被る経済被害のうち大きな割合を占める住宅建物に対する被害額について、地震動強さと被害率の関係を表す被害関数を作成した。被害評価の指標として地震保険の判定結果を採用し、保険支払データを基に、木造・非木造建物に対する損害程度別の被害関数を求めた。

兵庫県南部地震の実被害データをもとに提案された被害率関数は、被害地域の被害を再現した場合に相関が高く、他関数と比べて概ね近い傾向にあった。一方、関数ごとに明確な差もみられた。村尾(1999)¹⁻¹⁴⁾や山口(2000)¹⁻²⁴⁾は、利用した実被害データの調査方法や調査目的が異なることや、兵庫県南部地震の限られた観測点の地震動データから町丁目やメッシュ単位で地震動強さを推計する方法がそれぞれ異なることなどから、構築される関数の被害率に差が生じているとし、被害想定に活用する際に注意が必要と指摘している。

また、山口(2000)¹⁻²⁴⁾は建物被害関数の精度を向上させるためには、兵庫県南部地震の豊富で質のよいデータを盛り込むことが重要としながらも、実際の地震被害に基づく経験的な関数であるので、あらゆる条件を含んだ汎用性に富むものではないではないことを指摘した。汎用性の富む被害関数を構築するには、周辺自治体の建物被災度調査結果から構築した被害関数を組み合わせたり、様々な条件の元での数値解析による方法を検討する必要があるとした。

兵庫県南部地震以降の大規模地震の実被害データを踏まえた研究として、翠川(2002, 2011)^{1-25), 1-26)}は、1995年兵庫県南部地震や2000年鳥取県西部地震などの複数地震での建物被災度調査による被害率と計測震度との関係を検討した。結果、①被害率は、震度6を境として急増する傾向、②兵庫県南部地震を元とした被害率関数は被害率が急増する傾向を十分には表現できていない、③兵庫県南部地震と鳥取県西部地震では震度6以上で全壊率や全半壊率の関係に違いがみられることを指摘した。理由として①鳥取県西部地震の被災地での木造住家の平均的な耐震性は、兵庫県南部地震の被災地での木造住家よりは高い可能性、②兵庫県南部地震と鳥取県西部地震の被災地での地震動の卓越周期の違いによる影響をあげている。

地震被害資料を用いた被害率関数の構築方法は、過去の地震被害資料をもとに関数を構築する方法であり、1995年兵庫県南部地震以降、同地震による関数が全国自治体で最も良く使われている。これは観測地震動と建物被害率を統計分布に当てはめる方法で、構築は容易であり、被災条件は付くものの仮定を持ち込まない事実データのみにより依拠している点で信頼性は高い。その反面、必要となる入手可能な資料が大規模被害を受けた自治体に限られ、関数は被災地の地域性を強く反映し、被災地以外においては本来、適用の可否について注意が必要となる。

1.2.2 地震応答解析を用いた被害率関数構築に関する研究

実験や測定による復元力特性や周期など建物モデルを利用し、地震応答解析に基づいて被害関数を構築する方法である。また被害データと地震応答解析とから建物モデルの設定や被害関数が提案されている。

長戸・川瀬(2002)¹⁻²⁷⁾は、灘区・東灘区を対象とする建物被災度調査結果から観測被害率を求め、仮定に基づき設定した木造建物群被害予測モデルを元に計算した解析被害率と観測被害率との比較から、観測被害率を再現できる木造建物群モデルの耐力を同定した。非線形応答解析を用いて解析被害率（地域被害率）を算定する際の仮定として、建物群の耐力 C_y にばらつきを与え、同一レベルの地震動で被害の有無が生じるとした。耐力分布として木造建物 31 棟の詳細調査から得られた強度係数の頻度分布を用いた。変形クライテリアとして既往の実験結果等に基づき最大層間変形角が $1/10\text{rad}$ 以上になったモデルが大破以上の被害を受けたものとし、被害を受けたモデルの存在割合の合計を被害率としている。

宮腰ら¹⁻²⁸⁾は、応答解析を利用した被害率関数の作成方法として、建物耐力分布のばらつきに加えて、これまで考慮されていなかった被害を生じる変形クライテリア（レベル）のばらつきを考慮した被害関数の作成手法を提案した。応答解析における耐力分布のばらつきについては、既往の耐震診断結果や研究結果から推計した年代別の分布を仮定している。被災度に対する変形クライテリアの設定は実験例も少なく経験的与えていることが多いことから、兵庫県南部地震の実被害データを用いて得られた被害率曲線^{1-22), 1-24), 1-29)}と整合するような変形クライテリアのばらつきを検証した。兵庫県南部地震の地震動の観測記録、構造別、耐力分布から 3,480 ケースの計算を行い、被害率関数を求めた。兵庫県南部地震の被害率曲線に適合する変形クライテリアを設定したが、今後の実証的な研究、地震被害データとの整合性の検証など研究蓄積が必要としている。

上記については、1995 年兵庫県南部地震を例に実被害データと地震動を元に構築された例である。

境・飯塚(2009)¹⁻³⁰⁾は、実在建物（近畿地方、寒冷地、中国地方、九州地方）の微動計測結果と神戸市、西宮市、宝塚市、芦屋市のデータから一般化した築後年分布を元に、建物群の周期の確率密度分布を作成した。求めた周期の確率密度分布と耐力（ベースシア係数） C_y の関係式から、耐力分布を求める方法を提案した。提案した手法を用いて、木造建物群の周期・耐力分布を求め、木造建物群モデルを構築した。構築した木造建物群モデルの各建物に、入力地震動として過去の地震で実被害データが得られた 54 の強震記録を用いた地震応答解析を行い、一定の塑性率を超えた建物を全壊と見なして被害率を計算している。全壊は層間変形角が $1/20, 1/15$ 、全壊塑性率を $6, 8$ の 2 通りに設定している。被害調査による観測点周辺の実際の被害率と比較して検証

し、誤差平均 2-3%の精度で実被害率を推定している。境らは、提案した手法を用いて、日本で平均的な木造建物群モデルの構築や精度の高い地域性や築後年を考慮したモデルの構築が可能としている。

地震応答解析を用いた被害率関数の構築方法は、復元力特性や周期など建物の振動応答モデルを設定し、地震応答解析に基づいて関数を構築する方法である。この場合、建物の周期特性や耐震性能分布など地域性を反映できる半面、建物モデル化の正否に加え計算に必要な設定条件が多いことが構築上の問題点として指摘できる。

1.2.3 耐震診断結果を用いた被害率関数構築に関する研究

損害保険料率算定会(1985, 1988)^{1-31), 1-32)}は、木造建物の耐震精密診断法¹⁻³³⁾の診断結果を用いて、専用住宅や店舗併用住宅等の用途と階数ごとの建物グループを対象に水平抵抗力の評点の確率分布を設定し、地震応答解析から被害レベルを推定した。

鉄筋コンクリート造に関する研究ではあるが、中埜・岡田(1989)¹⁻³⁴⁾は、静岡県内 RC 造公共建築物の耐震診断結果の分析を行うとともに、地震動入力に対する建物被害率を信頼性理論に基づいて確率統計的に検討している。この中で既存建物の耐震性能指標(以下、「 I_s 値」という。)の頻度分布は、対数正規分布に近似できるとした。また、地震被害を受けた建物の I_s 値の分布と既存建物の I_s 値の分布の比較から、異なる地域の建物群にも関わらず、 I_s 値の小さい建物に被害が生じるという傾向がみられることを指摘している。被害関数の推定として、ある $1s$ 値より低い I_s 値の建物すべてに被害が生じる「確定的アプローチ」、 $1s$ 値が低くなるに従って被害の割合が高くなる「確率的アプローチ」の考え方を示した。

また林ら(2000)¹⁻³⁵⁾は、個別の建物特性を考慮した地域の被害想定やリスク評価に利用できる手法として、兵庫県南部地震の実被害に基づいた建物群の被害関数¹⁻²⁹⁾と既往文献や被害調査結果から推定した $1s$ 値の分布に基づいて、 I_s 値別の個々の RC 造建物の損傷確率を与える被害関数を導出している。

梅村・山崎(2002)¹⁻³⁶⁾は、林らが RC 造建物について行ったものと同様の手法¹⁻³⁵⁾を用いて、横浜市が実施した木造住宅の耐震診断結果と、神戸市灘区の建物群の経験的な被害関数¹⁻²²⁾とから、耐震性能を考慮した個々の木造住宅の被害関数を構築している。ここでは、横浜市と東灘区の耐震診断結果の分布を同一と仮定している。

小檜山・山崎ら(2002)¹⁻³⁷⁾は、木造建物の耐震性能分布が地域により異なることを全国対象の耐震診断結果の分析から指摘している。経験的被害関数は、その構築に用いたデータと異なる地域へ適用する際には注意を要し、建物の耐震性能分布が異なる場合には、考慮する工夫が必要としている。

小檜山・山崎ら(2003)¹⁻³⁸⁾は、兵庫県の木造住宅の耐震診断結果から求めた確率密度関数と加速度応答スペクトルとを用いて、耐震性能の地域性を反映できる木造建物の被害関数を提案している。地震動入力に加速度応答スペクトルを用いることで、地震動入力と建物振動の周期的な関係を考慮している。小檜山・山崎ら(2003)¹⁻³⁸⁾の被害関数の適用範囲は一部損壊以上の被害発生率のみだが、塩見・小檜山(2007)¹⁻³⁹⁾が手法を拡張し、全壊及び全半壊率に対応した推定手法を提案している。過去の地震被害調査結果に拠らない被害関数である。層間変形角の閾値などのパラメータの設定が課題であり、全壊率の推定が過大となった。

岡田・高井(1999)¹⁻⁴⁰⁾は、建物崩壊による人的被害の発生メカニズム解明およびその減災手法の開発を目的として、まず既存の被害尺度を整理し、被害状態をパターン化して図示することにより、建物被害の理解の共有化を図った。建物を MSK-64 震度階(1984)の4構造分類を基準に25の構造タイプに分類した。このうち木造軸組み工法(CT-2)、鉄筋コンクリートラーメン構造(DC-2)、アドベ造(AA1)を選定しパターン化した。人的被害が建物の全体的な破壊に強く関連すること、被害調査の容易性の観点から、被害状態のパターン化は建物の全体的な破壊状態に着目した。木造軸組み工法(CT-2)については、兵庫県南部地震の被害写真をもとに層崩壊に着目してパターン化した。被害尺度として、建物の全体被害状況を的確に表す EMS-98 の提案を参考に、D0 から D5 までの Damage Grade を適用した。Damage Grade に重なる数直線尺度として、0.0 から 1.0 までの Damage Index を設定した。岡田・鏡味(1991)¹⁻⁴¹⁾の方法をもとに震度解説表の被害記載と過去の地震被害結果から D1 から D5 までの被害関数を構築した。既往の被害関数^{1-18), 1-42)}と比較し、D3 以上が半壊以上、D4 が全壊以上に当たることを確認した。D5 については、D5(1 層の崩壊)と D6(全層の崩壊)に区分する必要性を指摘している。

次に岡田・高井(2004)¹⁻⁴⁰⁾は、建物棟別の被害程度を評価する関数を損傷度関数と定義し、想定される地震動入力に対する被害程度を、個々の建物が保有する耐震性能から推定するための関数として導出した。推定方法として建物の持つ強さ(耐震性能、建物耐力)を確率的に与え、荷重を確定的に与えた「確定的アプローチ」の考え方に基づいて関数を導出した。地域被害率をその地域における建物群の耐震性能分布のある耐震評点(木造住宅の耐震診断値)に対する非超過確率とみなし、それを媒介として既往の被害率関数と導出する損傷度関数とを関連づける。全国の平均的な関数を構築するために、耐震性能分布については全国を対象とした木耐協の耐震診断結果から推定し、被害率関数として岡田・高井(1999)¹⁻⁴¹⁾による被害尺度が D1 から D5 までの全国平均の関数を用いた。導出された損傷度関数は、耐震評点ごとに地震動と損傷度(Damage Index)との関係で表され、ワイブル分布に適合されている。

田畑・岡田ら(2006, 2007)^{1-43), 1-44)}は、死者数推定を目的とした被害関数を構築するため、損傷度関数の精度を向上させている。死者数推定に重要となる D5 を D5(1 層の崩壊)と D6(全層の崩壊)に分割した。

林ら^{1-15), 1-16)}が推定した最大地動速度分布と、田畑らが兵庫県南部地震の航空写真判読から作成した D0 から D6 までの被害区分の木造建物被害データベースを用いて、D0 から D6 まで細分化した被害率関数を構築した。構築した地域の建物群の被害率関数と木耐協の大阪圏の耐震診断結果から推定した耐震性能分布から、個別木造建物を D6 まで評価可能な損傷度関数を構築、更新している。

また、D6 まで評価可能な損傷度関数と、被害程度として Damage Index を利用した死者数の予測式(棟死亡率関数)を用いて、東海・東南海・南海地震が連動して発生した場合の被害を想定している。地震本部が発表した推定最大地動速度分布を用いて、

地域の木造建物群の耐震性能分布として木耐協の首都圏の分布を用いて、建物被害と死者数を予測している。損傷度関数を利用することで個別建物の耐震化対策や、広域における建物・人的被害予測への応用で自治体の防災対策への活用を提案している。

耐震診断結果を用いた被害率関数の構築方法は、個別建物の損傷度関数（個別建物保有の耐震性能、作用する地震動強さ、その結果としての損傷度の3変数の関係を関数化したもの）に木造建物群の耐震性能を指標化した耐震評点分布を適用して被害率関数を構築する方法である。地域の耐震評点分布を用意できれば、構築が比較的に容易であり、地域性を反映できる。

1.2.4 地域を単位とした防災力向上に関する研究

大規模地震は、被害が甚大・広域のため、国や地方公共団体や関連機関、住民などの地域が様々な対策によって被害軽減を図ることが肝要である。特に切迫性の高い地震や甚大な被害が予想される地震は、効果的・効率的に軽減策を講じなければならない。このため具体的な被害軽減量を数値目標として定め、被害要因の分析を通じ効果的な対策を選択し、戦略として集中的に推進することが求められる^{1-1)~3)}。

減災対策には、地域を単位とした対策の推進や防災力の向上が非常に有効である。

地域を単位とした防災力向上に関する研究として、竹内ら¹⁻⁴⁾は、北海道の14地域の実態調査をもとに地域防災力を評価する指標を提案している。糸長ら¹⁻⁵⁾は新潟県中越地震における孤立した農業集落の調査から、日常的な地域自治が災害対応に役だった一方、高齢化が災害対策にも影響したとしている。また災害時における地域活動の有用性の観点から、田口ら¹⁻⁶⁾は都市域を対象とし、地域コミュニティを潜在的な防災力として考え、自治会や住民参加により評価する手法を提案している。中山間地域など孤立可能性のある集落を対象とした防災力評価指標に関わる既往研究では、太田ら¹⁻⁷⁾は紀伊半島のモデル地域において、地域の孤立による生活への影響を考慮した指標による評価を検討している。

本論文で構築する木造建物群の地域被害率関数を用いることにより、地域性を考慮した被害量を精度よく求めることができる。地域単位の減災対策を検討するための数値目標を精度よく求めることができるようになる。このことにより地域単位の防災対策の推進や防災力の向上をより一層進めることが可能となる。

1.3. 本論文の目的

自治体等の地震被害想定で利用される木造住宅の被害率関数は、一般にその関数型に正規分布属を用いることが多く、過去の地震被害資料に基づいて構築される^{例えば 1-18), 1-22), 1-24), 1-45)}。この場合、地域性や時代性に基づく建物耐震性の多様性を 2 つのパラメータ（平均値と標準偏差）で表す。本来直接的に評価すべき耐震性能の多様性は、観測された被害率のパラッキとして間接的に評価される。よって被害資料に基づくこの種の研究には関数策定過程において重大な問題点が指摘できる。すなわち被害率関数の精度向上のためには地域別、建築年別に構築する必要があり、関数を最小二乗法等により当てはめるパラメトリック推定において精度を上げるためには入力地震動（例えば最大地動速度 PGV や震度等）の広い変動範囲において被害資料（入力地震動の大きさと被害率とが対となったデータ）を多く必要とする。しかし当該地域において資料を揃えるのは、地震国といえども大規模被災経験の多い自治体は限られ現実的にかなり難しい。

被害資料に基づく手法に代わる方法は大きく二つに分類される。一つ目は、実験や測定によつての復元力特性や周期など建物モデルを設定し、地震応答解析に基づいて被害関数^{例えば 1-27), 1-28), 1-30)}を構築する方法である。応答解析から被害予測する手法は、建物の周期特性など地域性が反映できる半面、計算に必要な設定条件が多く、自治体での利用を考えると手間が多い。過去の被害地震に基づく予測手法は簡便であるが、提案された被害率関数は基とした被害地震の発生した地域の特性を強く反映しており、例えば兵庫県南部地震と以降の被害率との比較から地域が違う場合、安易に兵庫県南部地震の被害率関数を援用することの問題が指摘されている^{1-24)~26)}。そうではあるが北海道など震度 6 強以上の地震被害データが少ない地域においては関数作成が難しいという問題も抱えている。それに対し二つ目の方法は建物の耐震診断結果を用いた手法であり耐震性から被害評価の地域性の抽出の可能性がある^{例えば 1-38), 1-39), 1-40), 1-44)}。

本論文では、後者の建物の耐震性指標として耐震診断結果を用いた木造建物被害の算定手法である岡田・高井¹⁻⁴⁰⁾による損傷度関数を用いた田畑・岡田ら¹⁻⁴⁴⁾の手法を基に、地域の耐震診断結果を考慮した地域被害の予測手法（地域被害率関数）を提案する。この方法では、建物群の耐震性の多様性を耐震評点（耐震診断法による診断結果、耐震性能を表す値）に関する頻度分布（確率密度分布）で直接的に評価することが可能となる。地域ごとの耐震評点分布は日本木造住宅耐震補強事業者協同組合（以下、「木耐協」という。）が収集整理しており、容易に利用可能であり、地域の被害データがなくても精度の高い被害率関数を求めることができる。また構築する関数の今後の精度向上のために、地震発生後の被害調査結果を取り込んだ関数の更新方法について提案を行う。

1.4. 本論文の構成と概要

本論文は、5章から構成されている。

第1章では、本論文の背景および、既往研究の課題整理から本論文の位置づけと目的を述べる。

第2章では、北海道の過去地震における北海道の木造住宅被害の傾向および、北海道の木造住宅における耐震性能の傾向について分析を行い、北海道の住宅仕様の地域性・時代性と当該地域の地震被害率との関連性を明らかにする。

第3章では、北海道が実施した木造住宅の耐震診断結果を用いて木造建物群の年代別耐震評点分布のモデル化を試み、評点分布に個別建物の損傷度関数を適用することによる地域性を考慮した木造建物群の建築年代別被害率関数の構築方法を提案する。

第4章では、2018年9月に発生した北海道胆振東部地震の被害調査結果を利用して3章で構築した被害率関数を更新する方法を提案し、更新した関数を用いて胆振東部地震の被害想定を行い、実被害と比較して評価精度を検証する。

第5章では、各章の要点を整理して総括を行い、今後の展開方向について述べる。

第2章 北海道の木造住宅の耐震性と地震被害

2.1. はじめに

第2章では、地域性と時代性を考慮した被害率関数の構築のために、北海道の木造住宅の建築年代別の耐震性能および建物仕様の実態や、過去の地震における木造住宅の震度と被害率の関係について傾向を把握する。

まず、北海道が実施した地震被害想定調査において市町村から収集された建築年代別の木造住家データを用いて、北海道の木造住家の棟数分布や市町村別の建築年代別割合の傾向を把握する。

次に、道が実施した木造住宅の耐震診断結果を用いて、耐震評点や低減係数などの耐震性能を表す指標の建築年代別の傾向を明らかにする。また既往文献から、耐震性能に関わる木造住宅の建物仕様について整理し、年代別特徴を把握する。

時代の変化に伴う地域の木造建物群の耐震性能の向上を確認するために、北海道において発生した被害地震の観測震度と住家被害数を整理し、過去の十勝沖地震、釧路沖地震、浦河沖地震などの被害率を求めて、地震被害率の経年変化を明らかにする。

2.2. 北海道の木造住家の建築年代別割合

2.2.1 北海道の木造住家の年代別割合

(1) 調査方法

北海道の既存木造住宅の耐震性を検証する基礎資料とするため、道内市町村を対象に住家棟数や建築年代別割合の調査を実施した^{2-1), 2-2)}。

① 調査対象

調査対象は、道内 179 市町村(2018 年現在)とした。調査対象とした市町村を Fig. 2-1 に示す。調査は、北海道が地震被害想定を実施するために「平成 28 年度地震被害想定調査」²⁻¹⁾のなかで実施したものである。

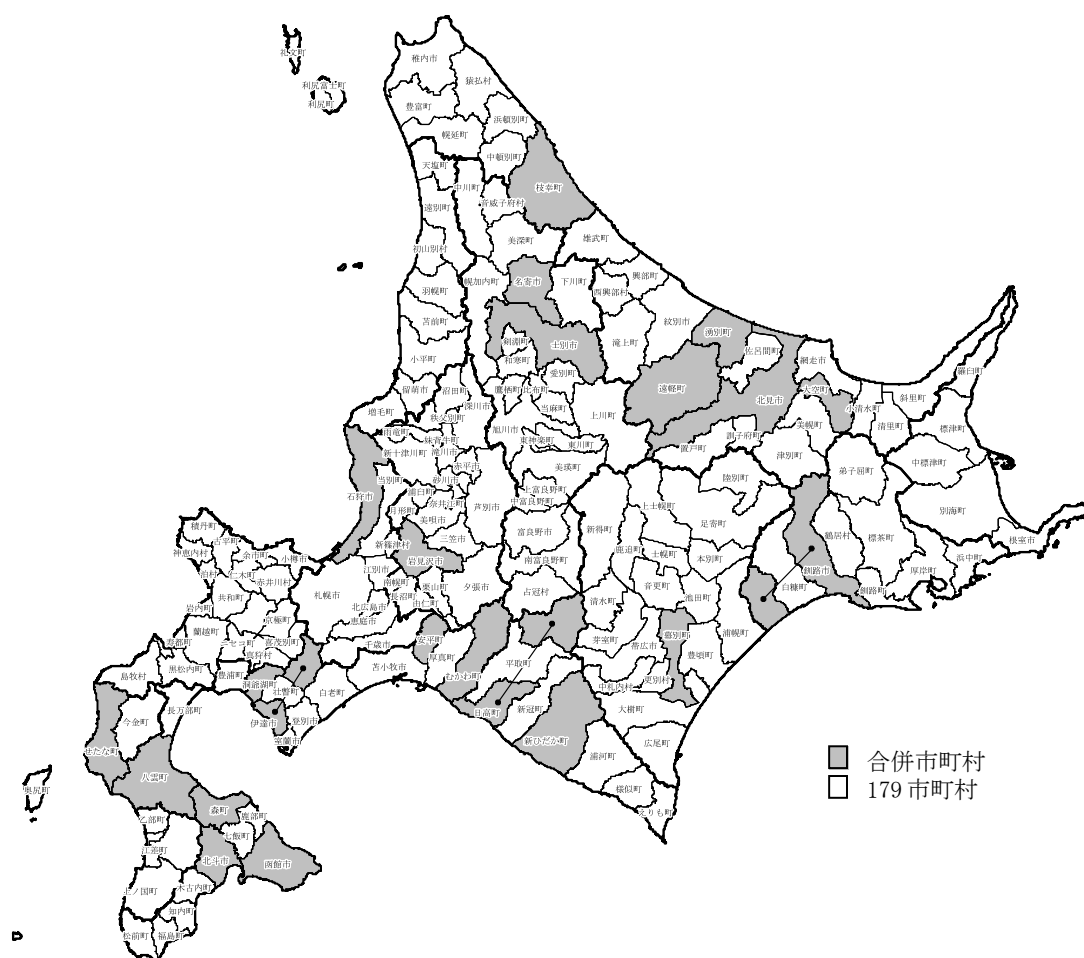


Fig. 2-1 179 市町村(2018 年現在)

② 調査時期と調査方法

調査時期は 2012 年から 2015 年にかけてであり，建物データは地域を年度ごとに分けて収集された（Table 2-1）²⁻¹⁾。

市町村から収集した用途別（住家，非住家），構造別（木造，非木造），建築年代別（5 区分）の建物データを利用する。収集調査年の 1 月時点の固定資産税台帳の建物を基本とし，可能な範囲で非課税建物を含め，字界・町丁目単位毎の集計を市町村に依頼して入手したものである。

このうち，木造住家データの建築年代区分は，建築基準法の耐震基準に改正のあった年を基本として，1961 年以前，1962～1971 年，1972～1981 年，1982～2000 年，2001 年以降の 5 区分とした。

Table 2-1 地震被害想定調査における建物データ収集の調査年

収集調査年	収集地域
2012 年	十勝，釧路，根室，オホーツク，上川
2013 年	渡島，胆振，日高
2014 年	檜山，後志，石狩，留萌
2015 年	空知，宗谷，オホーツク，上川（一部）

市町村職員に，以下の固定資産税台帳を基本とした住家の集計方法をもとに，調査表へ記入をお願いした。

「住家」として集計する用途区分としては，「専用住宅」，「共同住宅（集合住宅）」，「併用住宅」など居住の用に供される部分のある建物とする。共同住宅のうち，分譲共同住宅（区分所有）のように戸数単位でカウントされている場合，戸数ではなく棟数にまとめて集計する。住家と非住家（店舗など）が混合している併用住宅で，用途毎ごとに棟数がカウントされている場合，住家の構造と建築年代で代表させ 1 棟として集計する。混合構造建物で，構造ごとに棟数がカウントされている場合，1 階部分の構造と建築年代で代表させ 1 棟として集計する。

調査票の例を Fig. 2-2 に示す。

北海道の想定地震見直しに係る基礎調査票（1. 固定資産_住家データ） 1/5									
市町村名： 稚内市									
出 典： 固定資産税課税台帳 （平成27年1月1日）									
NO.	大字・町丁目 界名	木造棟数					非木造棟数		
		建築年が昭和 36年以前	建築年が昭和 37～昭和46年	建築年が昭和 47～昭和56年	建築年が昭和 57～平成12年	建築年が平成 13年以降	建築年が昭和 46年以前	建築年が昭和 47～昭和56年	建築年が昭和 57年以降
1	こまどり1丁目	0	20	18	38	13	3	0	2
2	こまどり2丁目	0	0	9	5	11	0	0	0
3	こまどり3丁目	0	8	122	28	16	4	3	0
4	こまどり4丁目	0	0	38	23	11	0	4	2
5	こまどり5丁目	0	0	0	272	31	0	0	0
6	はまなす1丁目	0	16	68	28	13	0	2	1
7	はまなす2丁目	0	34	36	39	18	1	1	1
8	はまなす3丁目	0	10	23	8	2	0	0	0
9	はまなす4丁目	0	0	2	2	0	0	0	0
10	はまなす5丁目	0	0	0	2	0	0	0	0
11	ノシャップ1丁目	5	14	42	33	5	4	0	0
12	ノシャップ2丁目	1	8	34	18	3	1	0	0
13	ノシャップ3丁目	9	8	14	9	4	0	0	0
14	ノシャップ4丁目	1	0	1	1	0	1	0	0
15	ノシャップ5丁目	2	0	1	1	0	0	0	0

Fig. 2-2 調査票の例

③ 調査の回収結果

179 市町村からの回収結果を以下の Table 2-2 に示す。収集結果から、北海道全体の住宅棟数は、2,056,376 棟、住家は 1,599,029 棟、非住家は 457,347 棟となった。

このうち、木造住家 1,445,569 棟について分析を行う。

Table 2-2 建物データの収集結果（棟）

振興局	住家		非住家		建物棟数
	木造棟数	非木造棟数	木造棟数	非木造棟数	
空知	103,805	13,195	18,996	26,363	162,359
石狩	426,891	61,244	19,410	56,672	564,217
後志	85,247	8,062	13,302	12,320	118,931
胆振	122,733	11,711	9,806	17,585	161,835
日高	27,922	2,742	14,700	9,524	54,888
渡島	135,920	9,727	26,059	16,559	188,265
檜山	16,844	880	7,779	3,602	29,105
上川	160,727	13,819	21,936	27,577	224,059
留萌	21,253	1,442	5,002	3,902	31,599
宗谷	24,785	1,994	5,205	5,134	37,118
オホーツク	102,703	9,165	14,333	26,406	152,607
十勝	111,237	11,746	22,075	30,538	175,596
釧路	77,773	5,133	10,388	13,123	106,417
根室	27,729	2,600	5,164	13,887	49,380
計	1,445,569	153,460	194,155	263,192	2,056,376

(2) 北海道の木造住家棟数

全道の木造住家棟数の分布を Fig. 2-3 に示す。全道の木造住家棟数は、1,445,569 棟であった。

規模別にみると、道内では 2,500 棟未満の市町村が 90 町村と最も多く約半数を占める。10 万棟以上の市町村は 1 市、5 万棟以上 10 万棟未満は 3 市、1 万棟以上 5 万棟未満は 20 市町となった。

市町村でみると、10 万棟以上は札幌市(318,686 棟)であり、道内木造住家棟数の 22.0%を占めている。5 万棟以上の 3 市は旭川市(99,862 棟)、函館市(80,743 棟)、小樽市(52,667 棟)である。

木造住家数が少ないのは、神恵内村、赤井川村、中頓別町、占冠村、西興部村、音威子府村の 6 村で 500 棟未満であった。

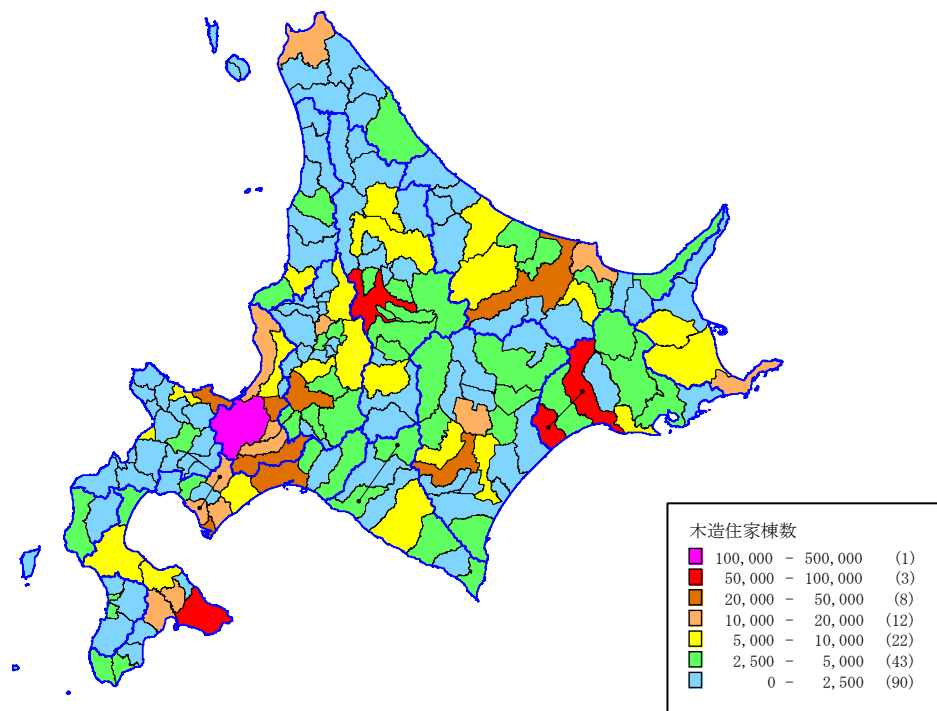


Fig. 2-3 木造住家の分布

振興局別にみると、木造住家棟数が最も多いのは石狩で 426,891 棟、ついで上川 160,727 棟、渡島 135,920 棟、胆振 122,733 棟となる (Table 2-2)。

Fig. 2-4 に振興局別の木造住家棟数規模別の市町村数を、Fig. 2-5 に振興局別の木造住家棟数規模別の市町村数の割合を示す。

札幌などの大規模な都市が集中する石狩では、1 万棟以上の木造住家棟数規模の大きい市町村の割合が 75%と高くなった。一方、後志・宗谷や檜山では、2,500 棟未満の木造住家棟数規模の小さい市町村の割合が高い (後志・宗谷 80%，檜山 71%)。道内においても、人口集中地域とそれ以外の地域で木造住家棟数規模が大きく異なる。

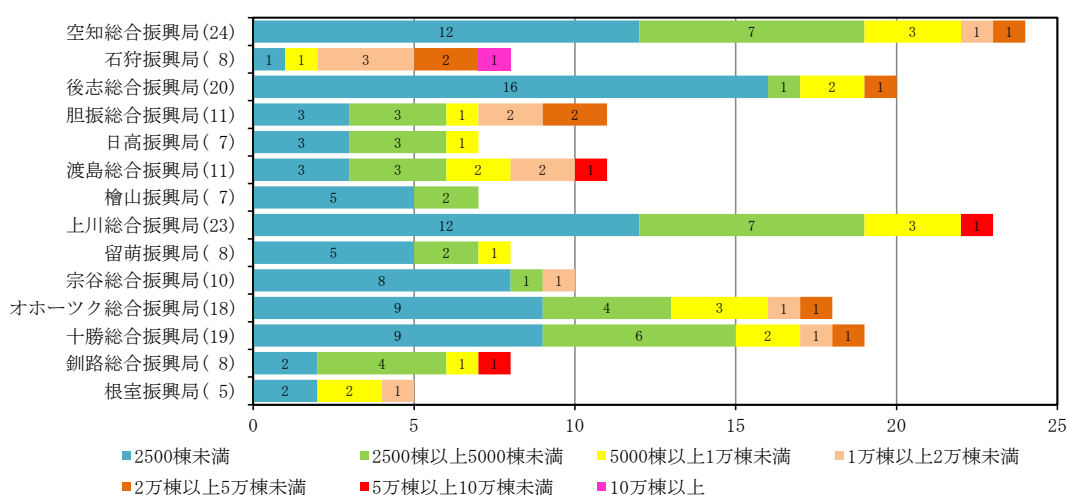


Fig. 2-4 振興局別の木造住家棟数規模別の市町村数

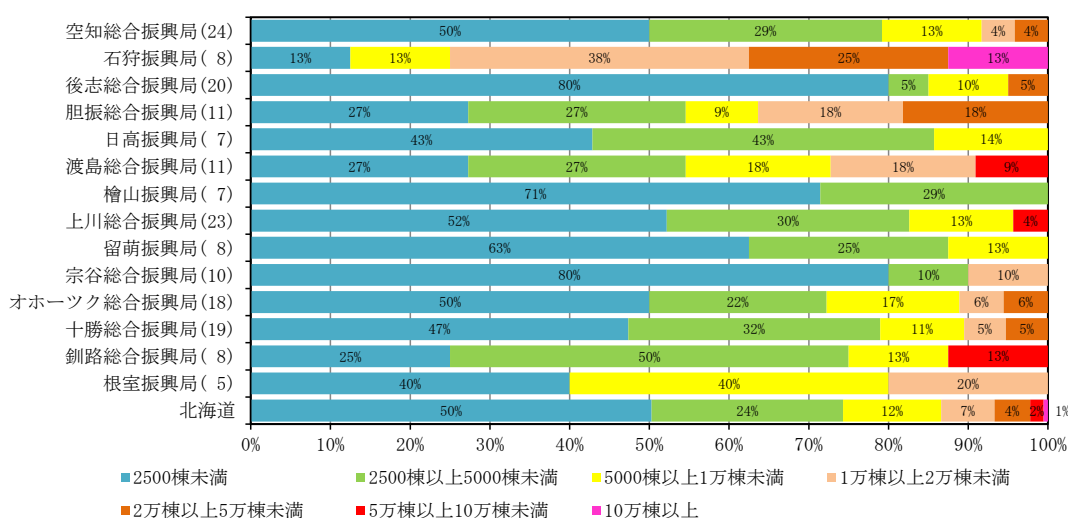


Fig. 2-5 振興局別の木造住家棟数規模別の市町村数の割合

(3) 北海道の木造住家の建築年代別割合

北海道の木造住家の建築年代別棟数と建築年代別割合を Fig. 2-6, 2-7 に示す。

北海道の木造住家の建築年代別棟数と建築年代別割合は、総計(1,445,569 棟)に対して、1961 年以前は 7%，1962～1971 年は 12%，1972～1981 年は 27%，1982～2000 年は 40%，2001 年以降は 13% となった。新耐震基準以前の割合が 47% である。平成 25 年度住宅・土地統計調査²⁻³⁾の木造(戸数)の年代別割合は 1961 年以前は 3%，1962～1971 年は 7%，1972～1981 年は 22%，1982～2000 年は 47%，2001 年以降は 22%，新耐震基準以前の割合が 32% である。今回調査は、住宅土地統計調査に比べて、古い年代の建物が多い結果となった。

次に振興局別に木造住家の建築年代別棟数と建築年代別割合をみていく。

北海道全体の新耐震基準以降の割合(53%)に比べて、石狩の割合が 62% と非常に高い。次いで十勝が 57%，胆振が 55% となり、新耐震基準の住家の占める割合が他振興局と比べが高くなった。

旧耐震基準の木造住家は、留萌が 64% と非常に高い。次いで後志・檜山が 58% となり、旧耐震基準の住家の占める割合が他振興局と比べが高くなった。留萌・後志・檜山は 1961 年以前，1962～1971 年，1972～1981 年の各年代についても他振興局より占める割合が高く，古い建物の割合が高い。

次に、地震被害による倒壊の恐れが大きい、旧耐震基準の 1961 年以前，1962～1971 年，1972～1981 年の 3 建築年代について、市町村単位で住家棟数と存在割合を分析する。

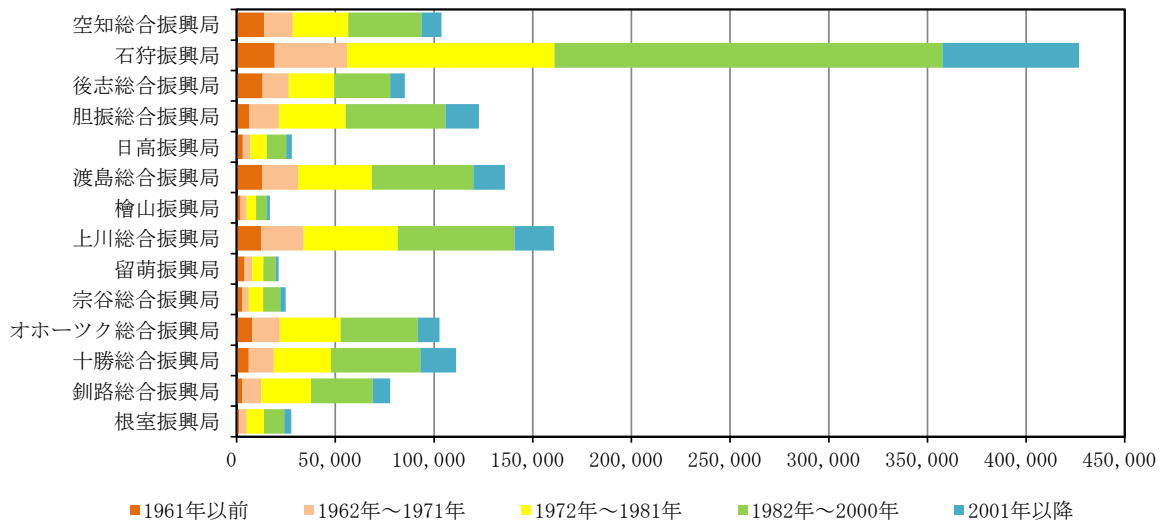


Fig. 2-6 北海道の木造住家の建築年代別棟数

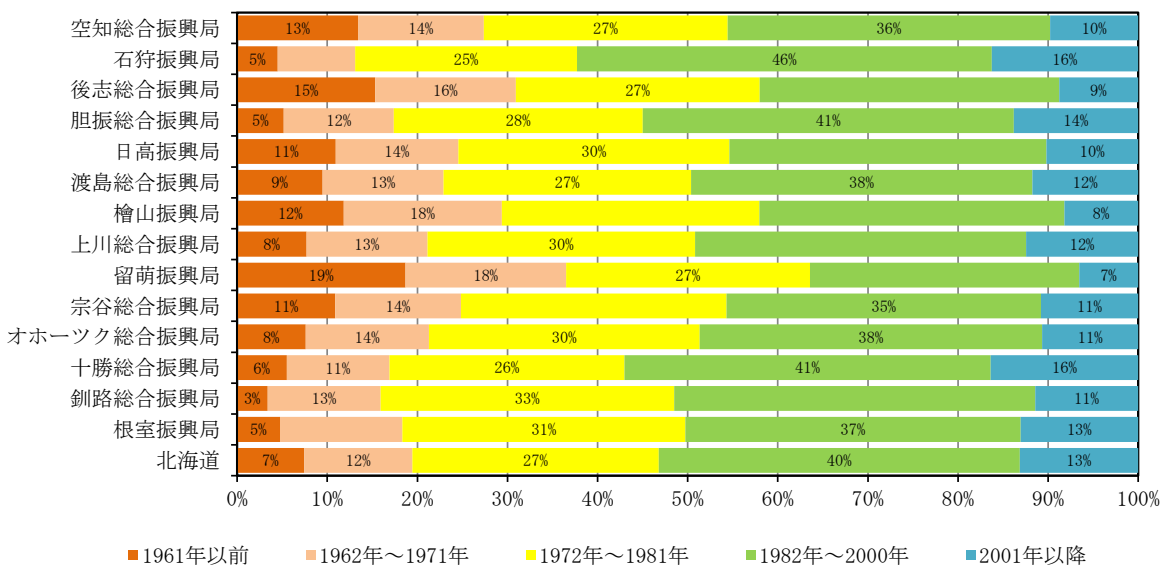


Fig. 2-7 北海道の木造住家の建築年代別割合

2.2.2 旧耐震基準の木造住家の年代別割合

(1) 1961 年以前の木造住家の年代別割合

1961 年以前の木造住家棟数の分布を Fig. 2-8 に示す。1961 年以前の住家棟数が 500 棟未満の市町村が 132 市町村(74%)となり最も割合が高い。2,000 棟以上の木造住家が残存する市町村(3%)が少ない。

1961 年以前の棟数が最も多いのが札幌市で 16,541 棟となった。北海道(107,504 棟)の 15%を占める。次いで 5,000 以上 1 万棟未満が函館市(8,291 棟)および小樽市(6,841 棟)、2,000 以上 5,000 棟未満が旭川市(4,352 棟)、美瑛市(2,456 棟)、室蘭市(2,434 棟)となった。棟数が多い市町村は、人口規模が大きくストック数の多い市町村となった。

1961 年以前の住家棟数が 100 棟未満となったのは 19 市町村で、総数が 1,000 棟未満の小規模市町村の他に、北広島市が含まれている。

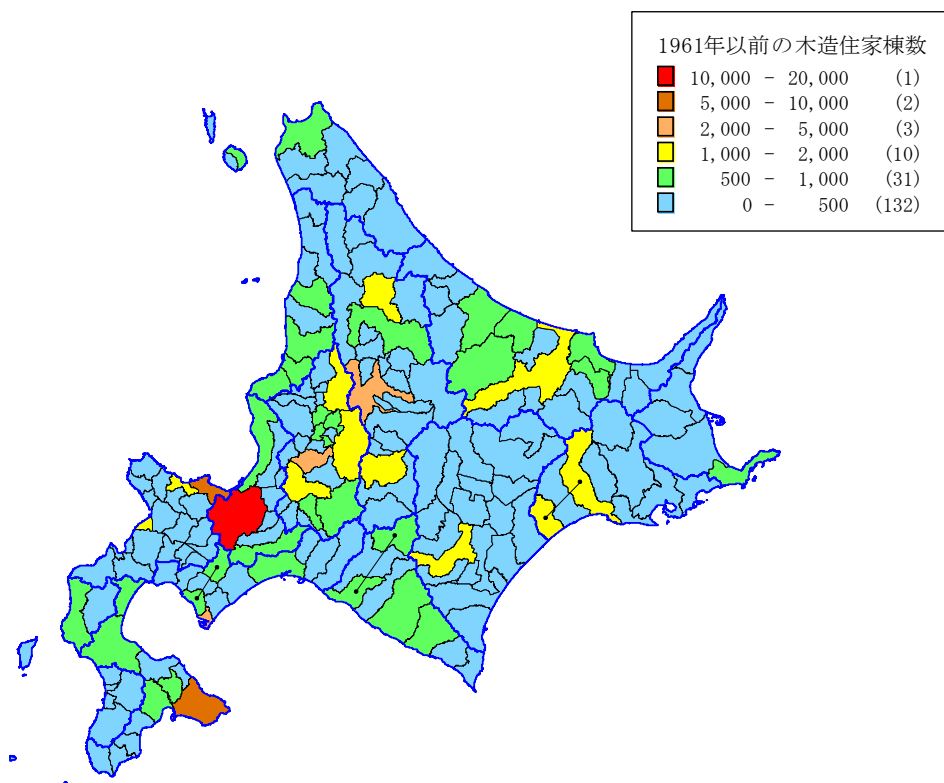


Fig. 2-8 1961 年以前の木造住家棟数の分布

全道の 1961 年以前の木造住家割合の分布を Fig. 2-9 に示す。市町村別で見ると、最も多いのは 10%未満の場合で、75 市町村(42%)となった。次いで、10%～20%が 74 市町村(41%)と多い。北海道の 1961 年以前の割合は 7%(107,504 棟)である。

1961 年以前の割合が 40%以上と古い住家の割合が比較的高い町村は 3 つで、利尻富士町(1961 年以前の割合 47%，581 棟)，上砂川町(44%，656 棟)，泊村(44%，353 棟)であった。次いで 30～40%が 7 町村で、幌加内町，中頓別町，小平町，礼文町，滝上町，神恵内村，南富良野町で比較的多い。

一方、古い住家の割合が下位 10 位に含まれる市町は、北広島市，江別市，釧路町，苫小牧市，恵庭市，中標津町，音更町，登別市，千歳市，白老町である。木造住家棟数が 5,000 棟以上で、棟数比 3%未満，石狩・胆振の市町が多い。

1961 年以前の木造住家の割合(20%以上)および棟数(2,000 棟以上)ともに高くなる市町村は、美唄市(1961 年以前の割合 26%，2,456 棟)であった。

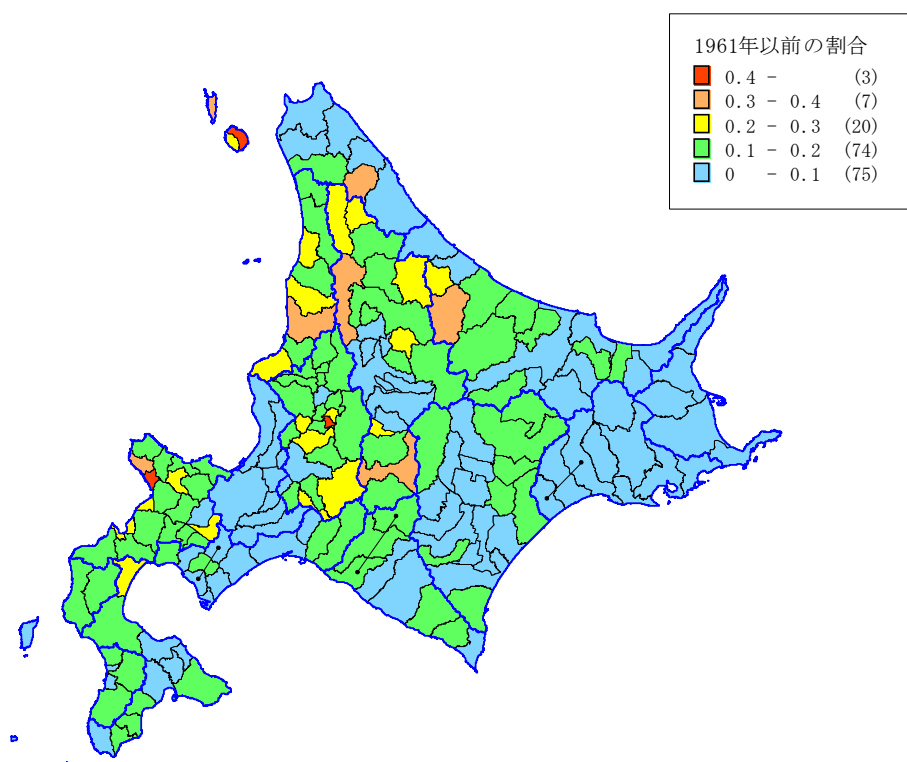


Fig. 2-9 1961 年以前の木造住家の割合の分布

(2) 1962～1971 年の木造住家の年代別割合

1962～1971 年の木造住家棟数の分布を Fig. 2-10 に示す。1962～1971 年の住家棟数が 500 棟未満の市町村が 110 市町村(61%)となり最も割合が高い。2,000 棟以上の木造住家が残存する市町村(7%)が少ない。

1962～1971 年の棟数が最も多いのが札幌市で 30,311 棟となった。北海道(173,484 棟)の 17%を占める。次いで 1 万以上 2 万棟未満が旭川市(12,500 棟), 函館市(10,919 棟), 5000 以上 1 万棟未満が小樽市(7,733 棟), 釧路市(6,859 棟), 帯広市(5,173 棟)となった。棟数が多い市町村は, 人口規模が大きくストック数の多い市町村となった。

1962～1971 年の住家棟数が 100 棟未満となったのは 14 町村で, 総数が 1,000 棟未満の小規模町村が多い。

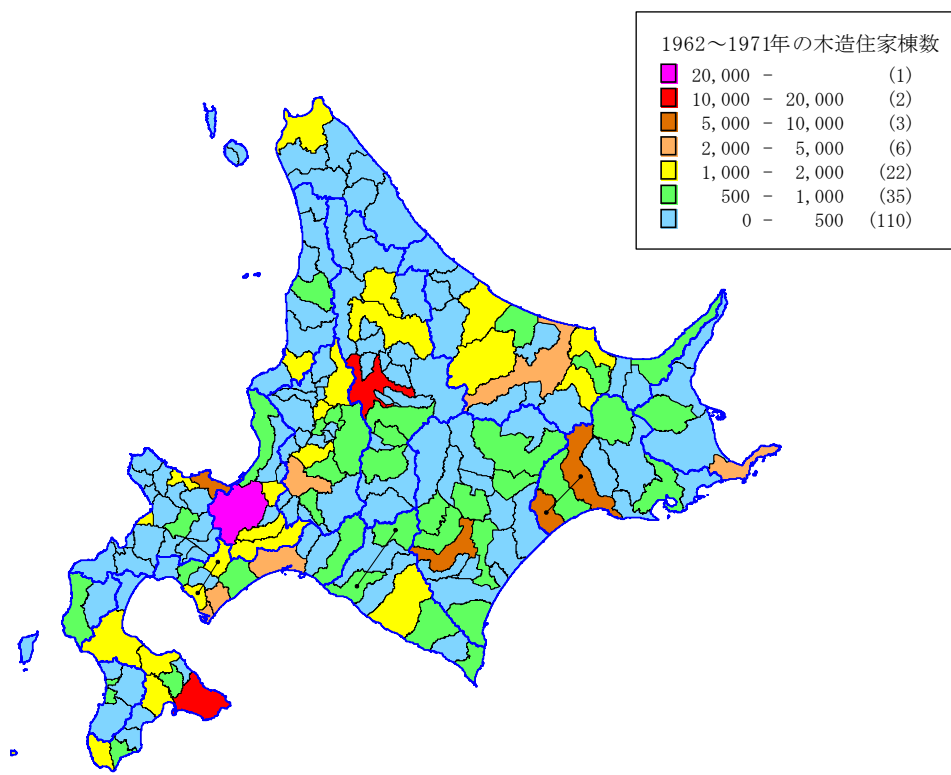


Fig. 2-10 1962～1971 年の木造住家棟数の分布

全道の 1962～1971 年の木造住家割合の分布を Fig. 2-11 に示す。市町村別で見ると、最も多いのは 10～20% の場合で、133 市町村(74%)と大部分を占める。北海道の 1962～1971 年の割合は 12% (173, 484 棟)である。

1962～1971 年の割合が 20～30% と古い住家の割合が比較的高い 17 市町村のうち上位 5 つの町は、遠別町(1962～1971 年の割合 27%, 棟数 283 棟)、苫前町(25%, 364 棟)、陸別町(24%, 295 棟)、歌志内市(24%, 270 棟)、利尻町(23%, 223 棟)である。

一方、古い住家の割合が下位 10 位に含まれる市町は、北広島市、利尻富士町、石狩市、釧路町、上砂川町、東神楽町、南幌町、音更町、千歳市、江別市である。棟数比 7%未満、石狩の市が多い。

1962～1971 年の木造住家の割合(20%以上)および棟数(2,000 棟以上)ともに高くなる市町村は、根室市(1962～1971 年の割合 21%, 棟数 2,237 棟)であった。

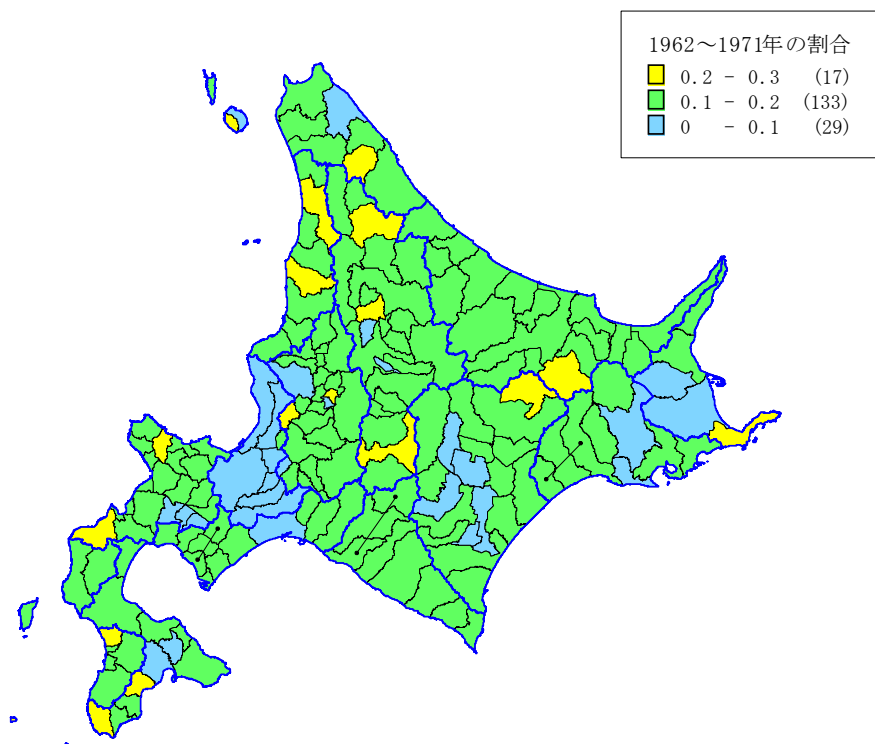


Fig. 2-11 1962～1971 年の木造住家の割合の分布

(3) 1972～1981 年の木造住家の年代別割合

1972～1981 年の木造住家棟数の分布を Fig. 2-12 に示す。1972～1981 年の住家棟数が 500 棟未満の市町村が 132 市町村 (74%) となり最も割合が高い。1971 年以前の建築年代と異なり、2,000 棟以上の木造住家が残存する市町村 (21%) が多くなった。

1972～1981 年の棟数が最も多いのが札幌市で 80,498 棟となった。北海道 (395,354 棟) の 20% を占める。次いで 2 万棟以上が旭川市 (31,081 棟)、函館市 (22,206 棟) となった。1 万以上 2 万棟未満が釧路市 (17,641 棟)、小樽市 (13,203 棟)、帯広市 (12,537 棟)、北見市 (11,642 棟)、苫小牧市 (10,464 棟) となった。棟数が多い市町村は、人口規模が大きくストック数の多い市町村となった。

1972～1981 年の住家棟数が 100 棟未満となったのは 5 町村で、赤井川村、中頓別町、音威子府村、占冠村、西興部村であり、総数が 500 棟未満の小規模町村である。

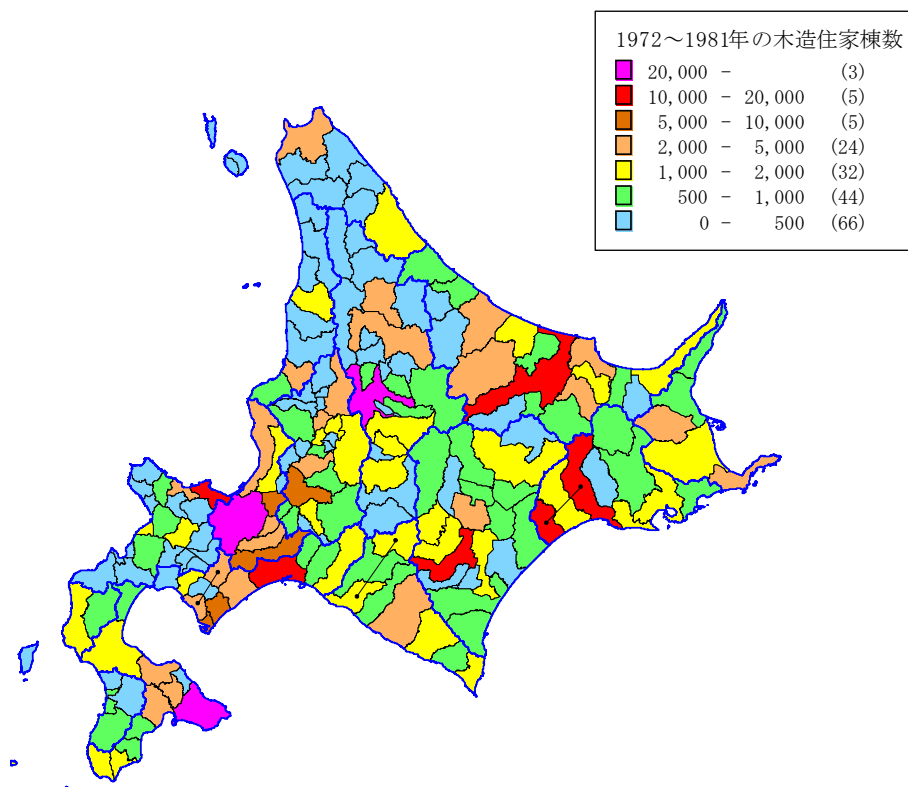


Fig. 2-12 1972～1981 年の木造住家棟数の分布

全道の 1972～1981 年の木造住家割合の分布を Fig. 2-13 に示す。市町村別で見ると、最も多いのは 20～30% の場合で、97 市町村 (54%) を占める。北海道の 1972～1981 年の割合は 27% (395, 354 棟) である。

1972～1981 年の割合が 40% 以上となったのは、和寒町で 41% (491 棟) であった。30～40% となる古い住家の割合が比較的高い 65 市町村のうち上位 5 つの町は、剣淵町 (1972～1981 年の割合 39%, 棟数 397 棟)、北竜町 (39%, 棟数 317 棟)、古平町 (38%, 棟数 523 棟)、厚岸町 (38%, 棟数 1, 402 棟)、興部町 (37%, 棟数 661 棟) である。

1972～1981 年の木造住家の割合 (30% 以上) および棟数 (3, 000 棟以上) となる市町村は、旭川市 (31%, 31, 081 棟)、釧路市 (33%, 17, 641 棟)、北見市 (30%, 11, 642 棟)、室蘭市 (30%, 7, 941 棟)、登別市 (32%, 5, 219 棟)、稚内市 (31%, 4, 171 棟)、網走市 (32%, 3, 486 棟)、根室市 (32%, 3, 481 棟)、紋別市 (33%, 3, 050 棟) であった。

一方、古い住家の割合が下位 10 位に含まれる町村は、置戸町、南富良野町、東神楽町、西興部村、利尻富士町、ニセコ町、礼文町、幌加内町、南幌町、当別町である。

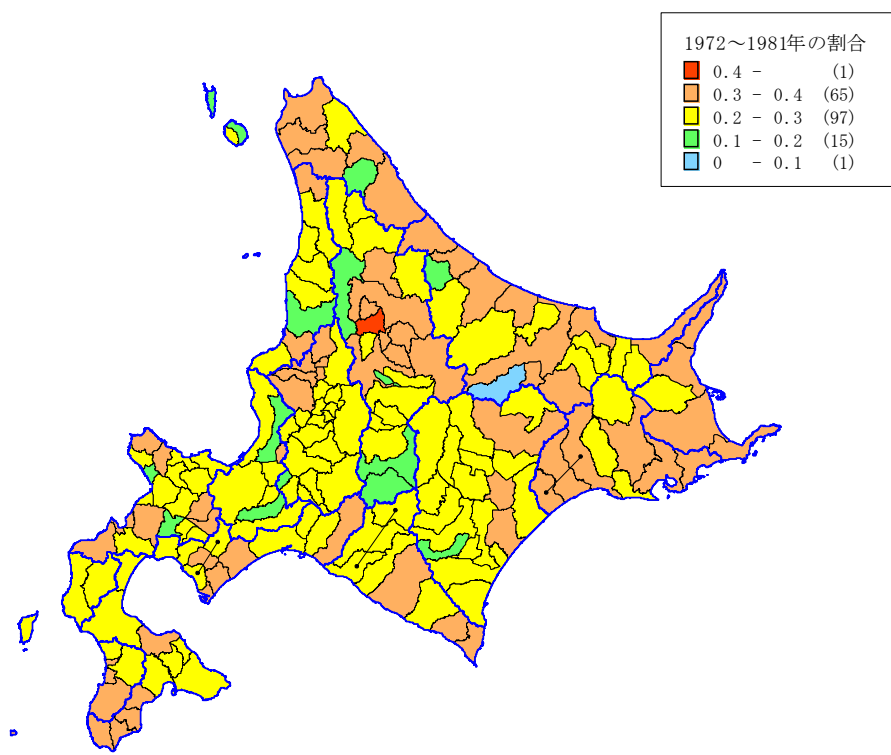


Fig. 2-13 1972～1981 年の木造住家の割合の分布

(4) 北海道の木造住家の建築年代別割合の傾向

北海道の既存木造住宅の耐震性を検証する基礎資料とするため、北海道の地震被害想定調査のなかで、木造住家データを収集した。市町村に固定資産税台帳を基本とした年代別棟数の集計を依頼し、入手した。建築年代を 1961 年以前、1962～1971 年、1972～1981 年、1982～2000 年、2001 年以降の 5 区分に分けて木造住家の建築年代別割合を分析した。以下に、結果を記す。

- ・北海道の木造住家の建築年代別割合は、総数(1,445,569 棟)に対して、1961 年以前は 7%、1962～1971 年は 12%、1972～1981 年は 27%、1982～2000 年は 40%、2001 年以降は 13%となった。
- ・今回調査における旧耐震基準の建物の割合は 47%であり、抽出調査である住宅・土地統計調査の 32%と比べて、古い建物が多い結果となった。
- ・振興局別に新耐震基準の木造住家の割合をみると、北海道全体に比べて、石狩や十勝、胆振の割合が高い。一方、留萌や後志・檜山は新耐震の割合が低い。
- ・市町村別に旧耐震基準の木造住家の割合をみると、1961 年以前の割合が 20%未満である市町村は 149 と 8 割を占める。つぎに 1962～1971 年の割合が 10～20%である市町村数は 133 と 7 割を占める。1972～1981 年の割合が 20～40%である市町村数は 169 と 9 割を占め、先の 2 つの年代に比べて残存している棟数が多い。

2.3. 北海道の木造住宅の耐震性と仕様

2.3.1 北海道の木造住宅の診断結果の年代別傾向

(1) 北海道の木造住宅の耐震診断結果

北海道の木造住宅の耐震性能に関わる年代別特徴を把握するため、道の実施している耐震診断結果に基づいた分析を行う^{2-2), 2-4)}。

北海道の木造住宅の耐震診断結果として、北海道建設部住宅局建築指導課が、一般居住者を対象に実施した木造住宅の無料耐震診断のうち、2006年から2009年までの診断結果429件を分析に利用した。

道の耐震診断の対象は、2階建て以下、500㎡以下の戸建て木造住宅である。診断は、図面及び住宅所有者からの聞き取りに基づき、財団法人日本建築防災協会の「木造住宅の耐震診断と補強方法 一般診断法による診断の実務 診断表・診断プログラム」²⁻⁵⁾を利用し実施されている。

道の診断結果は、一般診断と精算法の混在したものであったため、入手資料における診断計算の諸元を基に、全ての物件について再計算し一般診断に統一した。

分析を行った道の診断結果の建築年代別棟数を Fig. 2-14 に示す。1961～1970 年が 9 件(2%), 1971～1980 年が 134 件(31%), 1981～1990 年が 111 件 (26%), 1991～2000 年が 120 件(28%), 2001～2010 年が 55 件(13%)である。また 1981 年以前の旧耐震基準の診断件数が 143 件(33%)である。

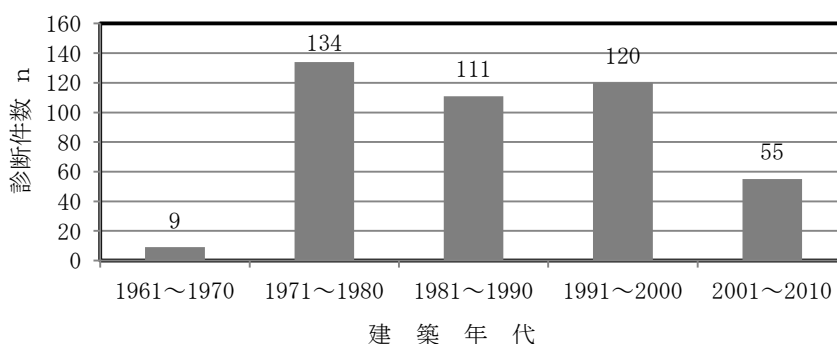


Fig. 2-14 北海道が実施した耐震診断の建築年代別診断件数

(2) 旧耐震基準の木造住宅の診断結果の傾向

北海道の木造住宅の耐震性能の年代別特徴を把握として、道が実施した診断結果から、木造住宅の耐震性能を表す上部構造評点（以下、「耐震評点」という。）について、全建築年代の傾向と旧耐震基準である 1981 年以前に建てられた木造住宅の傾向を整理する。

全建築年代の診断物件の診断ランク別集計結果を Table 2-3 に示す。評点 1.0 以上の診断ランクが「倒壊しない」「一応倒壊しない」は 49.7%と、5 割程度である。

つぎに 1981 年以前の診断物件の診断ランク別集計結果を Table 2-4 に示す。1981 年以前では耐震評点 1.5 以上の診断ランクの「倒壊しない」が 0.7%，耐震評点 1.0～1.5 未満の「一応倒壊しない」が 6.3%，合わせて耐震評点 1.0 以上の安全と考えられる住宅の割合が 7.0%である*。

Table 2-3 診断結果のランク別割合(全年代)

診断ランク	件数	割合	平均 築年数
1.5 以上 倒壊しない	65	15.2%	12.1 年
1.0～1.5 未満 一応倒壊しない	148	34.5%	18.7 年
0.7～1.0 未満 倒壊する可能性が高い	101	23.5%	24.1 年
0.7 未満 倒壊する可能性がある	115	26.8%	28.4 年
合計	429	100.0%	21.6 年

Table 2-4 診断結果のランク別割合(1981 年以前)

診断ランク	件数	割合	平均 築年数
1.5 以上 倒壊しない	3	0.7%	31.3 年
1.0～1.5 未満 一応倒壊しない	27	6.3%	33.4 年
0.7～1.0 未満 倒壊する可能性がある	41	9.6%	32.1 年
0.7 未満 倒壊する可能性が高い	72	16.8%	32.6 年
合計	143	33.3%	32.6 年

※ これらは、診断件数の年代別の相対頻度と、道の実態の年代別の相対頻度との差を考慮しておらず、収集した診断結果のみから整理した傾向である。年代別の相対頻度を考慮するため、細分化した建築年代別でみた耐震評点の傾向を、第 3 章 3.5.1 にて詳細に分析している。

(3) 耐震診断に関わる建築年代別の係数

耐震性能である耐震評点を診断するための各種係数について、建築年代別に傾向を分析する。

① 耐震評点の年代別傾向

分析した 429 件をもとに、各建築年代別の耐震評点の平均値を Fig. 2-15 に示す。建築年代が進むに従い、耐震評点の平均値が大きくなる傾向にある。また、1991 年代以降の平均値が 1.0 以上となっている。

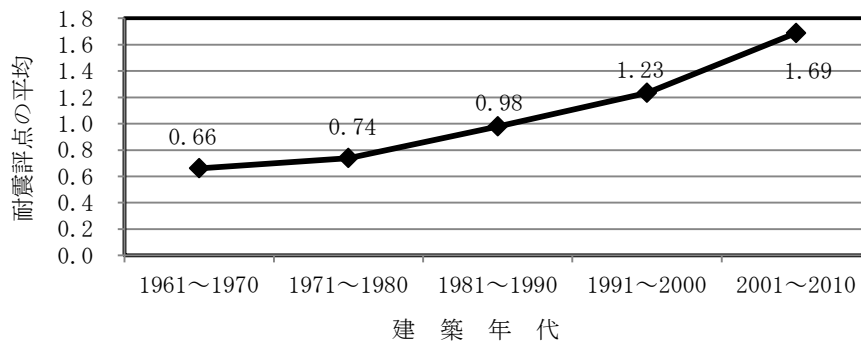


Fig. 2-15 耐震評点の年代別平均値

② 耐力要素の配置による低減係数

分析した 429 件をもとに、各階・各方向に算出された耐力要素の配置等による低減係数のうち、最小のものを各建築年代別に平均した値を Fig. 2-16 に示す。

比較的、新しい年代ほど大きくなる傾向となっているが、0.9～1.0 の間であり、各建築年代の平均値間のバラツキは小さい。

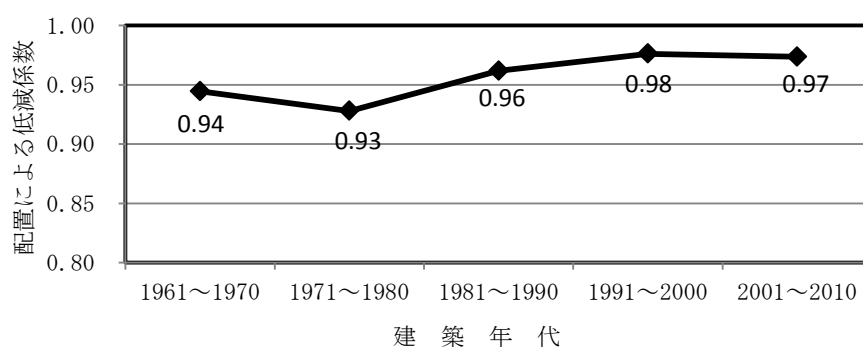


Fig. 2-16 耐力要素の配置等による低減係数の年代別平均値

③ 劣化度による低減係数

分析した 429 件をもとに、劣化度による低減係数の各建築年代別に平均した値を Fig. 2-17 に示す。新しい年代ほど大きい値（劣化の低減が小さく）になっていく傾向が確認できる。

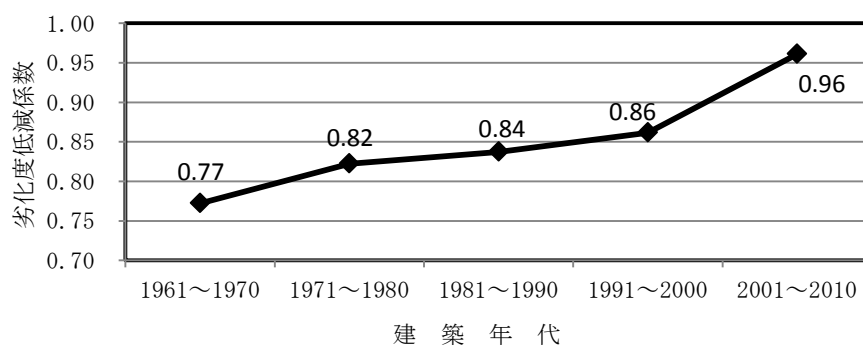


Fig. 2-17 劣化度による低減係数の年代別平均値

2.3.2 北海道における木造住宅の仕様の変遷

北海道における木造住宅は、最近の 40 年の間に急速な変化を遂げている。その主な理由は、断熱気密性の向上や施工性の向上を図るためと考えられるが、結果的に住宅の耐震性の向上に影響を及ぼしているものが少なくない。

Fig. 2-18 に、北海道における在来工法木造住宅の構造仕様の変遷を示す²⁻⁶⁾。軸組、非構造部材、水平構面のいずれにおいても、仕様の経年変化が耐震性の向上に寄与している可能性がある。例えば、軸組仕様には、柱梁接合部における補強金物使用・筋かい端部における金物プレートの使用・筋かいに替わる面材の使用が急増している。非構造部材の仕様においては、内装材の下地には 12mm 厚の石膏ボードに密に釘打ちがなされるようになり耐力壁に近い耐力を有している。また、水平構面仕様では、床組・小屋組共にコンパネや構造用合板の面材が使用され普及率も 50%を超えている。

これらの結果として、構造仕様の変遷に歩調を合わせた住宅は耐震性が強化されてきたと言える²⁻⁷⁾。

Building year 年代		Showa 昭和			Heisei 平成	
		1955-64 30 年代	1965-74 40 年代	1975-84 50 年代	1985-88 60 年代	
Snow load 積雪荷重	Roof form 屋根形状	Gable roof 切妻・三角		Snow drop prevention roof (M-type roof) 無落雪		Combination roof 複合
		Deformation roof 変形		Flat roof フラット		
Horizontal resistant force 水平耐力	Wall area index 壁率規定	1950 The Building Standards Act S25 年 基準法制定	1959 Amendment of Law S34 年 法改正強化	1981 Amendment of Law (Add rules of panel bearing wall) S56 年法改正強化 (面材規定追加)		
	Joint 接合部	Nail and cramp 釘とかすがい	1978 The housing loan corp. recommended use of Zmark metal connector S53 年公庫仕様にZマーク 金物の規格制定と使用の推奨	1982 The housing loan corp. showed how to use metal connector S57 年公庫仕様に金物 による緊結方法を明示	Metal connector (Zmark) 補強金物 (含Zマーク)	
	Bearing wall 耐力壁		Brace of 1/3 (1/2) of column 3つ割・2つ割筋交		Panel (Structural plywood, etc.) 面材 (構造用合板など)	
	Facing 外装	Wooden siding board 下見板	Cement plastering モルタル		Ceramic siding board サイディング	ALC panel
Horizontal diaphragm 水平構面	Interior finish 内装	Plastered wall 塗り壁	Painted plywood プリント合板	Gypsum board 9mm 石膏ボード 9mm	Gypsum board 12mm 石膏ボード 12mm	
	Floor backing 床下地	Boarded floor 板敷き		Composite panel コンパネ	Structural plywood 構造用合板	
	Roof backing 屋根下地	6-8mm thick wooden board 四部板		Composite panel コンパネ	Structural plywood, etc. 構造用合板など	
Durability 耐久性	Insulation foams 断熱厚(壁)	20mm	50mm	100mm	100mm + α High performance 高性能化	
	Vapor barrier Airtightness	防湿層 通気層			Penetration rate of 90% or more 普及率 90%超	
Social condition 社会情勢		Block houses ブロック住宅	The housing loan corp. Financing for wooden houses 金融公庫木造融資	Oil shock オイルショック	Northern regional houses 北方型住宅 Three-story wooden houses 木造3階建	The Great Hanshin-Awaji Earthquake 阪神淡路大震災 Bubble economy バブル景気

Fig. 2-18 北海道における在来工法木造住宅の構造仕様の変遷

2.4. 北海道の住家の地震被害

本論文では，地震動入力大きさを震度（有効数字 2 桁の計測震度）で表すこととする。Table2-5 に本論文における震度階級と計測震度との関係について示す。1995 年以前の気象庁の震度階級を利用する場合，階級の中心値を計測震度として扱う。なお，計測震度と最大地動加速度（PGA[cm/sec²]）最大地動速度（PGV[cm/sec]）との関係は，以下で与えられる²⁻⁸⁾。本論で提示の関数の震度 I を式(2-1)，式(2-2)で置き換えることで PGA 及び PGV に対する被害率を求めることができる。

$$I = 0.14 + 2.07 \log PGA \quad (2-1)$$

$$I = 2.54 + 1.82 \log PGV \quad (2-2)$$

Table2-5 震度階級と計測震度との関係

Measured seismic intensity	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
JMA(1949-1995)	IV		V		VI		VII
JMA(Since1996)	4		5 Lower	5 Upper	6 Lower	6 Upper	7
1968Tokachi-oki	4-	4+	5-	5+	－ (Non observed)		－ (Non observed)

2.4.1 過去の地震による住家被害の発生状況

(1) 地震による住家被害の発生状況

最大震度が建物に被害の影響が出始めると考えられる震度 5 弱以上の有感地震は、気象庁の震度データベース²⁻⁹⁾でみると、1950 年 1 月～2018 年 11 月までの間で 45 地震となっている (Table2-6)。このうち、震度 6 弱以上の地震は 7 回となる。

このなかで建物被害の発生した北海道の主な地震について Table2-7 および Fig. 19 に示す。震度や住家被害数は、北海道総務部防災消防課(現 危機対策課)の発行している災害記録^{2-10)～15)}や災害報告書など^{2-16)～18)}に拠った。ここでは住家被害の発生状況を、市町村の被害調査で全数を把握していない可能性のある一部破損を除いた全半壊棟数を指標としてみる。

1980 年代以降では、道内の震度 6 (6 弱)以上を含む地震のなかで最も全半壊棟数が多いのは、震度 5 以上が観測された 1993 年北海道南西沖地震で 1,009 棟である。建物被害の多くは津波による被害で檜山、渡島、後志管内の自治体で発生している。揺れによる被害が多く発生したのは日高、釧路、十勝で震度 6 弱が観測された 2003 年十勝沖地震で 553 棟である。次いで釧路、厚岸で震度 6 が観測された 1994 年北海道東方沖地震で 409 棟、釧路で震度 6 が観測された 1993 年釧路沖地震が 307 棟となった。また胆振で震度 7 が観測された 2018 年胆振東部地震では、土砂崩れや地盤変状による被害を含むが、431 棟(2018 年 11 月 9 日現在)²⁻¹⁸⁾となった。

被災地域別に見ると 1993 年釧路沖地震では、釧路管内で 285 棟、十勝管内で 22 棟であった。自治体別にみると釧路市(合併前の旧釧路市。以下、断りのない限り同様に扱う)が 233 棟と被害全体のなかで 8 割弱を占める。

次に 1994 年北海道東方沖地震では、根室管内 324 棟、釧路管内 69 棟、網走管内 16 棟と根室管内の被害が 8 割を占める。自治体別にみると根室市で 251 棟、中標津町で 51 棟である。根室市は半壊棟数が 234 棟と多い。全壊棟数でみると釧路市が最も多くなる。

2003 年十勝沖地震では、震度 6 弱を記録した日高管内で 168 棟、十勝管内 58 棟、釧路管内 257 棟となった。自治体別に見ると釧路市が 236 棟(半壊のみ)、浦河町が 105 棟、静内町(現新ひだか町)が 54 棟、豊頃町が 36 棟である。全壊棟数でみると日高管内の浦河町が最も多く、次いで静内町となる。

2018 年胆振東部地震では、震度 6 強～7 を記録した胆振管内の厚真町、安平町、むかわ町を中心に住家被害が多く発生している。また、札幌市清田区、北広島市で地盤変状などによる住家被害が発生している。

Table2-6 最大震度5弱以上の有感地震（気象庁の震度データベース²⁻⁹⁾より作成）

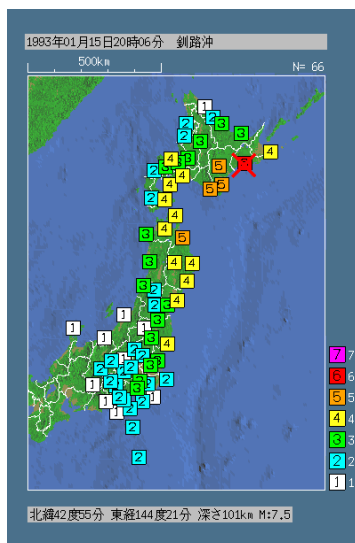
	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	1952/03/04 10:22:43.5	十勝沖	41° 42.3′ N	144° 09.0′ E	54km	M8.2	5
2	1958/11/07 07:58:12.8	択捉島南東沖	43° 46.5′ N	148° 17.3′ E	13km	M8.1	5
3	1962/04/23 14:58:13.9	十勝沖	42° 27.7′ N	143° 46.0′ E	69km	M7.1	5
4	1968/05/16 09:48:54.5	青森県東方沖	40° 41.9′ N	143° 35.7′ E	0km	M7.9	5
5	1968/05/16 19:39:01.9	青森県東方沖	41° 30.2′ N	142° 37.6′ E	8km	M7.5	5
6	1968/09/21 22:06:01.7	浦河沖	41° 59.0′ N	142° 45.6′ E	54km	M6.8	5
7	1970/01/21 02:33:04.3	十勝地方南部	42° 25.1′ N	143° 08.9′ E	55km	M6.7	5
8	1971/08/02 16:24:56.8	十勝沖	41° 18.0′ N	143° 31.7′ E	54km	M7.0	5
9	1973/06/17 12:55:02.0	根室半島南東沖	43° 03.5′ N	145° 58.2′ E	44km	M7.4	5
10	1973/06/17 22:33:27.0	釧路沖	42° 51.4′ N	145° 34.4′ E	45km	M5.7	5
11	1973/06/24 11:43:23.5	根室半島南東沖	43° 09.8′ N	146° 37.9′ E	52km	M7.1	5
12	1974/11/09 06:23:21.9	苫小牧沖	42° 32.5′ N	141° 45.4′ E	136km	M6.3	5
13	1981/01/23 13:58:30.7	浦河沖	42° 25.0′ N	142° 12.0′ E	130km	M6.9	5
14	1982/03/21 11:32:05.7	浦河沖	42° 04.0′ N	142° 36.0′ E	40km	M7.1	6
15	1987/01/14 20:03:49.6	十勝地方南部	42° 32.2′ N	142° 55.7′ E	119km	M6.6	5
16	1993/01/15 20:06:07.2	釧路沖	42° 55.2′ N	144° 21.2′ E	101km	M7.5	6
17	1993/07/12 22:17:11.7	北海道南西沖	42° 46.9′ N	139° 10.8′ E	35km	M7.8	5
18	1993/08/08 04:42:43.6	北海道南西沖	41° 57.5′ N	139° 52.9′ E	24km	M6.3	5
19	1994/08/31 18:07:29.0	根室半島南東沖	43° 29.6′ N	146° 03.8′ E	84km	M6.3	5
20	1994/10/04 22:22:56.9	北海道東方沖	43° 22.5′ N	147° 40.4′ E	28km	M8.2	6
21	1995/05/23 19:01:28.9	空知地方中部	43° 38.5′ N	141° 42.9′ E	16km	M5.9	5
22	1997/02/20 16:55:00.3	浦河沖	41° 45.5′ N	142° 52.4′ E	49km	M5.9	5弱
23	2000/03/30 17:13:28.2	胆振地方西部	42° 31.6′ N	140° 48.8′ E	5km	M4.5	5弱
24	2000/03/30 18:16:59.9	胆振地方西部	42° 32.1′ N	140° 49.7′ E	4km	M4.2	5弱
25	2000/04/01 03:12:23.0	胆振地方西部	42° 30.2′ N	140° 49.6′ E	7km	M4.9	5弱
26	2003/09/26 04:50:07.4	十勝沖	41° 46.7′ N	144° 04.7′ E	45km	M8.0	6弱
27	2003/09/26 06:08:01.8	十勝沖	41° 42.5′ N	143° 41.4′ E	21km	M7.1	6弱
28	2004/11/29 03:32:14.5	釧路沖	42° 56.7′ N	145° 16.5′ E	48km	M7.1	5強
29	2004/12/06 23:15:11.8	釧路沖	42° 50.8′ N	145° 20.5′ E	46km	M6.9	5強
30	2004/12/14 14:56:10.5	留萌地方南部	44° 04.6′ N	141° 41.9′ E	9km	M6.1	5強
31	2005/01/18 23:09:06.6	釧路沖	42° 52.5′ N	145° 00.4′ E	50km	M6.4	5強
32	2008/09/11 09:20:51.3	十勝沖	41° 46.5′ N	144° 09.0′ E	31km	M7.1	5弱
33	2011/09/07 22:29:43.0	日高地方中部	42° 15.6′ N	142° 35.3′ E	10km	M5.1	5強
34	2011/11/24 19:25:33.7	浦河沖	41° 45.0′ N	142° 53.2′ E	43km	M6.2	5弱
35	2012/08/25 23:16:17.4	十勝地方南部	42° 19.6′ N	143° 06.6′ E	49km	M6.1	5弱
36	2013/02/02 23:17:35.8	十勝地方南部	42° 42.1′ N	143° 13.6′ E	102km	M6.5	5強
37	2014/07/08 18:05:24.2	胆振地方中東部	42° 38.9′ N	141° 16.0′ E	3km	M5.6	5弱
38	2015/06/04 04:34:15.2	網走地方	43° 29.5′ N	144° 03.6′ E	0km	M5.0	5弱
39	2016/01/14 12:25:33.3	浦河沖	41° 58.2′ N	142° 48.0′ E	52km	M6.7	5弱
40	2016/06/16 14:21:28.2	内浦湾	41° 56.9′ N	140° 59.2′ E	11km	M5.3	6弱
41	2017/07/01 23:45:52.9	胆振地方中東部	42° 47.2′ N	141° 51.5′ E	27km	M5.1	5弱
42	2018/04/14 04:00:01.8	根室半島南東沖	43° 10.5′ N	145° 44.2′ E	53km	M5.4	5弱
43	2018/09/06 03:07:59.3	胆振地方中東部	42° 41.4′ N	142° 00.4′ E	37km	M6.7	7
44	2018/09/06 06:11:29.7	胆振地方中東部	42° 40.2′ N	142° 00.9′ E	38km	M5.4	5弱
45	2018/10/05 08:58:49.1	胆振地方中東部	42° 35.5′ N	141° 57.9′ E	31km	M5.2	5弱

Table 2-7 1950 年以降に揺れによる住家被害の発生した北海道の主な地震

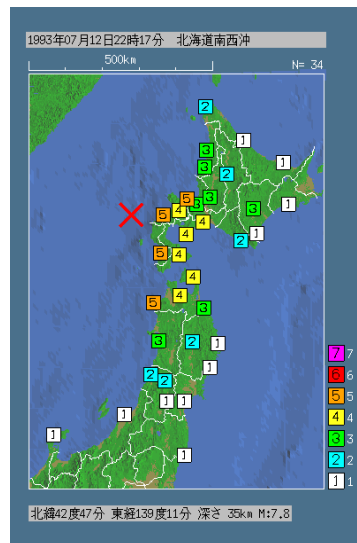
地震と諸元 ^{※1}	発生時刻	位置	規模／ 深さ	震度 ^{※2}	住家被害 ^{※2}				
					全半壊			一部 破損	
					全壊	半壊			
1952 年十勝沖地震	1952 年 3 月 4 日 10:22	41° 42.3′ N 144° 09.0′ E	M:8.2 54km	VI 豊頃, 大津, 浦幌, 池田, 音別, 厚真, 幕別 V 浦河, 更別, 荻伏, 三石, 様似, 大樹, 標茶, 忠類, 鶴川, 芽室, 静内, 音更, 釧路, 本別, 幌泉, 川西, 白糠	1,614	5,449	7,063	—	—
1968 年十勝沖地震	1968 年 5 月 16 日 9:48	40° 41.9′ N 143° 35.7′ E	M:7.9 0km	V 浦河, 苫小牧, 広尾, 函館, 鹿部, 御園	110	405	515	—	—
1982 年浦河沖地震	1982 年 3 月 21 日 11:32	42° 04.0′ N 142° 36.0′ E	M:7.1 40km	VI 浦河	13	28	41	675	716
1993 年釧路沖地震	1993 年 1 月 15 日 20:06	42° 55.2′ N 144° 21.2′ E	M:7.5 101km	VI 釧路 V 帯広, 浦河, 広尾	53	254	307	5,311	5,618
1993 年北海道南西沖地震	1993 年 7 月 12 日 22:17	42° 46.9′ N 139° 10.8′ E	M:7.8 35km	V 小樽, 寿都, 江差	601	408	1,009	5,488	6,497
1994 年北海道東方沖地震	1994 年 10 月 4 日 22:22	43° 22.5′ N 147° 40.4′ E	M:8.2 28km	VI 釧路, 厚岸 V 広尾, 浦河, 根室, 足寄, 中標津, 羅臼	61	348	409	7,095	7,504
空知支庁中部の地震	1995 年 5 月 23 日 19:01	43° 38.5′ N 141° 42.9′ E	M:5.9 16km	V 北竜町	0	0	0	59	59
2003 年十勝沖地震	2003 年 9 月 26 日 04:50	41° 46.7′ N 144° 4.7′ E	M:8.0 45km	6 弱 新冠町, 静内町, 浦河町, 鹿追町, 忠類村, 幕別町, 豊頃町, 釧路町, 厚岸町 5 強 帯広市, 釧路市, 厚真町, 広尾町, 本別町, 足寄町, 弟子屈町, 音別町, 別海町, 更別村 他	134	419	553	1,580	2,133
留萌支庁南部の地震	2004 年 12 月 14 日 14:56	44° 4.6′ N 141° 41.9′ E	M:6.1 6.9km	5 強 苫前町 5 弱 羽幌町	0	0	0	165	165
2018 年胆振東部地震	2018 年 9 月 6 日 03:07	42° 41.4′ N 142° 00.4′ E	M:6.7 37km	7 厚真町鹿沼 6 強 厚真町京町, 安平町 早来北進, 安平町追分柏が丘, むかわ町松風, むかわ町穂別 6 弱 札幌東区元町, 新千歳空港, 日高地方日高町門別, 平取町振内 5 強 札幌北区太平, 札幌北区篠路 他	431	1,385	1,816	8,706	10,522

備考)※1 気象庁ホームページ震度データベース検索による諸元

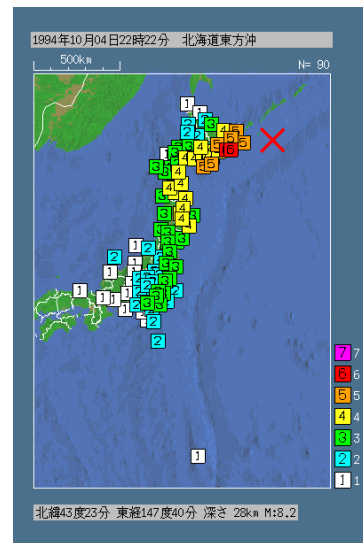
※2 1952 年十勝沖の震度と被害は, 十勝沖地震調査報告(十勝沖地震調査委員会, 1954)²⁻¹⁶⁾に拠る
1968 年十勝沖の震度と被害は, 1968 年十勝沖地震調査報告(1968 年十勝沖地震調査委員会, 1969)²⁻¹⁷⁾に拠る
2018 年胆振東部地震は, 道危機対策課による被害状況速報(11 月 9 日現在)²⁻¹⁸⁾に拠る
上記以外の地震の震度と被害は, 道防災消防課作成による各地震の災害記録^{2-10)~15)}に拠る



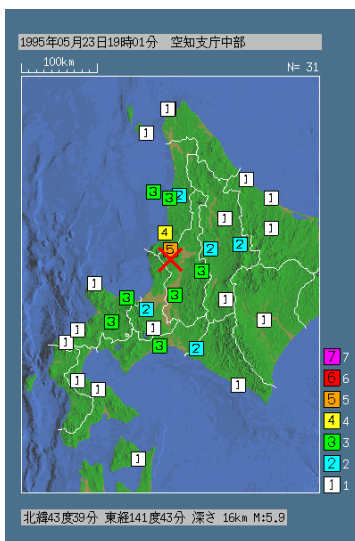
a) 1993 年鉧路沖地震



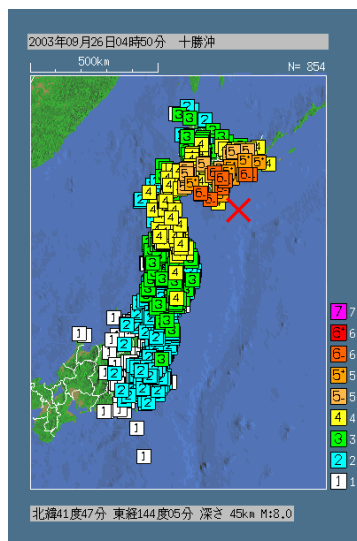
b) 1993 年北海道南西沖地震



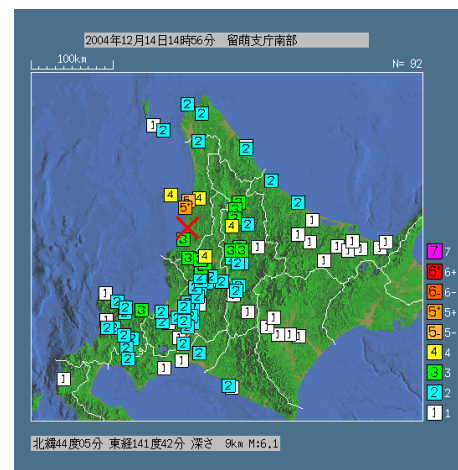
c) 1994 年北海道東方沖地震



d) 空知支庁中部の地震
(1995 年 5 月 23 日)



e) 2003 年十勝沖地震



f) 留萌支庁南部の地震
(2004 年 12 月 14 日)

Fig. 2-19 各地震の震度分布図 (気象庁ホームページ²⁻⁹⁾より引用)

(2) 1993 年釧路沖地震の住家被害の発生状況

1993 年釧路沖地震における住家の全壊は、全て釧路管内で発生している。釧路市、釧路町、白糠町、音別町で発生し、合わせて 53 棟が被災している。釧路管内の半壊は、上記自治体に標茶町を加えた、232 棟である。住宅の被害状況は、釧路市では地盤変動による建物被害が、音別町や白糠町では 1 階部分の傾斜や圧壊といった被害が発生している

平成 5 年住宅統計調査及び国勢調査の結果から推計した戸建て木造住宅戸数をもとに算出した住宅の被害発生率を Table 2-8 に示す。

釧路管内における全半壊率は、北海道大学のアンケート調査による震度²⁻¹⁹⁾(以下、「アンケート震度」という。)が 5.3 である釧路町で 0.90%、5.7 の音別町で 0.65%、アンケート震度 4.4-5.7(気象庁の観測震度 6)の釧路市で 0.63%となった。1993 年釧路沖地震のアンケート震度を Fig. 2-20 に、1993 年釧路沖地震の住家被害の発生状況を Fig. 2-21 に示す。

全壊率は、アンケート震度 5.7 の音別町が最も高く 0.39%、次いで 5.3 の釧路町が 0.14%となった。釧路市は、全壊棟数は最も多いが、被害率は 0.11%と低くなった。

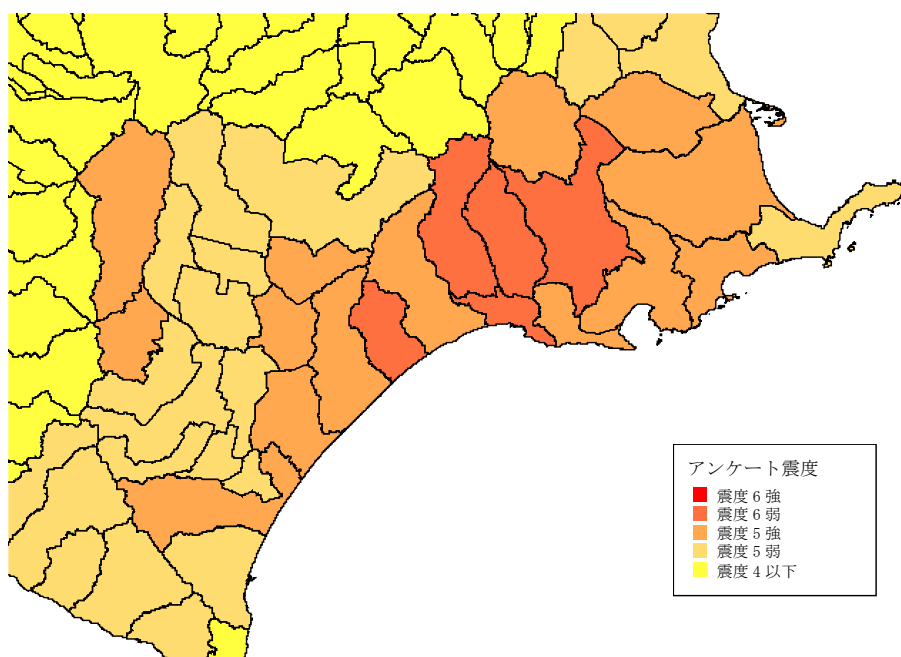
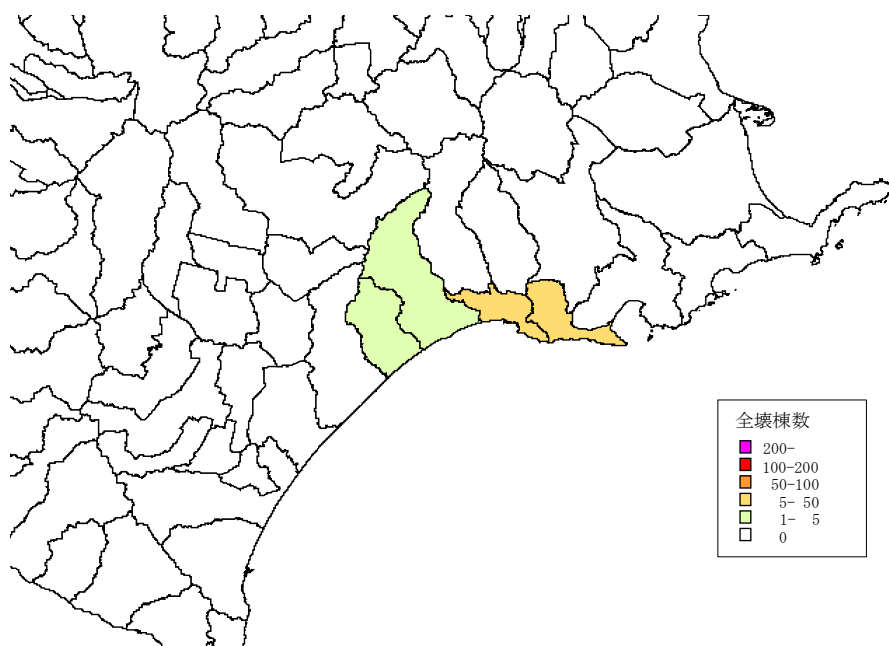
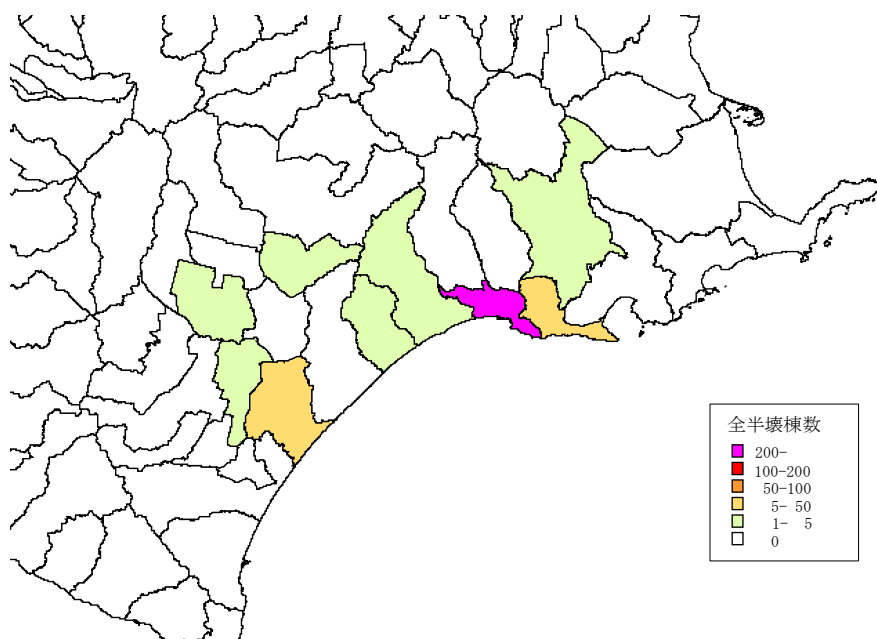


Fig. 2-20 1993 年釧路沖地震のアンケート震度



a) 全壊棟数



b) 全半壊棟数

Fig. 2-21 1993年鉏路沖地震の住家被害の発生状況

Table 2-8 1993 年釧路沖地震の住家被害の発生状況

支庁名	市町村名 ※	震 度		住家被害 a+b+c					戸建て 木造住 宅戸数 N (推計)	住家の被害発生率				
		気 象 庁 の 発 表 震 度	ア ン ケ ー ト 震 度 (北 大)	全半壊 a+b			一部 破損 c	全壊率 a /N		半壊率 b/N	全半壊 率 (a+b) /N	一部破 損率 c/N	被害率 (a+b+c) /N	
				全 壊 a	半 壊 b									
釧路	釧路市	6	4.4- 5.7	42	191	233	2,427	2,660	36,830	0.11%	0.52%	0.63%	6.59%	7.22%
	釧路町	—	5.3	6	34	40	77	117	4,434	0.14%	0.77%	0.90%	1.74%	2.64%
	厚岸町	—	5.2	0	0	0	574	574	2,881	0.00%	0.00%	0.00%	19.92%	19.92%
	浜中町	—	5.1	0	0	0	124	124	1,610	0.00%	0.00%	0.00%	7.70%	7.70%
	標茶町	—	5.6	0	2	2	436	438	2,252	0.00%	0.09%	0.09%	19.36%	19.45%
	弟子屈町	—	5.0	0	0	0	0	0	2,570	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	阿寒町	—	5.5	0	0	0	371	371	1,891	0.00%	0.00%	0.00%	19.62%	19.62%
	鶴居村	—	5.5	0	0	0	182	182	604	0.00%	0.00%	0.00%	30.15%	30.15%
	白糠町	—	5.2	2	3	5	111	116	2,951	0.07%	0.10%	0.17%	3.76%	3.93%
音別町	—	5.7	3	2	5	34	39	773	0.39%	0.26%	0.65%	4.40%	5.04%	
十勝	帯広市	5	4.9	0	0	0	31	31	36,240	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%	0.09%
	音更町	—	4.9	0	2	2	4	6	14,110	0.00%	0.01%	0.01%	0.03%	0.04%
	新得町	—	5.0	0	0	0	10	10	2,121	0.00%	0.00%	0.00%	0.47%	0.47%
	中札内村	—	4.5	0	0	0	2	2	981	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	0.20%
	更別村	—	4.5	0	0	0	2	2	678	0.00%	0.00%	0.00%	0.30%	0.30%
	忠類村	—	4.8	0	0	0	9	9	421	0.00%	0.00%	0.00%	2.14%	2.14%
	大樹町	—	5.0	0	0	0	4	4	1,622	0.00%	0.00%	0.00%	0.25%	0.25%
	広尾町	—	4.7	0	0	0	1	1	2,210	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.05%
	幕別町	—	4.9	0	1	1	7	8	4,722	0.00%	0.02%	0.02%	0.15%	0.17%
	池田町	—	5.3	0	0	0	19	19	2,183	0.00%	0.00%	0.00%	0.87%	0.87%
	豊頃町	—	5.1	0	18	18	16	34	1,017	0.00%	1.77%	1.77%	1.57%	3.34%
	本別町	—	5.2	0	1	1	330	331	2,484	0.00%	0.04%	0.04%	13.28%	13.33%
根室	根室市	4	4.6	0	0	0	248	248	7,930	0.00%	0.00%	0.00%	3.13%	3.13%
	別海町	—	5.2	0	0	0	130	130	3,539	0.00%	0.00%	0.00%	3.67%	3.67%
	中標津町	—	5.1	0	0	0	70	70	5,266	0.00%	0.00%	0.00%	1.33%	1.33%
	標津町	—	4.9	0	0	0	1	1	1,668	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	0.06%
日高	門別町	—	4.4	0	0	0	10	10	3,490	0.00%	0.00%	0.00%	0.29%	0.29%
	静内町	—	4.5	0	0	0	9	9	5,880	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%	0.15%
	浦河町	—	4.6	0	0	0	5	5	4,480	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%	0.11%
	様似町	—	4.6	0	0	0	3	3	1,579	0.00%	0.00%	0.00%	0.19%	0.19%
胆振	室蘭市	—	3.9	0	0	0	1	1	20,870	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	苫小牧市	4	4.2	0	0	0	2	2	29,140	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
	登別市	—	3.9	0	0	0	3	3	12,820	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%
	厚真町	—	4.1	0	0	0	1	1	1,286	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%	0.08%
渡島	恵山町	—	4.2	0	0	0	1	1	1,101	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%	0.09%
	南茅部町	—	3.7	0	0	0	2	2	1,614	0.00%	0.00%	0.00%	0.12%	0.12%
上川	占冠村	—	4.2	0	0	0	7	7	905	0.00%	0.00%	0.00%	0.77%	0.77%
全道		—	—	53	254	307	5,311	5,618	—	—	—	—	—	—

(3) 2003 年十勝沖地震の住家被害の発生状況

2003 年 9 月 26 日 4 時 50 分に十勝沖を震源とするマグニチュード 8.0 の地震が発生した。震央位置は北緯 41 度 47 分，東経 144 度 05 分，深さ 42km であった。太平洋沿岸の日高，十勝を中心に 9 市町村で震度 6 弱を記録し，釧路市や帯広市など 11 市町村で震度 5 強を記録した (Fig. 2-22)。

2003 年十勝沖地震における住家被害は，全道で 116 棟，半壊 368 棟，一部損壊 1,580 棟であり，石狩，上川，胆振，十勝，釧路，根室と広い範囲に被害が及んでいる。全壊では，震度 5 強以上を記録した日高管内の浦河町(61 棟)，静内町・三石町（現新ひだか町 39 棟），十勝管内の豊頃町(9 棟)，広尾町(3 棟)，池田町(1 棟)で発生している (Fig. 2-23)。全半壊では日高管内(168 棟)，十勝管内(58 棟)，釧路管内(257 棟)が大部分を占める。

釧路沖地震と同様に，平成 15 年住宅・土地統計調査及び国勢調査の結果から推計した戸建て木造住宅棟数をもとに，算出した住宅の被害発生率を Table 2-9 に示す。

全壊率は，計測震度 5.6 である浦河町で最も高くなり 1.47% となった。次いで 5.5 の豊頃町が 0.77%，5.5 の静内町 0.61% となった。いずれも 6 弱の町である。震度 5 強(5.0～5.5)の町の全壊率をみると広尾町が計測震度 5.2 で 0.11%，音別町が震度 5.1 で 0.35% となっている。

全半壊率は，計測震度 5.5 の豊頃町が最も高く，3.06% となった。次いで 5.6 の浦河町が 2.53%，5.5 の静内町で 0.86% となった。震度 5 強(5.0～5.5)の町の全半壊率をみると，釧路市が 5.4 で 0.52%，5.2 の広尾町で 0.15%，5.1 の音別町で 0.47% となっている。

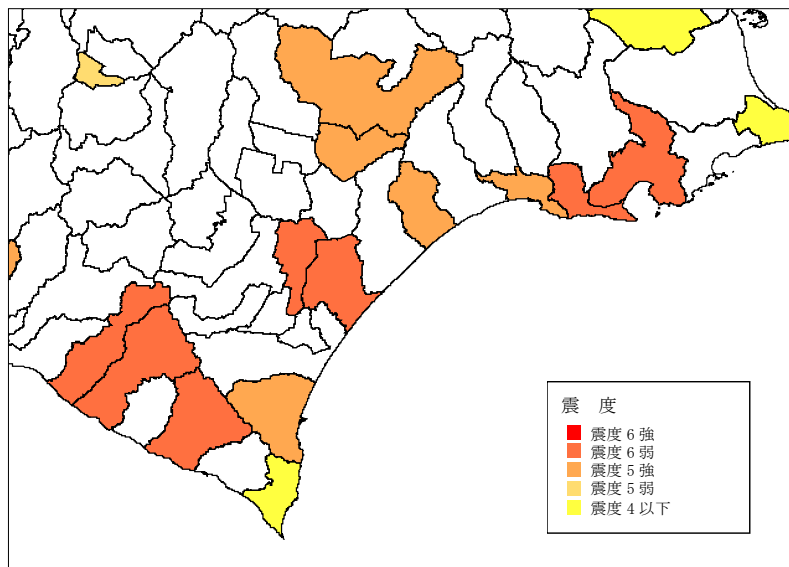
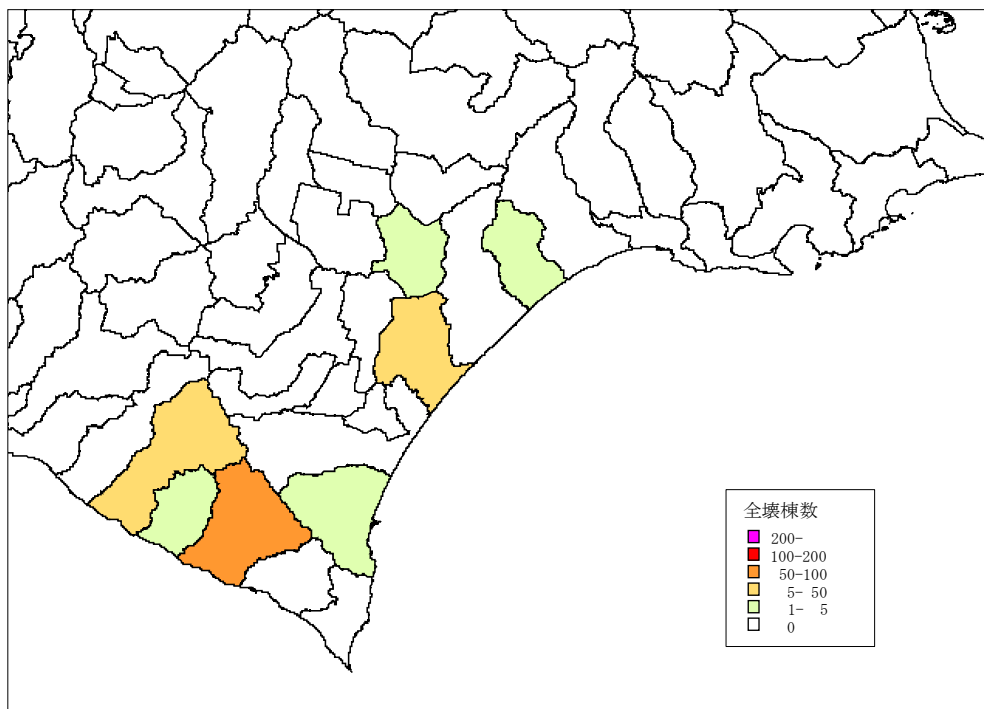
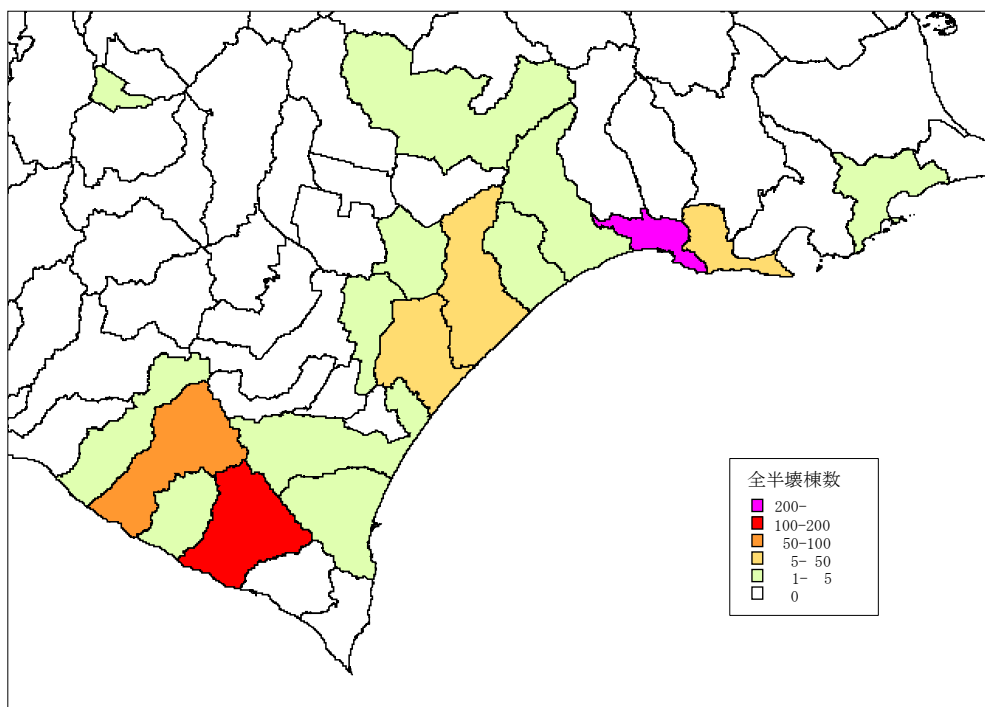


Fig. 2-22 2003 年十勝沖地震の震度分布



(a) 全壊棟数



(b) 全半壊棟数

Fig. 2-23 2003 年十勝沖地震の住家被害の発生状況

Table 2-9 2003 年十勝沖地震の住家被害の発生状況

支庁名	市町村名	震 度		住家被害 a+b+c					年戸建て木造住宅棟数 N (推計)	住家の被害発生率				
		気象庁の発表震度	計測震度	全半壊 a+b			一部破損 c			全壊率 a /N	半壊率 b/N	全半壊率 (a+b) /N	一部破損率 c/N	被害率 (a+b+c) /N
				全壊 a	半壊 b									
石狩	札幌市	4	3.8J	0	0	0	58	58	276,150	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%
	恵庭市	4	3.9J	0	0	0	3	3	15,860	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%
上川	中富良野町	5 弱	4.5J	0	1	1	0	1	1,636	0.00%	0.06%	0.06%	0.00%	0.06%
胆振	室蘭市	3		0	0	0	7	7	26,070	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.03%
	登別市	—		0	0	0	1	1	15,750	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
	白老町	4	4.3J	0	0	0	3	3	8,000	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.04%
	追分町	—		0	0	0	4	4	1,393	0.00%	0.00%	0.00%	0.29%	0.29%
	厚真町	5 強	5.2J	0	0	0	13	13	1,629	0.00%	0.00%	0.00%	0.80%	0.80%
	鵡川町	—	(5.4)	0	0	0	4	4	2,221	0.00%	0.00%	0.00%	0.18%	0.18%
	穂別町	—		0	0	0	3	3	1,320	0.00%	0.00%	0.00%	0.23%	0.23%
	門別町	—	(5.1)	0	0	0	14	14	4,450	0.00%	0.00%	0.00%	0.31%	0.31%
日高	新冠町	6 弱	5.7J	0	4	4	23	27	1,983	0.00%	0.20%	0.20%	1.16%	1.36%
	静内町	6 弱	5.5J (5.3)	38	16	54	290	344	6,270	0.61%	0.26%	0.86%	4.63%	5.49%
	三石町	—		1	4	5	19	24	1,563	0.06%	0.26%	0.32%	1.22%	1.54%
	浦河町	6 弱	5.6J	61	44	105	341	446	4,150	1.47%	1.06%	2.53%	8.22%	10.75%
	様似町	—	(5.3)	0	0	0	15	15	1,931	0.00%	0.00%	0.00%	0.78%	0.78%
	えりも町	4	4.3J	0	0	0	2	2	1,737	0.00%	0.00%	0.00%	0.12%	0.12%
	中札内村	—	(5.1)	0	0	0	1	1	1,185	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%	0.08%
	大樹町	—	(5.9)	0	1	1	8	9	2,093	0.00%	0.05%	0.05%	0.38%	0.43%
	広尾町	5 強	5.2J (6.0)	3	1	4	50	54	2,687	0.11%	0.04%	0.15%	1.86%	2.01%
	幕別町	6 弱	5.8J	0	1	1	0	1	6,870	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%
	池田町	—	(5.9)	1	2	3	2	5	2,742	0.04%	0.07%	0.11%	0.07%	0.18%
	豊頃町	6 弱	5.5J	9	27	36	105	141	1,176	0.77%	2.30%	3.06%	8.93%	11.99%
十勝	本別町	5 強	5.2J (5.4)	0	0	0	16	16	3,114	0.00%	0.00%	0.00%	0.51%	0.51%
	足寄町	5 強	5.1J (5.1)	0	1	1	3	4	2,886	0.00%	0.03%	0.03%	0.10%	0.14%
	浦幌町	—	(5.8)	0	12	12	34	46	1,993	0.00%	0.60%	0.60%	1.71%	2.31%
	釧路市	5 強	5.4J (5.6)	0	236	236	158	394	45,440	0.00%	0.52%	0.52%	0.35%	0.87%
	釧路町	6 弱	5.8J	0	12	12	154	166	5,720	0.00%	0.21%	0.21%	2.69%	2.90%
	厚岸町	6 弱	5.5J (5.3)	0	0	0	88	88	3,534	0.00%	0.00%	0.00%	2.49%	2.49%
	浜中町	—	(5.4)	0	1	1	112	113	1,911	0.00%	0.05%	0.05%	5.86%	5.91%
	白糠町	—	(5.8 5.4)	0	4	4	12	16	3,435	0.00%	0.12%	0.12%	0.35%	0.47%
釧路	音別町	5 強	5.1J (6.3)	3	1	4	8	12	858	0.35%	0.12%	0.47%	0.93%	1.40%
	根室市	4	4.4J (5.4 5.1)	0	0	0	19	19	9,070	0.00%	0.00%	0.00%	0.21%	0.21%
	中標津町	4	4.4J (5.3)	0	0	0	2	2	6,210	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.03%
	標津町	—	(5.9)	0	0	0	8	8	1,850	0.00%	0.00%	0.00%	0.43%	0.43%
	全道	—	—	116	368	484	1,580	2,064	474,889	—	—	—	—	—

【備考】 ※J: JMA 気象庁の計測震度, () 内 K-NET の計測震度, 空欄は 5.0 未満

2.4.2 地震被害の比較

Fig. 2-24 に、北海道の過去の地震における震度と被害率の関係の経年変化を示す。図中のプロットは、市町村単位の被害率を表す。Fig. 2-24(a)～(c)については、鏡味(1983)²⁻²⁰⁾が調査結果を整理したものである。(d)1993 年釧路沖地震、(e)2003 年十勝沖地震については、前節で整理した市町村単位の震度と被害率の関係(Table 2-8, Table 2-9)をもとに本論で作成したものである。

(a)1952 年十勝沖地震は十勝・胆振で最大震度Ⅵ、(b)1968 年十勝沖地震は渡島・胆振・日高・十勝で震度Ⅴ、(c)1982 年浦河沖地震は日高で震度Ⅵ、(d)1993 年釧路沖地震は釧路で震度Ⅵ、(e)2003 年十勝沖地震は十勝・釧路・日高で震度 6 弱を観測した地震である。

被害は、いずれも太平洋沿岸周辺市町村で発生した。建築年代別の被害率は不明であるため明確ではないが、時代の経過と共に木造住宅の仕様が変化し、耐震性が向上したことが、Fig. 2-24 における被害率変化の要因の一つとして推測される。この傾向は、全国的なものであり、一般的には戦後の住宅金融公庫基準の整備が進み、時代を経て木造住宅の施工に徐々に浸透したこと、建築基準法の改正に伴い壁量規定が見直され必要壁量が引き上げられたことにより、木造住宅の耐震性は向上している。

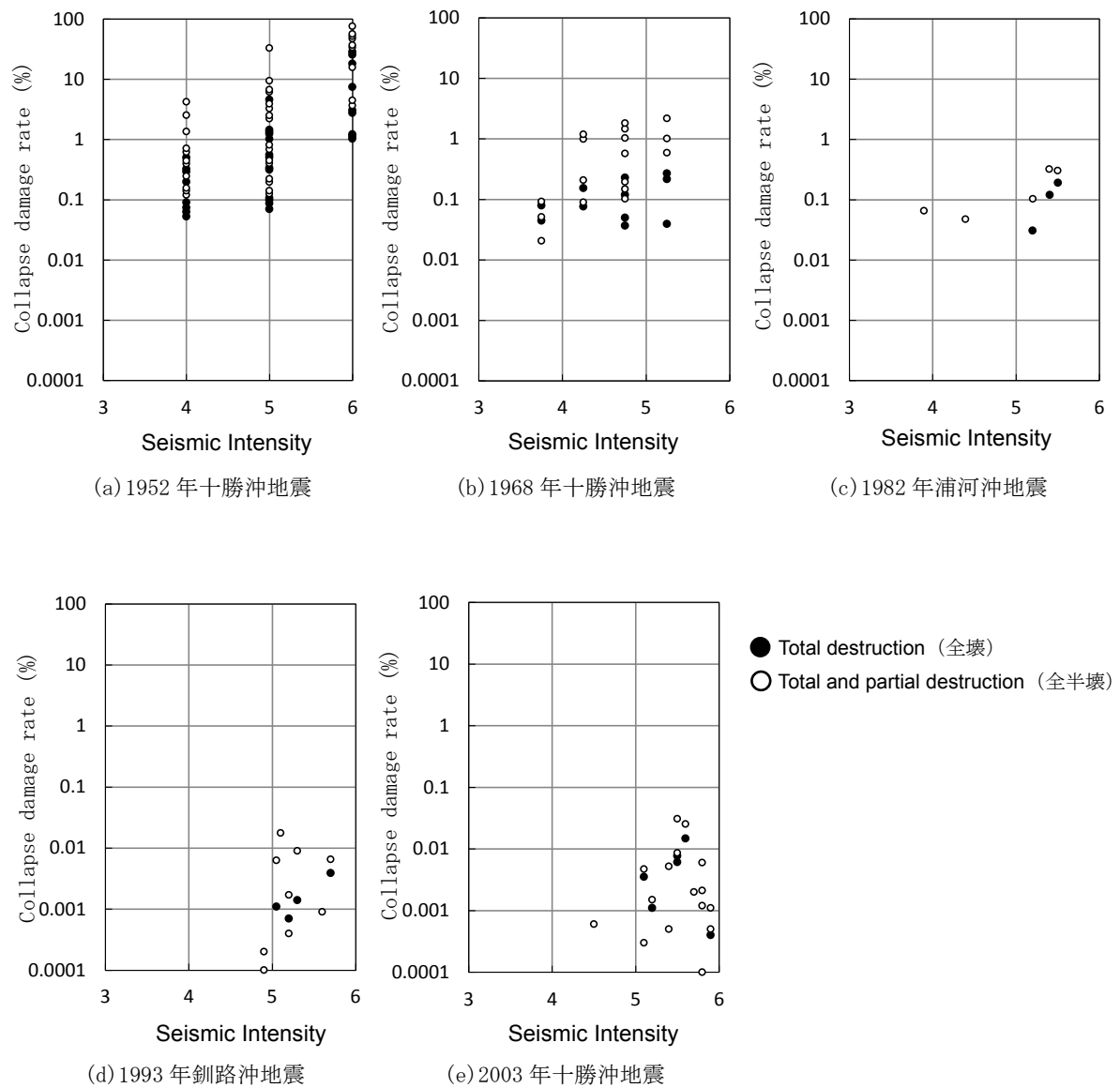


Fig. 2-24 北海道の過去の地震における震度と被害率の関係の経年変化¹⁵⁾

2.5. 第2章のまとめ

第2章では、過去の地震における北海道の木造住宅被害の傾向および木造住宅の耐震性能に関わる仕様を分析した。北海道の木造住家の棟数分布や市町村別の建築年代別割合の傾向を把握するとともに、耐震評点や低減係数などの耐震性能を表す指標の建築年代別の傾向や耐震性能に関わる建物仕様について年代別特徴を明らかにした。

その結果、北海道は時代の経過と共に木造住宅の仕様が変化し耐震性が向上したことが推測され、その主な理由は断熱気密性の向上や施工性の向上を図るためではあるが、結果的に住宅の耐震性の向上に影響を及ぼしているものが少なくない結論づけられた。北海道における木造住宅の構造仕様の変遷から、耐力壁や非耐力壁、水平構面のいずれにおいても、仕様の経年変化が耐震性の向上に寄与している可能性があることを指摘し、北海道の住様式の地域性と時代性が当該地域の地震被害率に大きく関わることを確認した。

第3章 地域性と時代性を考慮した被害率関数

3.1. はじめに

第2章において、過去地震における北海道の木造住宅被害の傾向や、北海道の木造住宅の耐震性能に関わる仕様の分析から、時代の経過と共に木造住宅の仕様が変化し耐震性が向上したことが推測され、北海道の住様式の地域性と時代性が当該地域の地震被害率に大きく関わることを確認した。このため、地域の被害軽減を図る効果的・効率的な対策を検討するために、被害量を推定する方法として、被害発生に大きく影響を及ぼす建物の耐震性能の地域性および時代性を考慮した被害率関数は非常に重要である。

第3章では、個別建物の損傷度関数（個別建物保有の耐震性能、作用する地震動強さ、その結果としての損傷度の3変数の関係を関数化したもの）を基に、地域の建築年代別の耐震性能の分布を考慮することで、地域性と時代性を考慮した木造建物群の被害率関数を構築する方法を提案する。

木造建物群の被害率関数の構築方法の検討として、北海道が実施した木造住宅の耐震診断結果^{注3-1)}を用いる。既往の損傷度関数^{3-1), 3-2)}は(財)建築防災協会による1995年版の耐震精密診断（以下、「旧精密診断」という。）³⁻³⁾に対応したものであり、2004年度改訂版の診断方法（以下、「2004年版診断」という。）³⁻⁴⁾を用いた道の診断結果に適用できない。このため2004年版診断の結果に適合するように、全国調査が行われている日本木造住宅耐震補強事業者協同組合（以下、「木耐協」という。）の実施した診断結果^{注3-2)}を用いて損傷度関数の見直しを行う。

次に道の診断結果をもとに、北海道の木造建物群の建築年代別の耐震性能を対数正規分布としてモデル化を試みる。道の診断結果は、古い建築年代の診断件数が十分ではない。データ数が不十分なケースは全国で想定されるためため件数が少ない場合、汎用的方法として全国平均である木耐協の診断結果を事前分布に仮定したベイズ更新から耐震性能分布

を推定する方法を提案する。

見直した個別建物の損傷度関数と、推定した木造建物群の建築年代別の耐震性能分布から、北海道の木造建物群の被害率関数を推定する。自治体でよく利用される中央防災会議の被害率関数³⁻⁵⁾と比較し、構築関数の評価精度を確認する。

3.2. 損傷度関数の地域被害評価への適用方法

3.2.1 木造建物の損傷度関数

木造建物の耐震性能を用いて被害を評価する方法として、岡田・高井³⁻¹⁾は個別の木造建物を対象として耐震診断結果である上部構造評点（以下、「耐震評点（ I_w ）」という。）と震度から損傷度を確定的に計算する手法を提案している。これは(財)建築防災協会による1995年版の旧精密診断³⁻³⁾による耐震評点を指標に、震度、PGVを説明変数として、被害の程度であるDamage Index（以下、「DI」という。定義域は[0, 1]）を評価する手法である。Damage Level, 破壊パターンおよびDIの関係をFig. 3-1に示す。これをもとに田畑・岡田ら³⁻²⁾は損傷度関数 式(3-1)を提案している。

$$F(s) = 1 - \exp(-s/\eta)^m \quad (3-1)$$

ここに、 $F(s)$ はDI、 s は地震動入力（震度、PGV）であり、 m と η はWeibull分布のパラメータで耐震評点（ I_w ）毎の確率分布を特徴付ける。

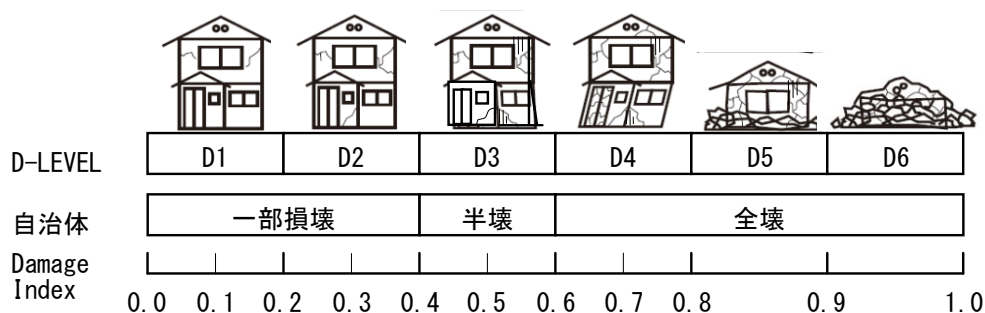
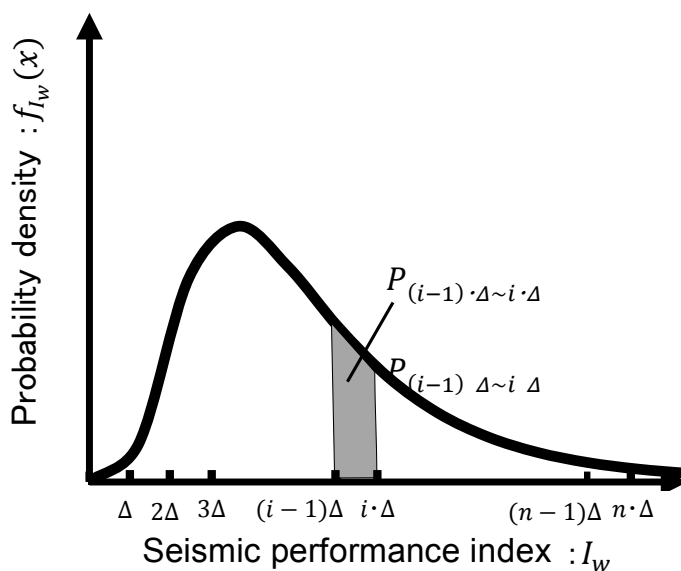


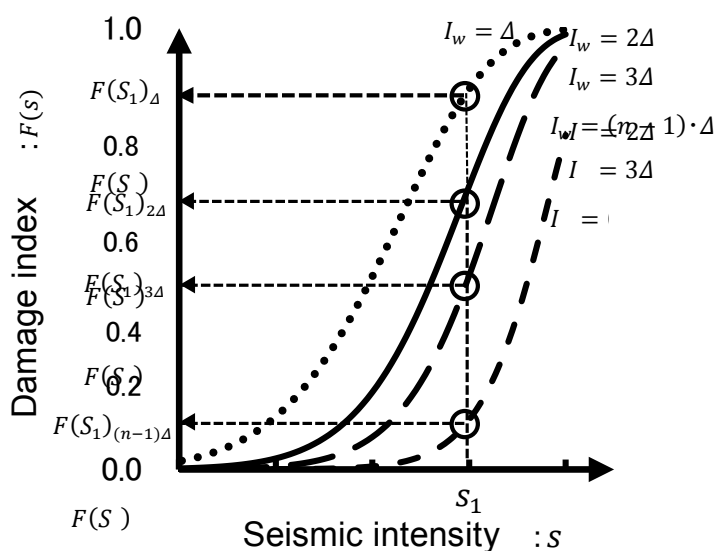
Fig. 3-1 破壊パターンとダメージレベルと損傷度³⁻²⁾

3.2.2 損傷度関数を利用した地域被害率関数の構築方法

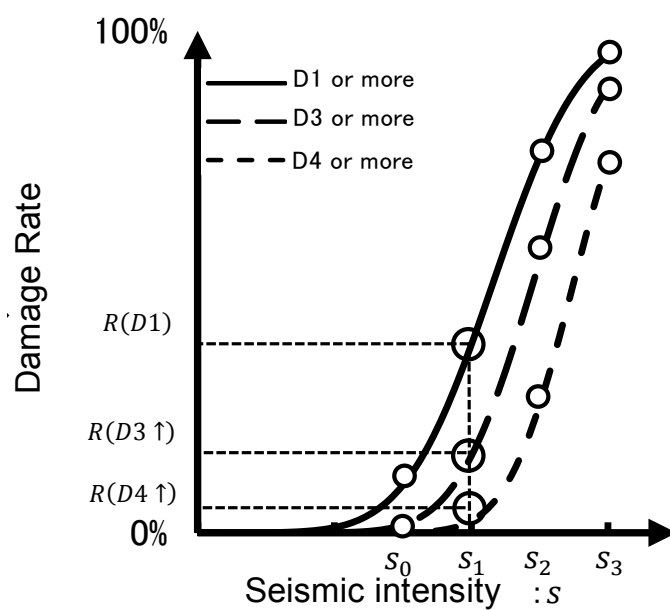
損傷度関数を地域の被害評価へ適用させる方法を Fig. 3-2 に示す。基本的考え方は、文献³⁻¹⁾と同じである。以下の(1)～(3)のステップを実施することにより、地域被害率関数を構築できる。



(a) 地域における木造建物群の耐震評点分布



(b) 木造建物の損傷度関数



(c) 木造建物群の地域被害率関数

Fig. 3-2 地域における木造建物群の耐震評点分布および損傷度関数を利用した
木造建物群の地域被害率関数の構築方法

(1) 耐震評点 I_w の区間 Δ における確率の推定

損傷度関数は建物単体の評価手法であるため，地域の建物群を評価するため，建物群の耐震性能分布が必要となる。地域における耐震性能分布を表す耐震評点 I_w の確率分布は，既往論文³⁻⁶⁾から対数正規分布（平均値 λ ，標準偏差 ζ ）と良く合うとされ，式(3-2)で表される。

$$f_{I_w}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta x} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x) - \lambda}{\zeta} \right)^2 \right] \quad (3-2)$$

まず，耐震評点 I_w の区間における確率を推定する（Fig. 3-2-a）。耐震評点の区間値を Δ とした時， i 番目の区間の確率 $P_{(i-1) \cdot \Delta \sim i \cdot \Delta}$ は， $f_{I_w}(x)$ の累積分布関数 $F_{I_w}(x)$ を用いて式(3-3)で表される。

$$P_{(i-1) \cdot \Delta \sim i \cdot \Delta} = F_{I_w}(i \cdot \Delta) - F_{I_w}((i-1) \cdot \Delta) \quad (3-3)$$

耐震評点の分割数を n としたとき，耐震評点 $n \cdot \Delta$ までの区間で確率の合計が 1.0 に十分近くなる n および Δ を設定する。

(2) 震度 S_1 における評点 I_w 毎の Damage Level の計算

次に損傷度関数式(3-1)を用いて，ある震度 S_1 における耐震評点 I_w 毎に Damage Level を計算する（Fig. 3-2-b）。

耐震評点 $I_w = (i-1) \cdot \Delta$ の時，震度 S_1 の DI を $F(S_1)_{(i-1) \cdot \Delta}$ とすると，耐震評点 $I_w = \Delta, 2\Delta, 3\Delta, \dots, (n-1) \cdot \Delta$ における DI は，耐震評点 I_w 毎のパラメータ m と η を用いて， $F(S_1)_\Delta, F(S_1)_{2\Delta}, F(S_1)_{3\Delta}, \dots, F(S_1)_{(n-1)\Delta}$ と計算される。

DI と Damage Level の関係（Fig. 3-1）から，例えば $F(S_1)_\Delta$ が D6[0.9, 1.0]， $F(S_1)_{2\Delta}$ が D4[0.6, 0.8]， $F(S_1)_{3\Delta}$ が D3[0.4, 0.6]， $F(S_1)_{(n-1)\Delta}$ が D1 に計算されたとする。耐震評点 $4\Delta \sim (n-1)\Delta$ については D2 とする。

(3) 地域被害率関数の推定

(1)と(2)の計算結果から, Damage Level 毎に震度と確率との関係を推定する (Fig. 3-2-c)。

耐震評点の区間 Δ の最小値をその区間の代表値とする。耐震評点 $I_w = \Delta$ では (Damage Level D6, 確率 $P_{\Delta \sim 2\Delta}$), 2Δ では (D4, $P_{2\Delta \sim 3\Delta}$), 3Δ では (D3, $P_{3\Delta \sim 4\Delta}$), $\dots$, $I_w = (n-1) \cdot \Delta$ では (D1, $P_{(n-1) \cdot \Delta \sim n \cdot \Delta}$) となる。ここで耐震評点 $0 \sim \Delta$ の区間の確率 $P_{0 \sim \Delta}$ は, $I_w = \Delta$ の Damage Level に含まれるとする。

以上の例では, 震度 S_1 における Damage Level 毎の確率は,

$$\text{D4 以上(全壊)の確率 } R(D4 \uparrow) = P_{0 \sim \Delta} + P_{\Delta \sim 2\Delta} + P_{2\Delta \sim 3\Delta}$$

$$\text{D3 以上(全半壊)の確率 } R(D3 \uparrow) = R(D4 \uparrow) + P_{3\Delta \sim 4\Delta}$$

と計算される。

以上の(1)～(3)の流れを, 任意の震度 S について計算し, 求めた震度と確率(被害確率)のプロットを正規分布に当てはめ, 例えば D4 以上(全壊), D3 以上(全半壊)の被害率関数の $N(\mu, \sigma)$ を推定する。

3.3. 2004 年版診断結果を用いた損傷度関数の作成

3.3.1 損傷度関数の作成方法

田畑・岡田らの損傷度関数³⁻²⁾は旧精密診断³⁻³⁾に対応したものであり、2004 年版診断³⁻⁴⁾を用いた道の診断結果^{注1)}に適用できない。このため 2004 年版診断の結果に適合するように、全国調査が行われている木耐協の実施した診断結果^{注2)}を用いて損傷度関数の見直しを行う。

損傷度関数は、岡田・高井および田畑・岡田らの手法と同等に、Weibull 分布を用いて推定する。『地震によって建物は {耐震性能の低いもの} = {耐震評点の小さなもの} から倒壊する』という考え方を基に、ある耐震評点以下の建物の割合を地域の被害率と捉え、被害率関数と耐震評点分布を用いて、ある耐震評点における DI と震度との関係を求め、最小二乗法により耐震評点毎の Weibull 分布のパラメータ m , η を推定する^{3-1), 3-2)}。

3.3.2 損傷度関数作成のための被害率関数

損傷度関数を構築するための被害率関数 $V(s)$ は、1995 年阪神・淡路大震災のデータを元に、死者発生を詳細に検討するために全壊・半壊などの被害区分よりも詳細な DI (D1 以上から D6) を指標として作成された田畑・岡田らの式³⁻²⁾を用いる。

式 (3-4) および Table3-1 (s = 震度) に示す。

$$V(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^s \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{s-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] ds \quad (3-4)$$

Table3-1 被害率関数 $V(s)$ のパラメーター

Damage Level	μ	σ
D6	7.12	0.307
D5 or more	6.91	0.310
D4 or more	6.76	0.329
D3 or more	6.42	0.475
D2 or more	5.96	0.621
D1 or more	5.04	0.574

3.3.3 損傷度関数作成のための耐震評点分布

田畑・岡田らが損傷度関数作成のための旧精密診断による耐震評点分布は、木耐協が1998-2001年に実施した診断結果のなかから、大阪圏の耐震評点の地域分布を基に推計した対数正規分布が用いられている。これは、耐震評点分布の地域と、被害率関数の基となる被害データの地域とを合致させる必要があるためである³⁻²⁾。

同様の方法で2004年版診断による結果に基づいた手法を検討するため、木耐協が2005-2008年に行った診断結果のうち、大阪圏の耐震評点の分布を用いる。

推計した2004年版診断による大阪圏の耐震評点の対数正規分布をFig. 3-3に示す。

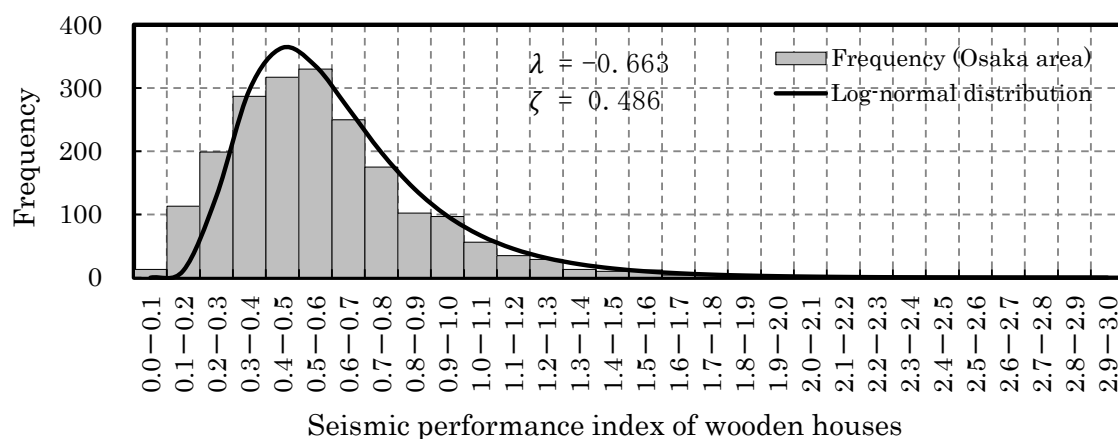
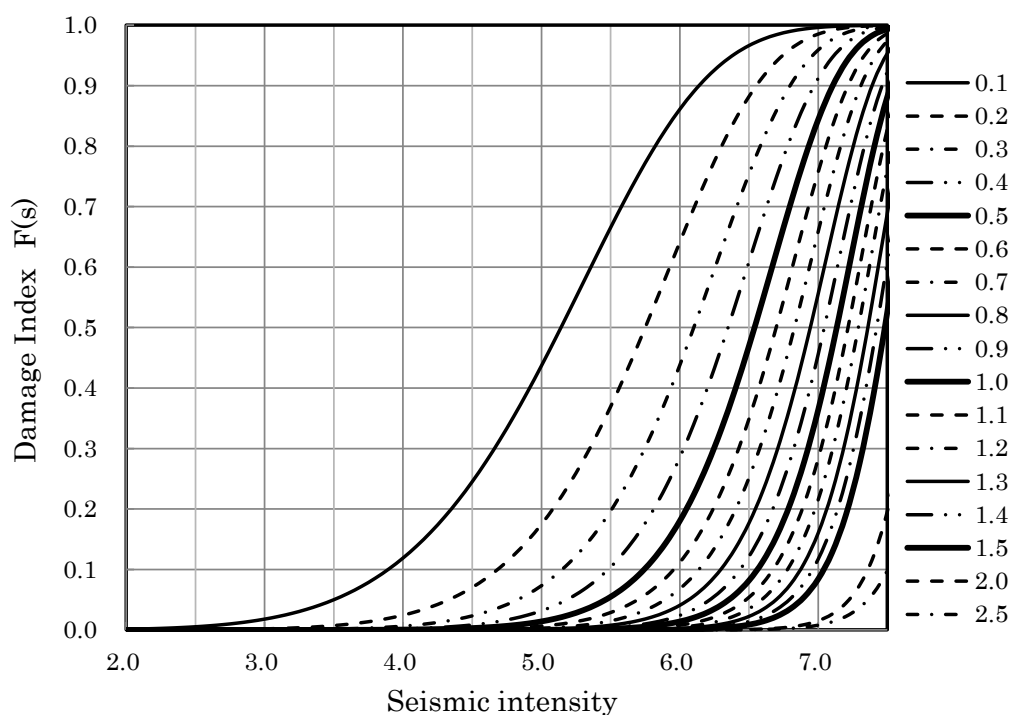


Fig. 3-3 大阪圏の耐震評点の対数正規分布
(木耐協の2004年版診断結果, n=2,054)

3.3.4 2004 年版診断結果を用いた損傷度関数

2004 年版診断結果を用いた損傷度関数は、旧精密診断を用いた関数と同様に Weibull 分布を用いて作成した。『地震によって建物は {耐震性能の低いもの} = {耐震評点の小さなもの} から倒壊する』という考え方を基に、ある耐震評点以下の建物の割合を地域の被害率と捉え、(1)の田畑・岡田らによる D1 以上から D6 までの被害率関数と、Fig. 3-3 の 2004 年版診断結果による大阪圏の耐震評点分布を用いて、ある耐震評点における DI と震度との関係を求め、最小二乗法により耐震評点毎の Weibull 分布のパラメータ m 、 η を推定した。

作成した損傷度関数式 (3-1) のパラメータ m 、 η と耐震評点毎の震度と DI との関係を Fig. 3-4 に示す。



I_w	m	η
0.1	6.77	5.43
0.2	9.19	5.98
0.3	11.12	6.31
0.4	12.85	6.53
0.5	14.49	6.71
0.6	16.10	6.85
0.7	17.68	6.97
0.8	19.28	7.08
0.9	20.88	7.17

I_w	m	η
1.0	22.52	7.25
1.1	24.18	7.33
1.2	25.87	7.39
1.3	27.58	7.46
1.4	29.31	7.52
1.5	31.04	7.57
2.0	38.59	7.80
2.5	37.41	7.97

Fig. 3-4 2004 年版診断結果を用いた個別木造建物の損傷度関数

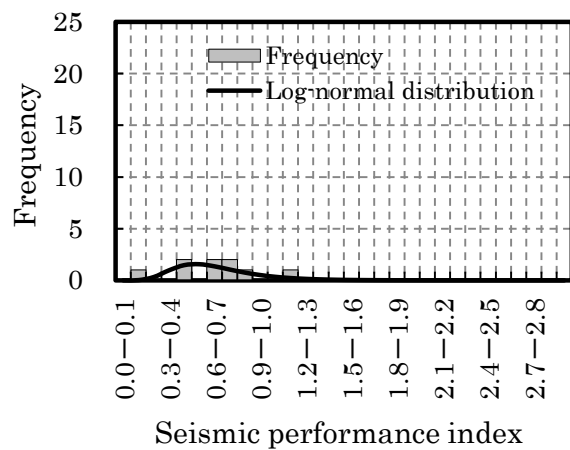
3.4. 木造建物群の耐震評点分布の推定

3.4.1 診断結果に基づいた耐震評点分布の推定

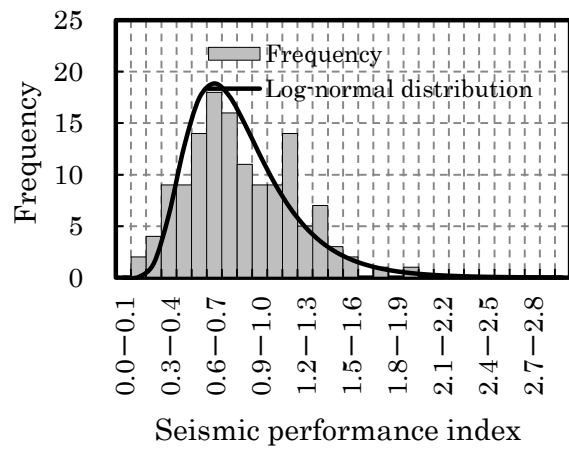
地域の木造建物群の耐震性能の分布として、木造住宅の耐震診断結果である耐震評点の地域分布を推定する方法を検討する。

同一地域内においても築年による構法の違いは大きく、建築年代ごとに耐震性を評価する必要がある。建築年代は、建築基準法の改正時期や過去の地震における被害発生の傾向から、1950 年以前、1951-1960 年、1961-1970 年、1971-1980 年、1981-1990 年、1991-2000 年、2001 年以降の 7 グループの建築年代に分けて推定する。

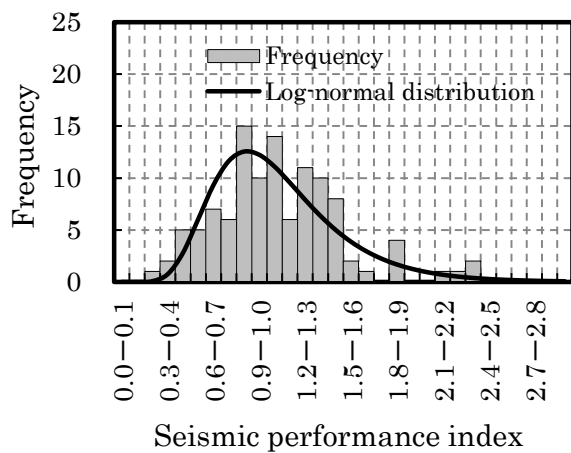
耐震評点の地域分布を推定するデータとして、北海道が戸建て木造住宅を対象に、2006-2009 年に実施した耐震診断結果（2004 年改訂版）を用いる。無積雪期の被害予測式を検討するため、北海道の診断結果をさらに積雪荷重のない場合の耐震評点に再診断し、分析用データとした。建築年代別に整理した耐震評点の頻度分布を Fig. 3-5 に示す。耐震評点 (I_w) の頻度分布を対数正規分布（式(3-2)、平均値 λ 、標準偏差 ζ ）に当てはめ、建築年代別の耐震評点分布を求めた。



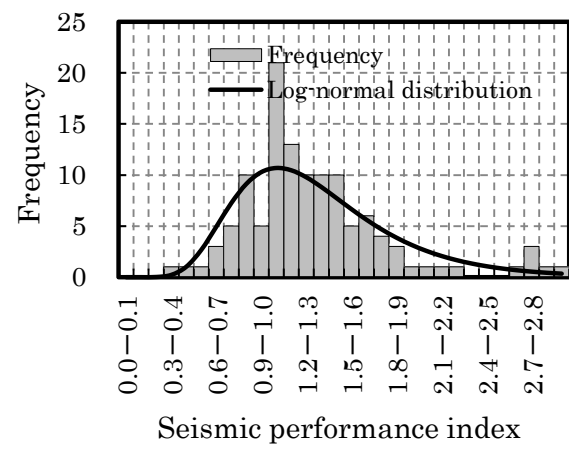
(a) 1961-1970 年, n=9



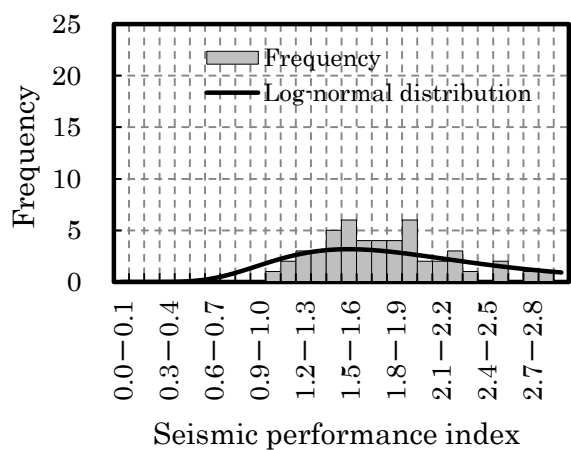
(b) 1971-1980 年, n=134



(c) 1981-1990 年, n=111



(d) 1991-2000 年, n=120

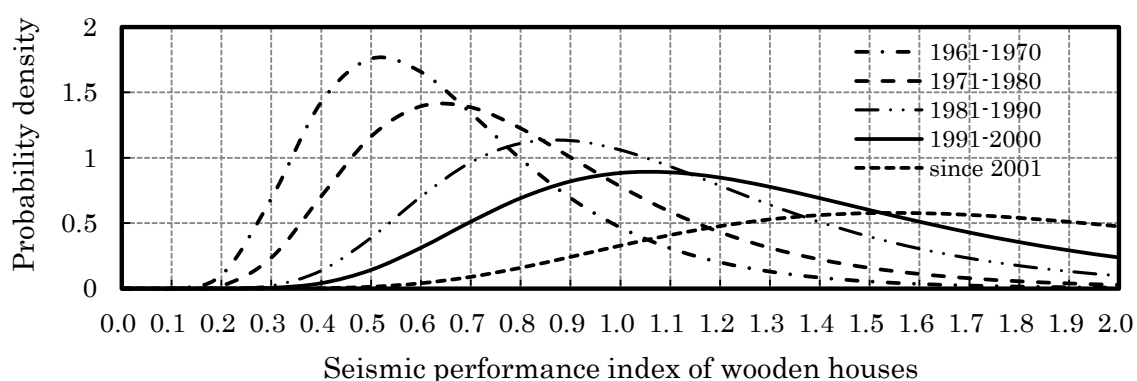


(e) 2001 年以降, n=55

Fig. 3-5 北海道の耐震診断結果による建築年代別の耐震評点の頻度分布

Fig. 3-6 に北海道の耐震診断結果による建築年代別の耐震評点分布を整理して示す。診断件数は 429 件と決して多くはないが、1971-1980 年、1981-1990 年、1991-2000 年、2001 年以降の建築年代は、比較的、対数正規分布に当てはまっている。

一方、1961-1970 年の建築年代は 9 件と非常に少なく、耐震評点分布の推定のためにはデータ数が十分ではない。北海道のデータは、対象の建築年が 1961 年からのものであり、1950 年以前、1951-1960 年の建築年代はデータがなく、別途推定方法の検討が必要である。



	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	Since 2001
n	9	134	111	120	55
λ	-0.493	-0.277	0.001	0.209	0.605
ζ	0.401	0.403	0.376	0.391	0.410

Fig. 3-6 北海道の耐震診断結果による建築年代別の耐震評点分布
(北海道の 2004 年版診断結果, $n = 429$)

3.4.2 1970 年以前の耐震評点分布の推定方法

次に 1970 年以前の 3 つの建築年代について、耐震評点分布の推定方法を検討する。地域の建物群の耐震評点分布の推定方法は、前節で示した A) 十分に診断件数がある当該地域の診断結果データから耐力分布を推定する他に、B) 過去に大きな地震が発生している場合、建物被害率から当時の耐力分布を推定、C) 当該地域の診断件数が少ない場合、十分に件数のある全国の調査結果を事前分布としたベイズ更新から耐力分布を推定などが考えられる。

道の診断結果の 1961-1970 年の建築年代は、診断件数が 9 件と非常に少なく、評点分布を推定するためにはデータ数が十分ではない。このことから、全国的に多数の調査が行われている木耐協の診断結果を事前分布とし、件数の少ない北海道のデータを尤度関数としたベイズ更新によって評点分布を推定する方法を提案する。

1950 年以前の建築年代は、利用できる診断結果がないことから、建築年代に近い時期に発生し、被害規模の大きかった 1952 年十勝沖地震の被害率を基に耐震評点の分布を推定する方法を提案する。

1951-1960 年の建築年代は、北海道に該当年代の診断結果がなく、また大きな地震も発生していない。そのため、木耐協の耐震評点分布を利用し、年代間の評点分布の比率から推定する方法を提案する。

3.4.3 地震被害に基づいた耐震評点分布の推定

過去の地震被害に基づき耐震評点の地域分布を推定する方法を検討する。1952 年十勝沖地震の木造住宅の被害結果報告に基づいて震度毎の全壊率を求め、3.3 で構築した損傷度関数から、地震時の耐震評点分布を求める。次に、求めた評点分布は、1952 年当時評価の分布のため、経年劣化の影響を考慮し、現時点で評価した耐震評点分布に補正する。これを建築年代 1950 年以前の耐震評点分布（現時点）と称することとする。

(1) 1952 年十勝沖地震の震度と木造住宅全壊率

十勝沖地震調査委員会による十勝沖地震調査報告 1952 年 3 月 4 日（以下、「1952 年十勝沖報告書」という。）³⁻⁷⁾ を基に整理した地震の被害状況を Table3-2 に示す。

1952 年十勝沖報告書から、震度は気象台、測候所、観測所で観測された結果などをまとめた図表を基に作成した。住家全壊戸数は、北海道建築部（当時）が作成、発表した被害状況の表をもとに作成した。当時の全戸数は不明のため、道庁統計課発表の 1951 年 4 月現在の世帯数を利用している。住家全壊率は、当時の市町村毎に、全壊棟数／世帯数にて計算している。

また宮腰らの被災指標の分析³⁻⁸⁾ では、警察及び自治体による被災度判定基準は 1891 年濃尾地震から 1995 年兵庫県南部地震まで概ね統一されているものと考えられるとされており、本論文では 1952 年十勝沖地震における全壊＝D4 以上 (Fig. 3-1) と仮定して計算する。

Table3-2 1952 年十勝沖地震における市町村の被害状況 ³⁻⁷⁾

Municipality (in 1952)		Seismic intensity	Major damage of houses (A)	Number of households (B)	damage rate (A) / (B)
Tokachi	Toyokoro Village	VI	353	1,295	27.3%
Tokachi	Ootsu Village	VI	256	993	25.8%
Tokachi	Urahoru Village	VI	379	2,162	17.5%
Tokachi	Ikeda town	VI	198	2,755	7.2%
Kushiro	Onbetsu Village	VI	50	1,787	2.8%
Iburi	Atsuma Village	VI	22	1,651	1.3%
Tokachi	Makubetsu town	VI	31	3,074	1.0%
Intensity VI total			1,289	13,717	9.4%
Hidaka	Urakawa town	V	75	2,752	2.7%
Tokachi	Sarabetsu Village	V	13	933	1.4%
Hidaka	Ogifushi Village	V	11	989	1.1%
Hidaka	Mitsuishi town	V	22	2,004	1.1%
Hidaka	Samani Village	V	18	1,671	1.1%
Tokachi	Taiki Village	V	17	1,630	1.0%
Kushiro	Shibetya town	V	14	2,549	0.5%
Tokachi	Tyurui Village	V	3	587	0.5%
Iburi	Mukawa Village	V	5	1,585	0.3%
Tokachi	Memuro town	V	7	2,741	0.3%
Hidaka	Shizunai town	V	3	3,042	0.1%
Tokachi	Otohuke Village	V	3	3,074	0.1%
Kushiro	Kushiro Village	V	18	18,669	0.1%
Tokachi	Honbetsu town	V	2	2,750	0.1%
Hidaka	Horoizumi Village	V	1	1,534	0.1%
Tokachi	Kawanishi Village	V	1	1,749	0.1%
Kushiro	Shiranuka Village	V	1	3,286	0.0%
Intensity V total			214	51,545	0.4%
Nemuro	Shibetsu Village	IV	4	1,296	0.3%
Hidaka	Monbetsu Village	IV	5	2,979	0.2%
Tokachi	Shibetsu town	IV	2	2,208	0.1%
Sorachi	Yuni town	IV	2	2,288	0.1%
Iburi	Hobetsu Village	IV	3	4,204	0.1%
Iburi	Tomakomai City	IV	1	8,000	0.0%
Intensity IV total			17	20,975	0.1%
Hiyama	Futoro Village	III	3	790	0.4%
Abashiri	Tanno Village	III	1	1,432	0.1%
Iburi	Toyoura town	III	1	1,936	0.1%
Nemuro	Bekkai Village	III	1	3,093	0.0%
Intensity III total			6	7,251	0.1%

(2) 震度と被害率との関係の推定

1952 年十勝沖報告書の被害状況から、震度 s と被害率 $f(s)$ の分布を正規分布 (式 (3-4), 平均値 μ , 標準偏差 σ) に当てはめ、被害率を求める。

北海道全体として平均的な被害率を推定することから、震度毎に集計、算定した被害率を推定の単位とする。震度ⅢとⅣは、表に掲載された以外に被害の無い市町村も多いため、推定では被害率を 0% として扱った。また建築年代が新しいほど被害率が小さく、被害率曲線は他年代の曲線と重ならないなど、年代区分毎の曲線の順序が明確であると仮定し、後述するより新しい年代の被害率関数と重ならないよう推定する。

推計した正規分布の確率分布関数を Fig. 3-7 に示す。震度単位で推定した被害率曲線に対して、市町村単位の被害率は平均的なバラツキである標準偏差 σ の ± 0.7 倍の範囲にほぼ収まっている。

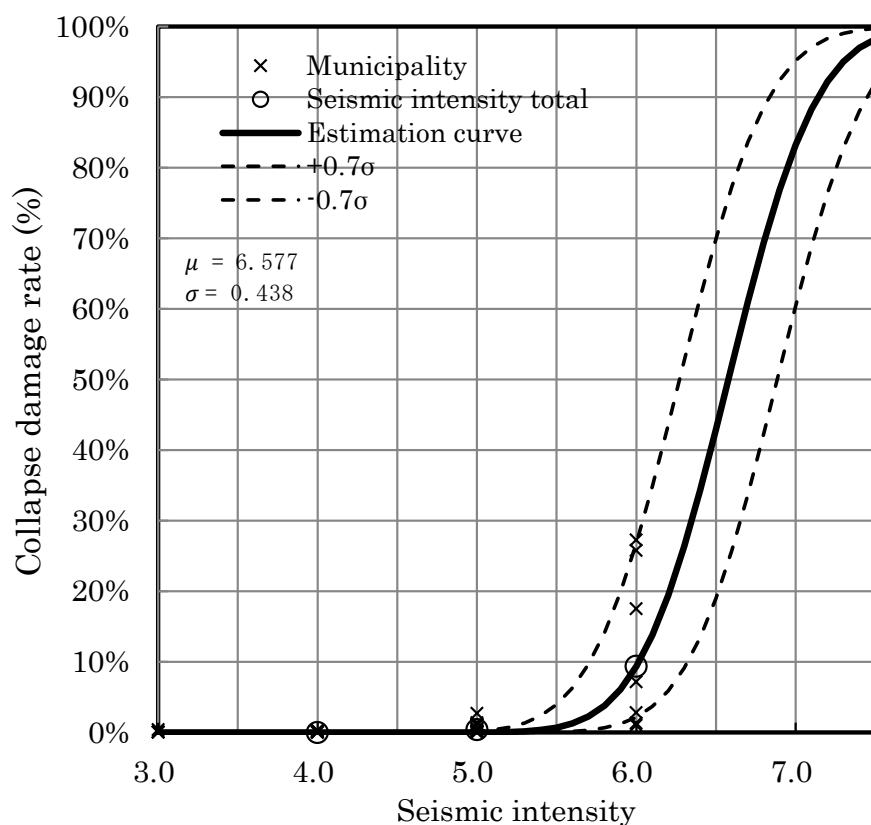


Fig. 3-7 1952 年十勝沖地震の震度と被害率との関係

(3) 1952 年十勝沖地震に基づいた耐震評点分布の推定

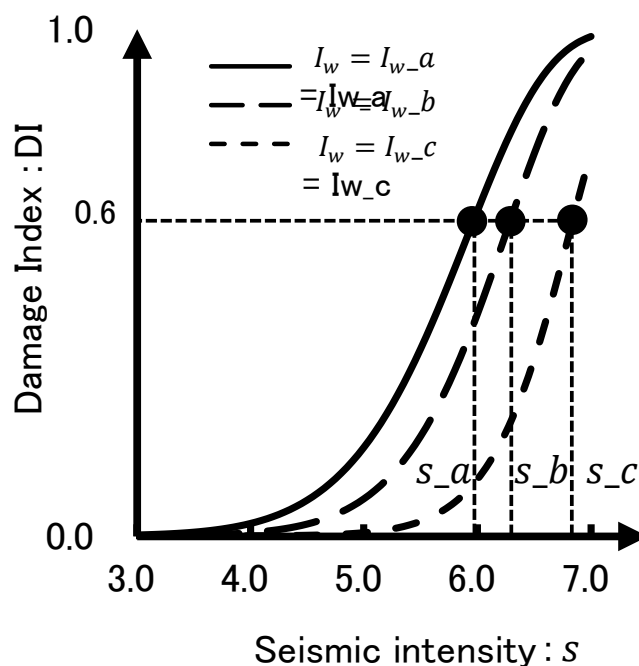
Fig. 3-8 に過去の地震の被害資料から地域被害率を計算し、損傷度関数との関係から、耐震評点の地域分布を推定する方法を示す。Fig. 3-1 から $DI=0.6$ 以上が全壊に該当する建物被害レベルとなる。

まず損傷度関数から、任意の評点の $DI=0.6$ となる震度を求める (Fig. 3-8-a)。例えば評点 I_{w_a} の場合、震度 s_a となる。

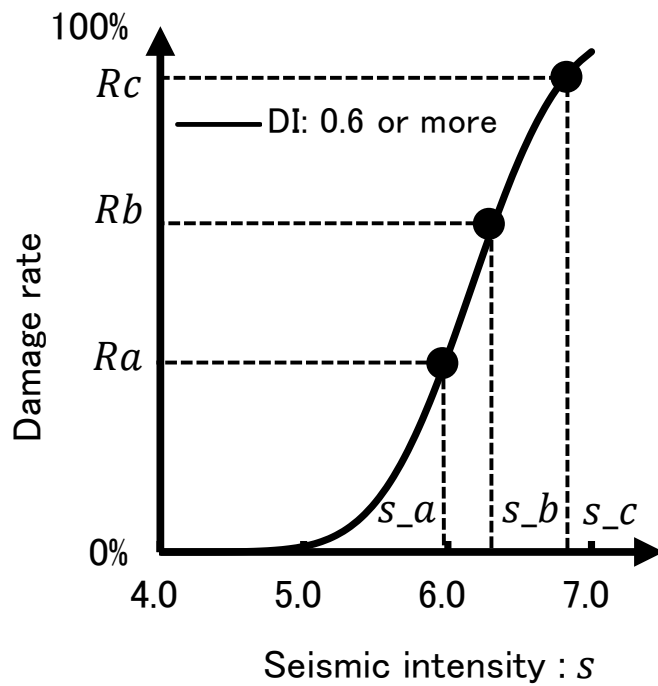
次に過去の地震の震度と建物全壊率との関係から、 $DI=0.6$ となる震度に対応した全壊率を求める (Fig. 3-8-b)。例えば震度 s_a の場合、全壊率 Ra となる。

損傷度関数は『地震によって建物は {耐震性能の低いもの} = {評点の小さなもの} から倒壊する』考え方を基に構築されているため、任意の評点以下の建物割合 (累積分布の値) が全壊率と一致する (Fig. 3-8-c)。例えば評点 I_{w_a} の場合、求める耐震評点分布が確率密度関数式 (3-2) $f_w(x)$ で表される時、 $Ra = \int_0^{I_{w_a}} f_w(x) dx$ の関係となる。

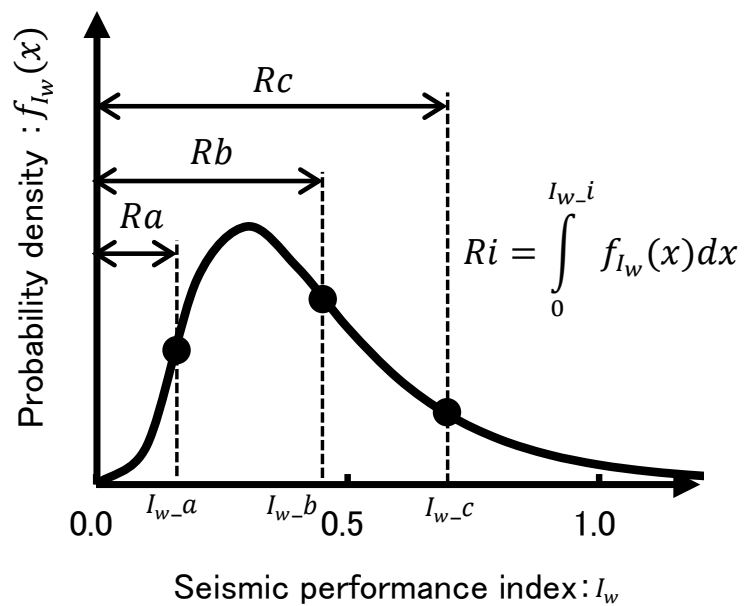
以上から地域分布を推定する。3.3 で構築した損傷度関数と、(2) で求めた 1952 年十勝沖地震の震度と全壊率の関係から、対数正規分布にフィッティングするように求めた耐震評点分布の推定結果を Fig. 3-9 に示す。



(a) 木造建物の損傷度関数



(b) 過去の地震における震度と被害率との関係



(c) 過去の地震被害資料による木造建物群の耐震評点分布

Fig. 3-8 過去の地震被害資料による地域被害率と損傷度関数から
木造建物群の耐震評点分布を推定する方法

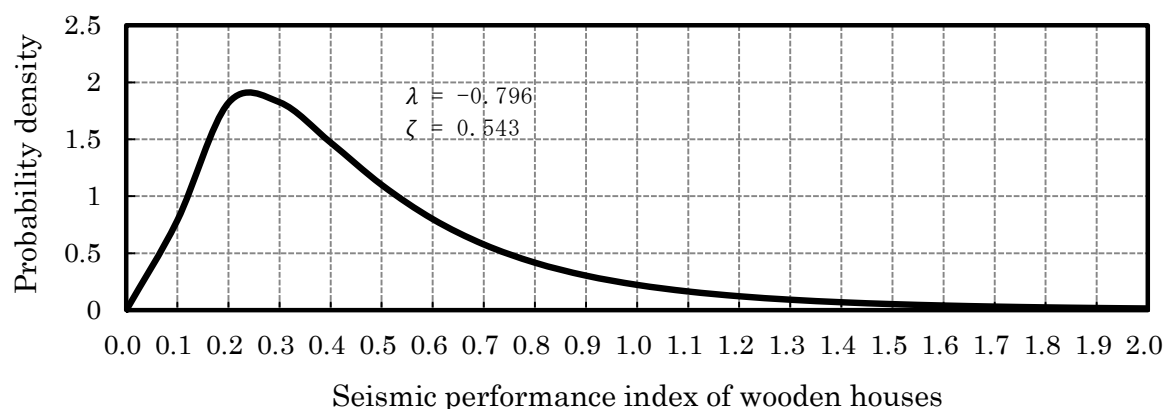


Fig. 3-9 1952 年十勝沖地震に基づいた耐震評点分布

(4) 1950 年以前の耐震評点分布の推定

(3)で求めた耐震評点分布は、発災当時の建物の分布を表している。現時点の分布とするため、劣化の影響を考慮する。中嶋・岡田³⁻⁹⁾は、旧耐震診断における老朽化得点 (F 値) に着目し、木耐協の調査データをもとに築年数と老朽度との関係を式(3-5)として求めている。50 年の老朽化の影響は耐力の 1 割減とされている。

$$F(t') = -0.0021 \times t' + 1 \quad (3-5)$$

$$t' = q_0 - q + t$$

q_0 は現在であり、 q が建築年、 t が経過年を表す。ここでは地震の発生した 1952 年から現在 (2017 年) までの老朽化の影響として、 $q_0=2017$ 、 $q=1952$ 、 $t=0$ (現時点のため経過年 0) の場合の老朽化得点 $F(t')$ を求める。老朽化得点 $F(t')=0.86$ となり、14%程度の耐力減が見込まれる。 $F(t')=0.86$ を考慮して、Fig. 3-9 の評点を 14%程度低減させた分布を Fig. 3-10 に示す。現在の建築年代 1950 年以前の評点分布となる。

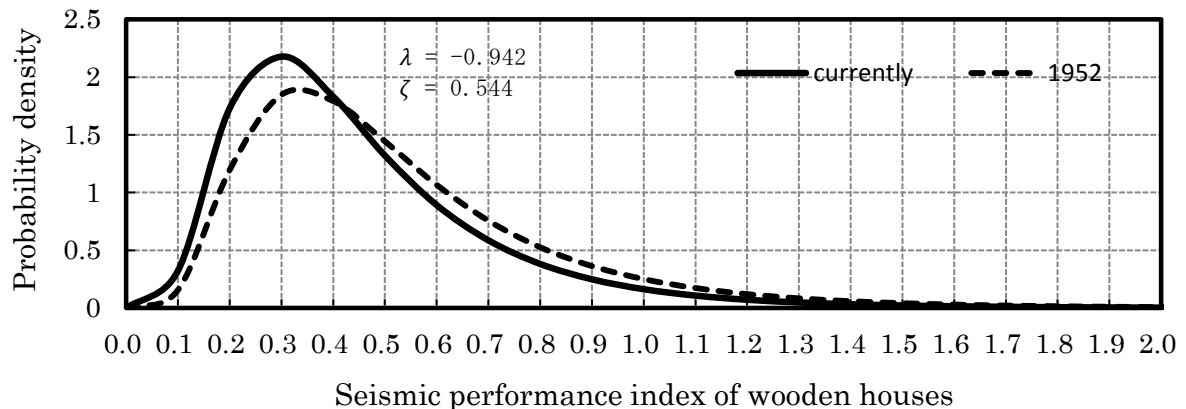


Fig. 3-10 1950 年以前の耐震評点分布 (現時点)

3.4.4 ベイズ更新に基づいた耐震評点分布の推定

(1) ベイズ推定

ベイズの定理は、新しいデータや情報を利用することにより、すでに計算されている確率の値を修正または更新することに役立つ。事前の情報と観測結果を組み合わせ、それまでの確率の値を更新する。

(式 3-6)に確率(離散値)に関するベイズの定理を示す³⁻¹⁰⁾。このとき $P(E_i)$ を事前確率, $P(E_i|A)$ を事後確率という。

$$P(E_i|A) = \frac{P(A|E_i)P(E_i)}{P(A)} \quad (3-6)$$

つぎに確率分布の母数を推定するとき、母数 θ がばらつきを持った分布で与えられると考える。推定する確率分布の母数 θ が連続確率変数のとき、分布のベイズの定理は(式 3-7)で表される³⁻¹⁰⁾。このとき母数 θ の事後分布 $f''(\theta)$ は、事前分布 $f'(\theta)$ 、観測データを ε としたとき尤度関数 $L(\theta)=P(\varepsilon|\theta)$ 、正規化係数 k を用いて表される。

$$f''(\theta) = \frac{P(\varepsilon|\theta) \cdot f'(\theta)}{\int_{-\infty}^{\infty} P(\varepsilon|\theta) f'(\theta) d\theta} = k \cdot L(\theta) \cdot f'(\theta) \quad (3-7)$$

$$k = (\int_{-\infty}^{\infty} P(\varepsilon|\theta) f'(\theta) d\theta)^{-1}$$

以上のベイズ推定の考え方にに基づき耐震評点の地域分布を推定する。評点分布は、対数正規分布で表される。推定する対数正規分布の母数である平均値 λ を連続確率変数と見なし、ベイズ推定によって求めることを考える。

十分に件数のある木耐協(全国平均, 事前情報)の建築年代 1961-1970 年の診断結果の平均値 λ の事前分布 $f'(\lambda)$ 、北海道で調査された診断結果(観測結果)を尤度関数 $L(\lambda)$ として、推定する評点分布の平均値 λ の事後分布 $f''(\lambda)$ を求める³⁻¹⁰⁾。

基礎確率変数が対数正規分布(と既知)の場合、母数 λ の事前分布および事後分布が同じ正規分布をとるとき、共益分布として事後分布 $f''(\lambda)$ の母数(平均 μ'' 、標準偏差 σ'')を求めることができる

(2) 事前分布の作成

木耐協の診断結果から，建築年代 1961-1970 年のデータ I_w1 (1,083 件) の耐震評点の分布を Fig. 3-11 に示す。診断結果 I_w1 が対数正規分布に従うとき，自然対数 $\ln(I_w1)$ の平均 μ' と標準偏差 σ' を求める。平均値 λ の事前分布 $f'(\lambda)$ は， $\mu' = -0.865$ ， $\sigma' = 0.487$ の正規分布（式 (3-8)）で表される。

$$f'(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma'} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\lambda - \mu'}{\sigma'} \right)^2 \right] = N_{\lambda}(\mu', \sigma') \quad (3-8)$$

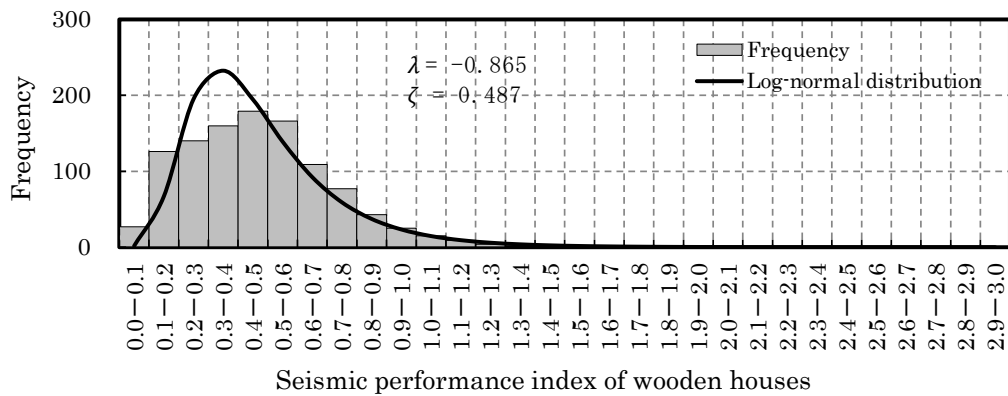


Fig. 3-11 1961-1970 年の耐震評点分布

(木耐協の 2004 年版診断結果， $n = 1,083$)

(3) 尤度関数の作成

北海道の建築年代 1961-1970 年の診断結果データ I_w2 (9 件) の自然対数 $\ln(I_w2)$ の平均 $\bar{x}$ と標準偏差 σ を求める。尤度関数 $L(\lambda)$ は、 $\bar{x}=-0.493$, $\sigma=0.401$, データ数 $n=9$ の正規分布 (式 (3-9)) で表される。

$$L(\lambda) = N_{\lambda} \left(\bar{x}, \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (3-9)$$

(4) 事後分布の作成

事前分布 $f'(\lambda)$ と事後分布 $f''(\lambda)$ が同じ正規分布をとるとき、共役分布として、事後分布 $f''(\lambda)$ の平均 μ'' , 標準偏差 σ'' を式 (3-10), (3-11) よって計算することができる。

事後分布 $f''(\lambda)$ の平均 μ'' , 標準偏差 σ'' は、木耐協の診断結果 I_w1 の自然対数 λ の平均 μ' と標準偏差 σ' , 北海道の診断結果 I_w2 の自然対数 λ の平均 $\bar{x}$ と標準偏差 σ , データ個数 n を用いて $\mu''=-0.519$, $\sigma''=0.129$ と計算される。

$$\mu'' = \frac{\bar{x} \cdot (\sigma')^2 + \mu' \cdot (\sigma^2/n)}{(\sigma')^2 + (\sigma^2/n)} \quad (3-10)$$

$$\sigma'' = \sqrt{\frac{(\sigma')^2 \cdot (\sigma^2/n)}{(\sigma')^2 + (\sigma^2/n)}} \quad (3-11)$$

(5) ベイズ更新による耐震評点分布の推定

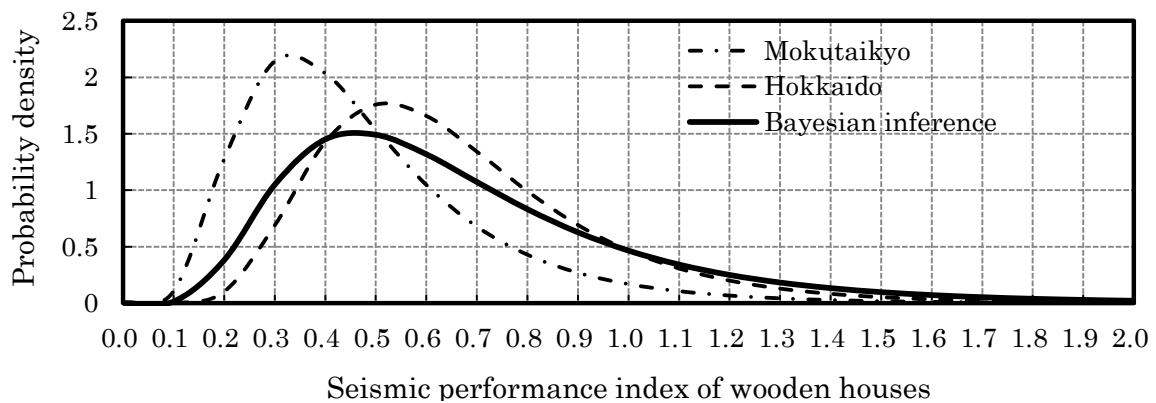
求めた事後分布 $f''(\lambda)$ が、全国の診断データを北海道のデータでベイズ更新した、建築年代 1961-1970 年の評点分布の平均値の分布となる。ベイズ更新後の耐力分布の標準偏差 ζ は、十分に件数の多い木耐協の診断結果と同じと仮定する。

推定される評点分布は、平均 $\lambda = N_{\lambda}(-0.519, 0.129)$, 標準偏差 $\zeta = 0.487$ の対数正規分布となる。

(6) 1961-1970 年の耐震評点分布の推定

計算の簡易化のため、平均値 λ の分布を定数に近似した係数を求める。 $-1.0 \leq \lambda \leq 0.0$ (合計するとほぼ 100%) の区間で、任意の λ について耐震評点 $I_w \sim I_w + 0.1$ の階級における累積分布の差の分布(a)を計算し、 λ の確率密度 $f''(\lambda)$ を重み(b)として、分布(a)*重み(b)をすべての λ について和算した結果を対数正規分布に当てはめた場合、 $\lambda = -0.519$ と $\zeta = 0.504$ となる。

推定結果を Fig. 3-12 に示す。



	Mokutai-kyo	Hokkaido	Bayesian inference
λ	-0.865	-0.493	-0.519
ζ	0.487	0.401	0.504

Fig. 3-12 1961-1970 年の耐震評点分布 (ベイズ更新後)

3.4.5 全国データに基づいた耐震評点分布の推定

(1) 木耐協（全国）データの耐震評点分布の比

木耐協が実施した診断結果のなかから、1950 年以前、1951-1960 年、1961-1970 年の耐震評点分布を Fig. 3-13 に示す。

木耐協の評点分布は、年代区分が新しくなるにつれて耐力の向上がみられ、分布の順序が明確である。また、木耐協の 1951-1960 年の評点分布は、1950 年以前と 1961-1970 年のほぼ中間値をとっていることがわかる。

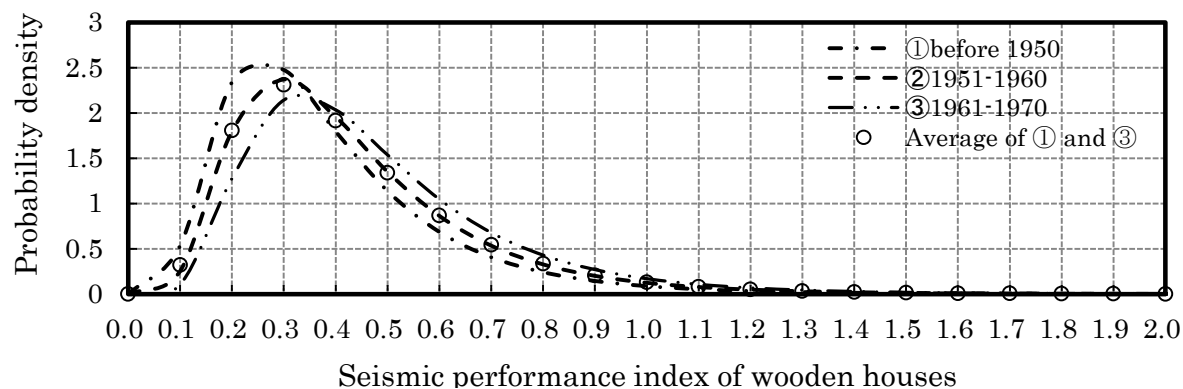


Fig. 3-13 木耐協の 1950 年以前、1951-1960 年、1961-1970 年の耐震評点分布の関係
(木耐協の 2004 年版診断結果)

(2) 耐震評点分布の比を基にした分布の推定

北海道の評点分布についても，木耐協の評点分布の傾向と同様に，年代区分毎の分布の順序が明確であると仮定する。北海道の建築年代 1951-1960 年の分布を 1950 年以前と 1961-1970 年の分布の中間値として推定する。推定した評点分布を Fig. 3-14 に示す。

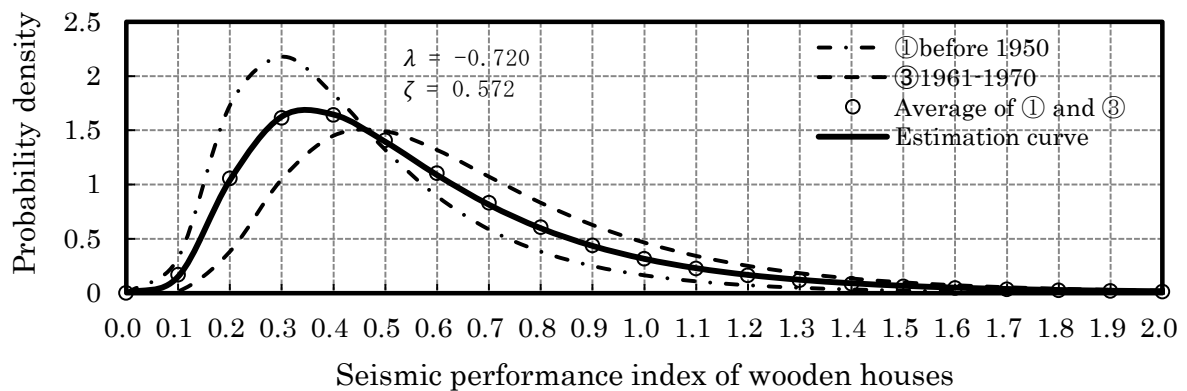


Fig. 3-14 1951-1960 年の耐震評点分布

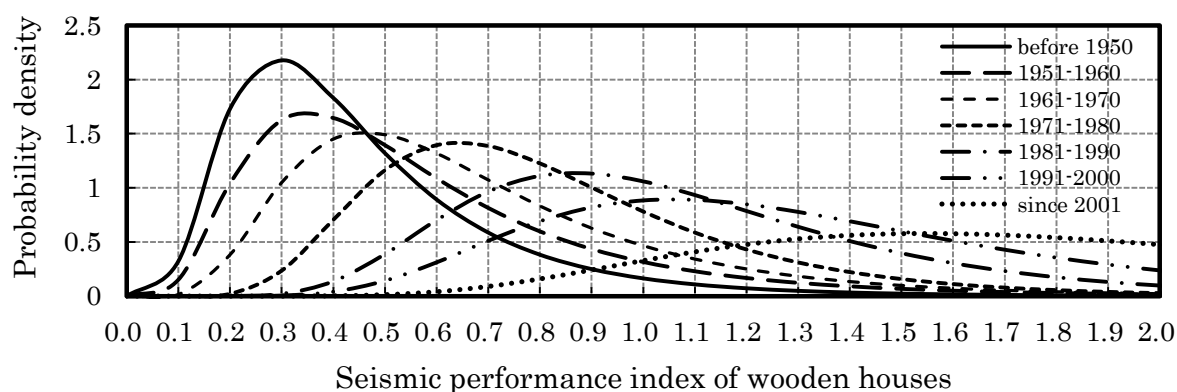
3.5. 北海道の耐震評点分布と地域被害率関数

3.5.1 北海道の建築年代別の耐震評点分布

3.4で推定した北海道の木造建物群における建築年代別の耐震評点分布をFig. 3-15に示す。全国的な調査結果を含む木耐協と比較するため、建築年代ごとに木耐協の評点分布と併せて掲載した北海道の評点分布をFig. 3-16に示す。また、耐震評点の建築年代別の平均値、最頻値、中央値および標準偏差をFig. 3-17に整理して示す。

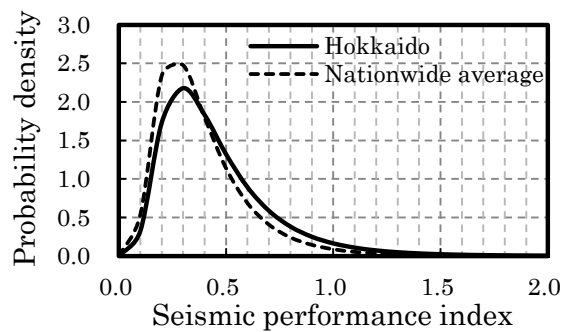
全国平均の木耐協と比較した場合、以下の違いが見られる。

- 1950年以前の建築年代をみると、平均値・最頻値・中央値ともに、北海道と全国平均は比較的近い値を取る。すなわち、北海道入植時から1950年代頃までは寒冷地仕様の住宅は未だ検討されておらず、本州仕様の住宅が北海道に持ち込まれたことが、北海道の木造住宅構法の変遷からも推測される。その後寒冷地対策が進み住宅構法に生かされる過程において徐々にその影響で耐震化が進んだことが予想される。よって1961年以降の建築年代では、耐震評点の平均値等の差が大きくなっている。
- 1961年以降では、上記傾向がさらに高まり平均値等における全国平均に対する北海道の評点の比は1.4～1.7倍程度と耐震的である。
- 標準偏差をみると、1961年代以降で全国平均より北海道の標準偏差が大きく、ばらつきが大きい。全国に比べ、北海道の断熱気密確保のための外壁構法の多様性が要因と推察される。

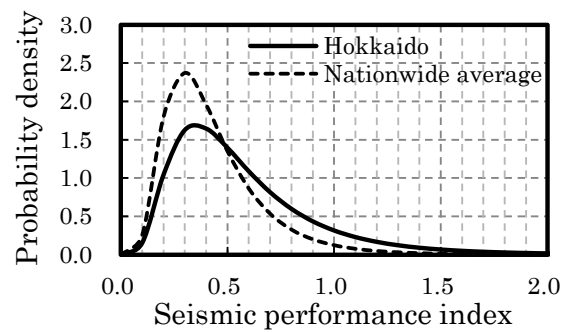


	Before 1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-2000	1981-2000	Since 2001
λ	-0.942	-0.720	-0.519	-0.277	0.001	0.209	0.605
ζ	0.544	0.572	0.504	0.403	0.376	0.391	0.410

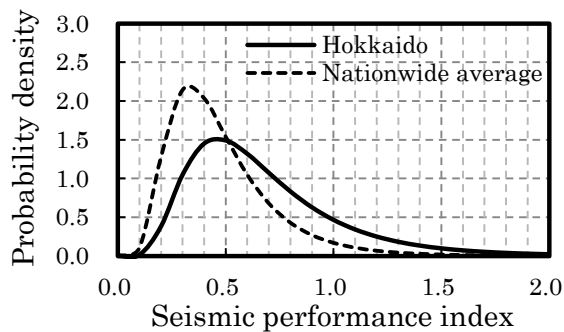
Fig. 3-15 北海道の木造建物群における建築年代別の耐震評点分布



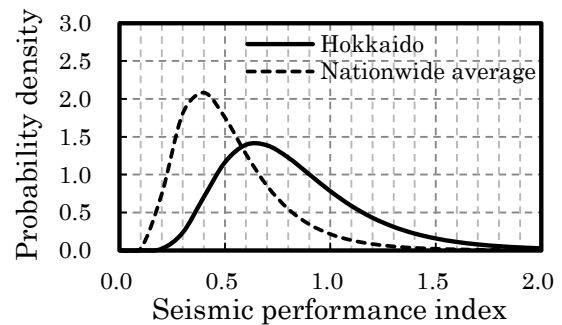
(a) 1950 年以前



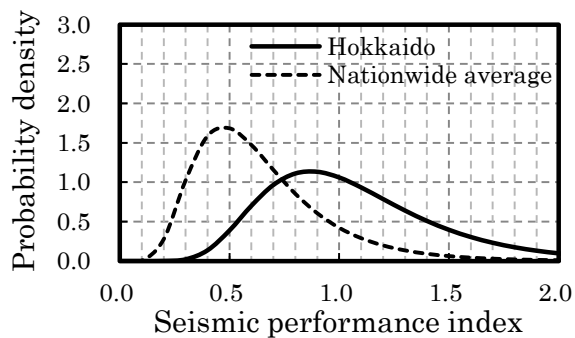
(b) 1951-1960 年



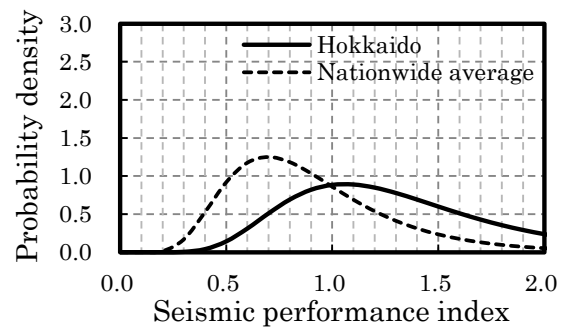
(c) 1961-1970 年



(d) 1971-1980 年

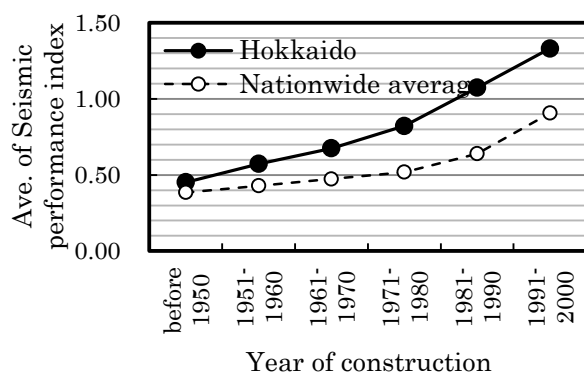


(e) 1981-1990 年

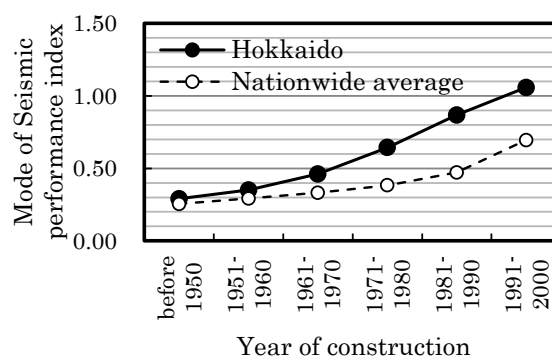


(f) 1991-2000 年

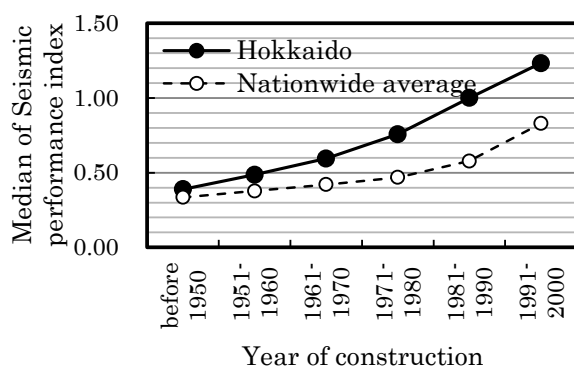
Fig. 3-16 木耐協（全国平均）と北海道の木造建物群の耐震評点分布の比較



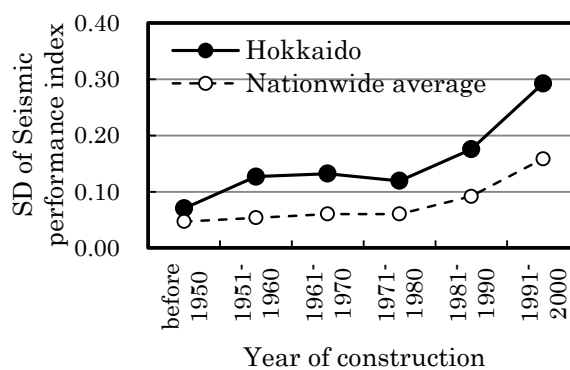
(a) 平均値



(b) 最頻値



(c) 中央値



(d) 標準偏差

Fig. 3-17 木耐協（全国平均）と北海道の建築年代別のパラメータ比較
（耐震評点分布の平均値，最頻値，中央値および標準偏差）

3.5.2 北海道の木造建物群の地域被害率関数

(1) 耐震評点分布に基づいた地域被害率関数の構築

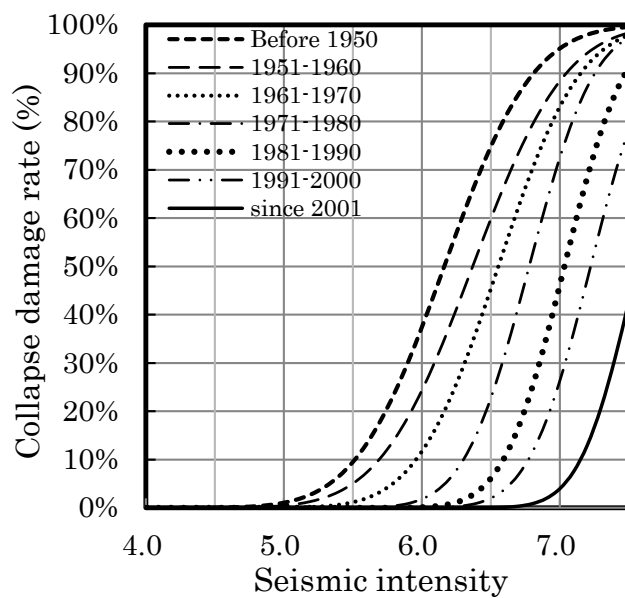
3.3 で作成した 2004 年版診断に対応した被害レベル毎の損傷度関数と，北海道の建築年代別に推定した地域の耐震評点分布をもとに，Fig. 3-2 に示した方法に適用することで，北海道における木造建物群の被害率関数を構築する。

被害率関数は， s を震度とした式(3-10)の正規分布の累積確率分布関数で表される。構築した Damage Level(D3 以上から D6 まで)毎に震度と地域の建物被害率との関係を Fig. 3-18 に示す。

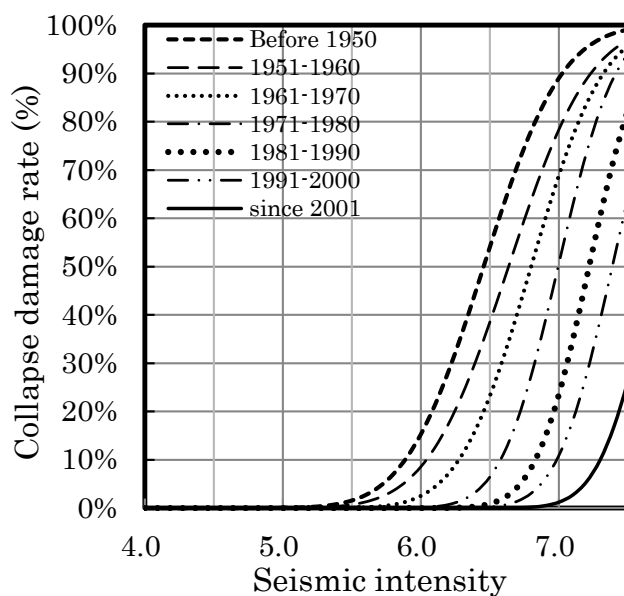
$$V(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^s \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{s-\mu}{\sigma}\right)^2\right] ds \quad (3-10)$$

Table3-3 被害率関数 $V(s)$ のパラメータ

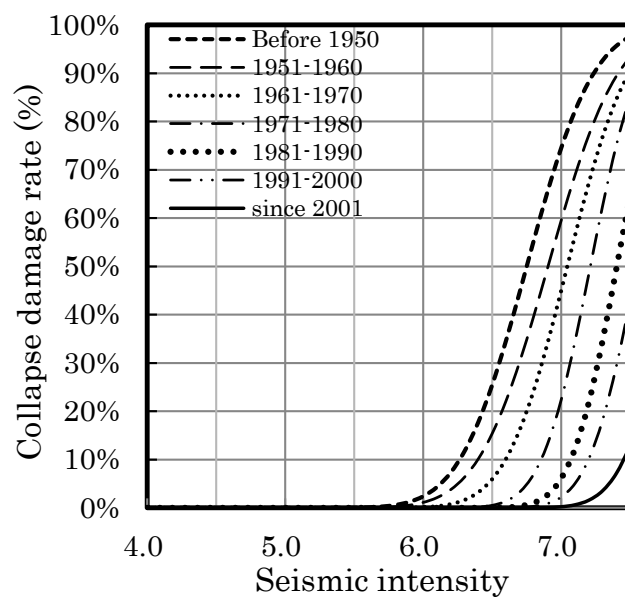
Year of construction		Before 1950	1951 -1960	1961 -1970	1971 -1980	1981 -1990	1991 -2000	Since 2001
D3 or more	μ	6.162	6.368	6.554	6.778	7.033	7.223	7.558
	σ	0.506	0.529	0.466	0.372	0.345	0.352	0.318
D4 or more	μ	6.455	6.636	6.799	6.995	7.220	7.388	7.697
	σ	0.444	0.465	0.409	0.326	0.304	0.314	0.310
D5 or more	μ	6.750	6.905	7.044	7.212	7.403	7.549	7.829
	σ	0.379	0.397	0.349	0.278	0.261	0.274	0.293
D6	μ	6.946	7.082	7.205	7.353	7.523	7.654	7.906
	σ	0.333	0.350	0.309	0.247	0.233	0.245	0.264



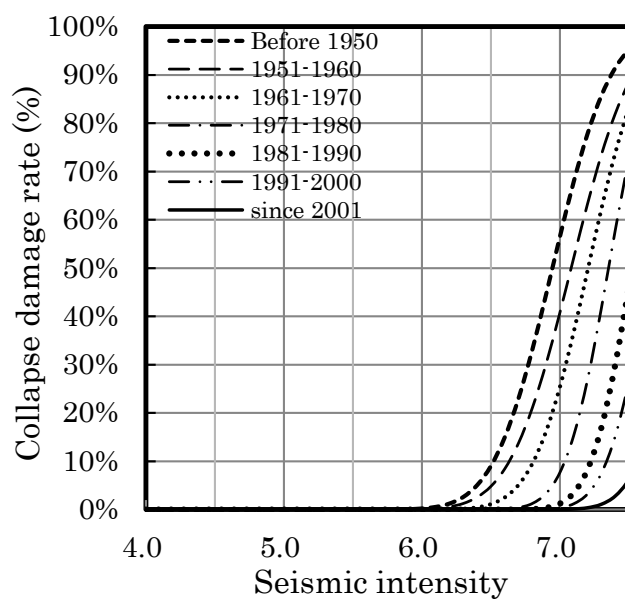
(a) 震度と被害率との関係 (D3 以上)



(b) 震度と被害率との関係 (D4 以上)



(c) 震度と被害率との関係 (D5 以上)



(d) 震度と被害率との関係 (D6)

Fig.3-18 北海道の木造建物群の地域被害率関数

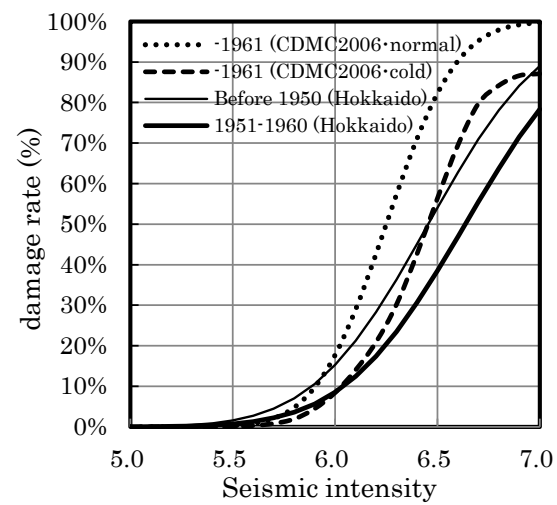
(2) 既往の被害率関数との比較

寒冷地での建物剛性を考慮した既往の被害率関数である中央防災会議（2006）³⁻⁵⁾の手法と、3.5.1 で構築した被害率関数（以下、「構築関数」と言う。）を、建築年代別に比較する。Fig. 3-19 に全壊（D4 以上）の震度と被害率との関係を示す。破線が、中央防災会議における極寒冷地（北海道）と普通地（東北・北陸などの寒冷地と極寒冷地を除く全国の地域）の被害率を表している。実線が構築関数による被害率曲線である。

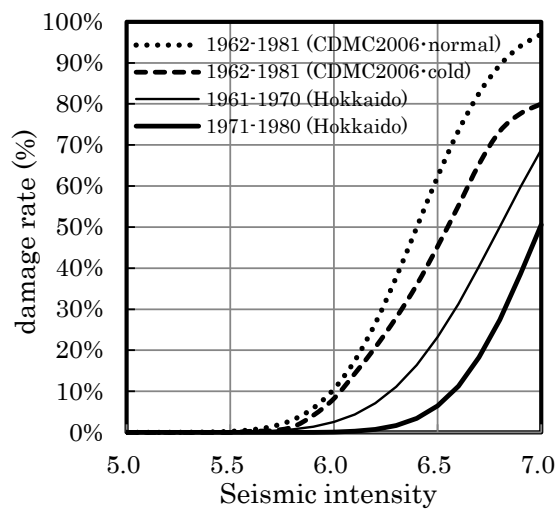
普通地に比べて、構築関数は、いずれの建築年代でも被害率が小さくなった。極寒冷地の被害率曲線と比較すると、1960 年以前の建築年代の被害率は、概ね近似している。その理由は全国（木耐協）と北海道の評点分布との比較（3.5.1）と同じ解釈が成立する。

次に 1961-1980 年の建築年代では、中央防災会議は震度 6 弱から被害が発生し、7.0 で被害率 80%程度であるが、構築関数における 1971-1980 年の被害率では震度 6 強から被害が発生し、7.0 で被害率 50%程度となり、構築関数による被害率が小さくなった。

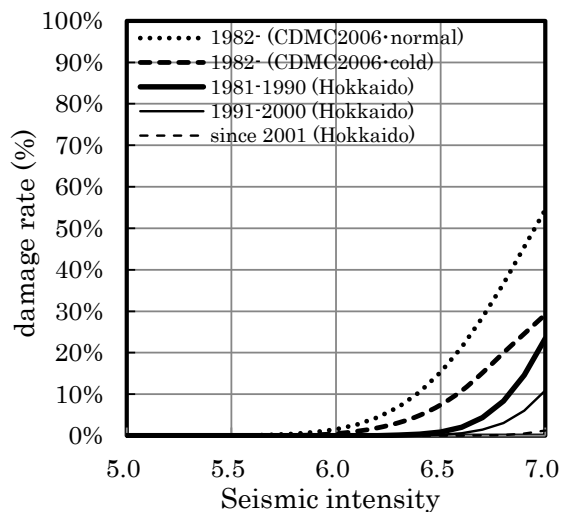
1981 年以降の建築年代は、中央防災会議は震度 6 強から被害が発生し 7.0 で被害率 30%程度、構築関数による 1981-1990 の被害率では震度 7 で被害が発生し 7.0 で被害率 24%程度と、構築関数の被害率が小さい。1961-1980 年、1981 年以降の建築年代については、中央防災会議の手法に比べて、寒冷地の建物の耐震性がより高く評価された結果となった。



(a) 1960 年以前



(b) 1961-1980 年



(c) 1981 年以降

* CDMC:

Central Disaster Management Council
(中央防災会議)

normal : 普通地

cold : 極寒冷地

Fig. 3-19 全壊 (D4 以上) の震度と被害率との関係

(3) 北海道の過去の地震被害との比較

北海道の過去の地震における自治体単位の建物全半壊率および全壊率と、本論で構築した地域における被害率関数との関係を Fig. 3-20 に示す。D3 以上が全半壊，D4 以上が全壊の被害レベルに対応する。

1968 年十勝沖地震および 1982 年浦河沖地震における自治体単位の建物全半壊率および全壊率は，Fig. 2-X と同様に，鏡味ら³⁻¹¹⁾に拠るものである。1993 年釧路沖地震の震度は鏡味らによるアンケート震度調査の結果³⁻¹²⁾，2003 年十勝沖地震の震度は気象庁の計測震度を用いている。1993 年釧路沖地震及び 2003 年十勝沖地震の被害率は，北海道他の被害調査報告^{3-13), 3-14)}を基に推計した値である。

これらの地震は最大震度が 6 弱以下であり，建物被害率として 5% 以下の低い部分を示している。図に示す被害率関数は現時点における耐震評点分布を用いて推計した曲線であり，当時の老朽化の影響を十分に評価し切れておらず地震発生時点に比べ若干高い被害率を示している。また当時の被災地域の集落別建築年代割合が不明のため推定曲線と直接的比較は難しいが，ほぼ地震発生年以前の建築年代曲線群で囲まれる領域に被害市町村単位の点はプロットされており，評価精度において本研究の当初目的を充たしていると思われる。

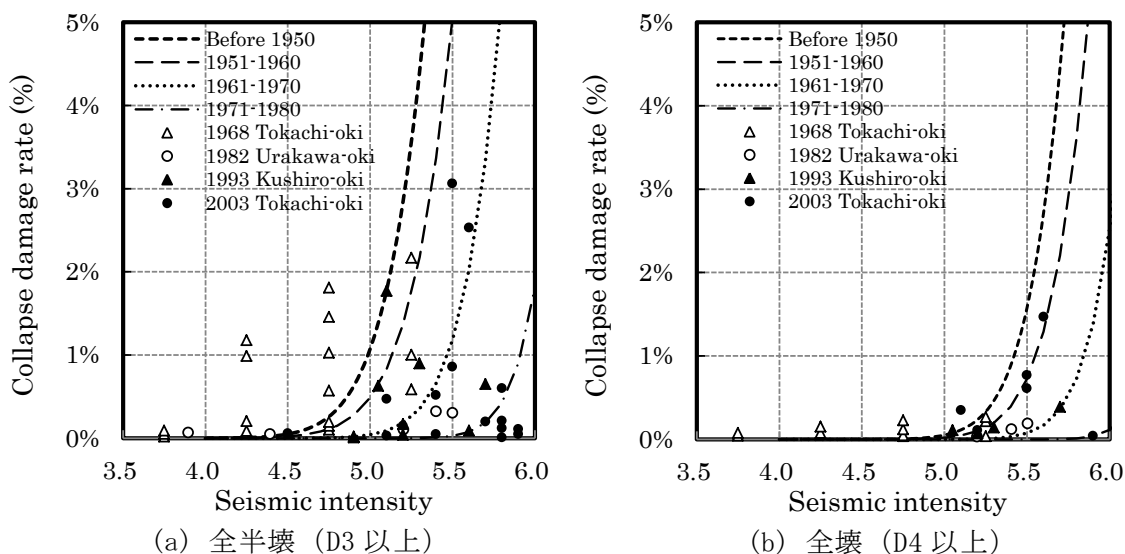


Fig. 3-20 過去の地震における自治体単位の建物被害率
と地域被害率関数との関係

3.6. 第3章のまとめ

第3章では、自治体レベルにおける地域の地震防災戦略検討の基礎となる建物リスクについて、予測手法の高度化を目的とし、木造建物群の被害の地域性及びその時代性を考慮した耐震評点分布を構築する手法、並びにそれに基づく被害率関数について論を展開した。

積雪寒冷地の建物仕様である北海道の堅牢な木造住宅を例に、過去の地震被害データや全国の診断データを用いて耐震評点分布を補完することで、より高精度な被害率関数の構築方法を示し得た。その方法の主たる要点は以下にまとめられる。

- (1) 旧精密診断に対応した既往の損傷度関数を、2004年版診断の結果に適合するように、全国調査が行われている木耐協の実施した診断結果を用いて見直しを行った。
- (2) 耐震診断データの少ない建築年代における耐震評点分布の推定方法として、建築年代に近い時期に発生し、被害の大きい地震の被害率から損傷度関数を基に耐震評点分布を推定する方法を提案した。
- (3) また、全国的に多数の調査が行われている木耐協の診断結果を事前分布、件数の少ない地域のデータを尤度関数としたベイズ更新から耐震評点分布を推定する方法を示した。
- (4) 時代性を考慮した築年別の耐震評点は、建築時点での耐震性を評価したものである。現存する築年の古い建物は経年劣化が進んでいる可能性があり、現時点での地震被害予測にはその影響も加味する必要がある、その方法を提示した。
- (5) 以上の構築した木造住宅の耐震評点の地域分布をもとに、個別建物の損傷度関数を利用して、木造建物群の地域被害率関数を構築した。

一般の被害予測によく用いられる過去の地震被害情報を基に算出する被害率関数は、用いた被害情報の被災地域の地域性を色濃く反映しているものであり、当該地域への適用可能性について本来はより慎重になるべきである。この方法で当該地域の被害率関数を求めようとする場合、当該地域の多量の被害データが必須となり、事実上精度向上は見込みにくいが、本論における被害率関数の構築方法は一般性が高く、木耐協の耐震評点分布を利用することで多くの地域について関数の構築が可能である。また、ここで提案した診断件数の少ない建築年代において耐震評点分布を推定する方法は、北海道以外の他地域においてもそれぞれの事情に合わせ十分に応用が可能な汎用的な方法である。

また本方法によって導出された北海道の木造建物の耐震性について、以下の見解を得た。

- (1) 北海道における震度と被害率との経年変化から時代の経過と共に、同じ震度でも木造住宅の被害率が小さくなっている。建築基準法の改正に伴う壁量規定の見直しに加え、構造仕様の変遷に歩調を合わせた住宅は耐震性が強化されてきた。
- (2) 推定した北海道の耐震評点分布は、全国的なデータを含む木耐協の分布と比べ、1950年以前の建築年代では評点分布の平均値などはほぼ同じで、全国で同種の木造建築物が普及していたと考えられる。1960年以降では北海道は全国平均の1.4～1.7倍程度耐震性が高くなっている。また北海道の評点分布の標準偏差が大きく、耐震性に関する多様性が全国平均よりも大きく、それは主として外壁構法の多様性によっているものと推察できる。

第4章 調査結果に基づいた被害率関数の更新

4.1. はじめに

第3章で構築した木造建物群の地震被害率関数は、現在入手しうるデータに基づいて構築されたものである。一方で、今後の大規模地震の発生や、新規の耐震診断結果の入手など、被害率関数に影響する新たなデータを入手する機会があると考えられる。こうした際に新規データを取り込み、耐震評点分布や被害率関数を逐次更新していくことが、関数の評価精度を向上させるために重要である。

第4章では、2018年9月に発生した北海道胆振東部地震の被害調査結果を利用して、3章で構築した耐震評点分布や被害率関数を更新する方法を提案する。

まず胆振東部地震を対象に3章の関数を用いて市町村単位の建物被害棟数を被害想定する。また、自治体で利用されている中央防災会議の関数と想定結果を比較する。

次に3章で構築した北海道の耐震評点分布を事前分布とし、胆振東部地震の実被害をもとに推計した評点分布を尤度関数としたベイズ更新を行い、胆振東部地震の被害情報を考慮した評点分布を作成する。ベイズ更新して作成した評点分布をもとに再構築した被害率関数を用いて、胆振東部地震の被害を再推定し、実被害と比較して評価精度を確認する。

4.2. 北海道胆振東部地震の震度と建物被害状況

4.2.1 地震の概況

2018年9月6日3時7分頃に発生した北海道胆振東部地震は、胆振地方中東部を震源地として、深さ37kmでマグニチュード6.7の地震が発生し、厚真町で震度7を観測したほか、安平町・むかわ町で震度6強、札幌市東区、千歳市、日高町、平取町で震度6弱など北海道の広い範囲で震度6強～1が観測された（Fig. 4-1）⁴⁻¹⁾。

この地震により、人的被害は死者41人、重傷18人、中等傷8人、軽傷723人、建物被害は全壊1,524件、半壊2,557件、一部損壊12,116件が報告されている（11月9日17時00分現在、北海道総務部危機対策局危機対策課⁴⁻²⁾による）。

4.2.2 人的被害の概況

この地震による死者数は41人（11月9日17時時点）であり、1993年の北海道南西沖地震（死者数201人）に次ぐ被害となった。内訳をみると、札幌市1人、苫小牧市2人、厚真町36人、むかわ町1人、新ひだか町1人である⁴⁻²⁾。被害内容は、厚真町における土砂崩れによるものが最も多い。その他の理由は、本やタンスなど家財の転倒・落下による下敷き、居室内での転倒などによるものである。揺れによる建物倒壊による死者発生はみられなかった。

4.2.3 建物被害の概況

この地震による住家被害は全壊431棟、半壊1,385棟、一部損壊8,706棟となった（11月9日17時時点）⁴⁻²⁾。住家の全半壊棟数の内訳をみると、石狩管内が札幌市638棟、江別市19棟、千歳市2棟、北広島市35棟、渡島管内が函館市1棟、空知管内が由仁町1棟、胆振管内が苫小牧市1棟、登別市1棟、厚真町496棟、安平町424棟、むかわ町138棟、日高管内が日高町56棟、平取町3棟である（Fig. 4-2, Table 4-1）。被害内容は、揺れによる住宅倒壊に加えて、札幌市里塚地区や清田地区等では液状化や地盤変状による被害、北広島市大曲地区の斜面崩壊に伴う被害、厚真町では土砂崩れによるものが多い⁴⁻³⁾。また、むかわ町鶴川地区では老朽化した店舗併用住宅の1層部分に傾斜や圧潰などの顕著な被害がみられた⁴⁻⁴⁾。

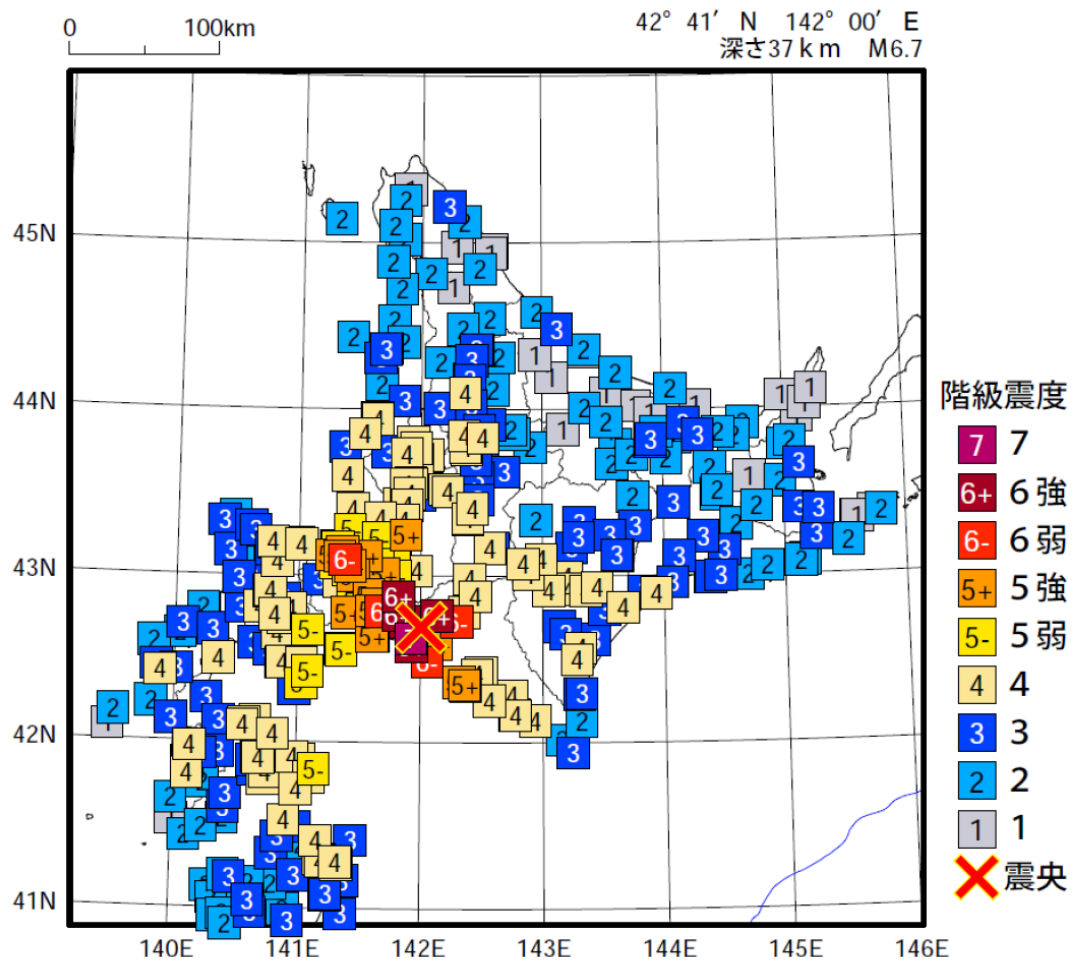


Fig. 4-1 北海道胆振東部地震の震度分布図（札幌管区气象台）⁴⁻¹⁾

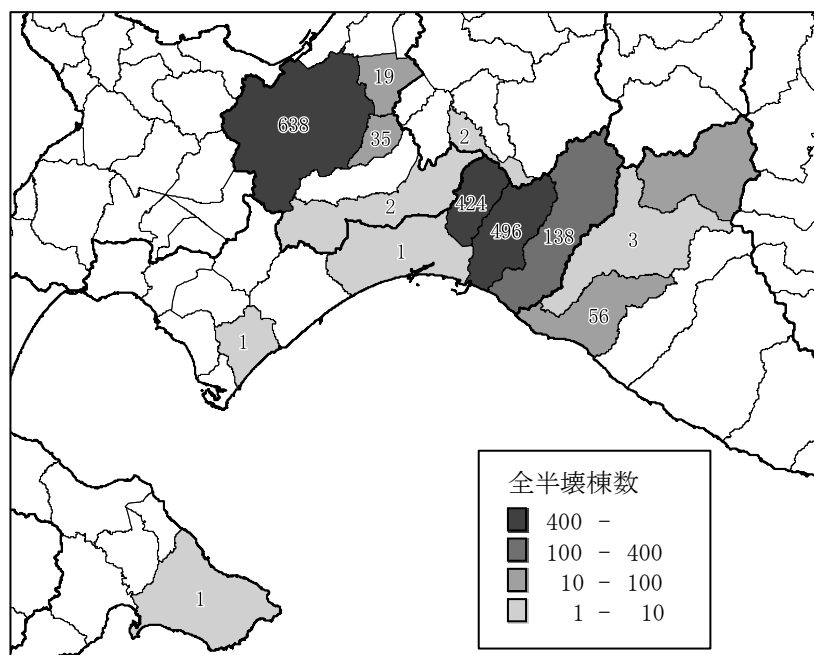


Fig. 4-2 北海道胆振東部地震の住家被害分布図
(11月9日17時時点，文献4-2)より作成)

Table 4-1 北海道胆振東部地震の建物被害(11月9日17時時点, 文献4-2)より作成)

振興局	市町村名	住家			非住家			計
		全壊	半壊	一部損壊	全壊	半壊	一部損壊	
石狩振興局	札幌市	84	554	3,485	6	21	161	4,311
	江別市	1	18	118	4	2	11	154
	千歳市	1	1	155	0	0	1	158
	恵庭市	0	0	6	0	0	0	6
	北広島市	17	18	169	0	0	0	204
	石狩市	0	0	4	0	0	4	8
渡島総合振興局	函館市	0	1	8	0	0	0	9
	七飯町	0	0	0	0	0	2	2
	森町	0	0	2	0	0	0	2
空知総合振興局	夕張市	0	0	2	0	0	0	2
	美唄市	0	0	4	0	0	0	4
	三笠市	0	0	14	0	0	0	14
	深川市	0	0	1	0	0	0	1
	南幌町	0	0	2	0	0	0	2
	由仁町	0	2	9	0	0	0	11
	長沼町	0	0	26	0	0	0	26
	栗山町	0	0	12	0	0	2	14
	沼田町	0	0	1	0	0	0	1
胆振総合振興局	室蘭市	0	0	31	0	0	0	31
	苫小牧市	0	1	115	0	0	8	124
	登別市	0	1	22	0	0	1	24
	白老町	0	0	3	0	0	0	3
	厚真町	207	289	755	631	550	741	3,173
	洞爺湖町	0	0	1	0	0	0	1
	安平町	92	332	2,385	340	548	2,149	5,846
	むかわ町	26	112	818	112	50	330	1,448
日高振興局	日高町	3	53	402	0	0	0	458
	平取町	0	3	120	0	1	0	124
	新ひだか町	0	0	35	0	0	0	35
十勝総合振興局	帯広市	0	0	1	0	0	0	1
北海道		431	1,385	8,706	1,093	1,172	3,410	16,197

4.3. 被害率関数による北海道胆振東部地震の被害推定

4.3.1 市町村単位の代表震度

胆振東部地震を対象に建物被害率関数を用いて木造住家の全半壊棟数を被害想定する。現段階で入手可能な被害データが市町村単位⁴⁻²⁾であることから、計算単位の基本を市町村単位とする。但し現在の179市町村境界は、市町村合併によって飛び地や広域な面積となった自治体が多いため、2003年以前の合併前の旧212市町村境界を基本とし、札幌市を区単位に分割した。合併前の旧221市区町村境界を計算単位とする。以下、旧221市区町村境界を「市町村単位」と呼称する。

胆振東部地震による入力地震動としては、震度観測点ごとの計測震度を用いる。震度観測点ごとの計測震度のデータとしては、札幌管区気象台による北海道の地震活動図（2018年9月1日～2018年9月30日）に掲載された計測震度⁴⁻¹⁾が利用できる。これは気象庁や地方公共団体、国立研究開発法人防災科学技術研究所などの観測点で観測された震度である。胆振東部地震における観測点ごとの計測震度の例をTable 4-2に、観測点の位置と気象庁震度をFig. 4-3に示す。

市町村単位ごとに複数の地震観測点がある場合、気象庁の観測点の計測震度を代表震度とした。気象庁の観測点がない場合、他所管の観測点の震度を採用した。該当観測点が複数箇所ある場合は平均値を採用した。採用した市町村単位の代表震度をFig. 4-4に示す。代表震度は厚真町6.5、早来町6.4(現安平町早来地区)、追分町6.4(現安平町追分地区)、鵒川町6.4(現むかわ町鵒川地区)、穂別町6.1(現むかわ町穂別地区)、札幌市東区5.9、門別町5.6(現日高町門別地区)のように設定される。

Table 4-2 地震観測点ごとの計測震度の例

地方	観測点	気象庁震度	計測震度	震度観測点名	所属
胆振地方	厚真町鹿沼	震度7	6.5	厚真町鹿沼	気象庁
胆振地方	厚真町京町*	震度6強	6	厚真町京町	北海道
胆振地方	安平町早来北進*	震度6強	6.4	安平町早来北進	防災科研
胆振地方	安平町追分柏が丘*	震度6強	6.4	安平町追分柏が丘	防災科研
胆振地方	むかわ町松風*	震度6強	6.4	むかわ町松風	防災科研
胆振地方	むかわ町穂別*	震度6強	6.1	むかわ町穂別	防災科研
胆振地方	苫小牧市旭町*	震度5強	5.2	苫小牧市旭町	防災科研
胆振地方	胆振伊達市大滝区本町*	震度5弱	4.6	胆振伊達市大滝区本町	防災科研
胆振地方	室蘭市寿町*	震度5弱	4.5	室蘭市寿町	防災科研
胆振地方	苫小牧市末広町	震度5弱	4.9	苫小牧市末広町	気象庁
胆振地方	登別市桜木町*	震度5弱	4.9	登別市桜木町	防災科研
胆振地方	白老町大町	震度5弱	4.7	白老町大町	気象庁
胆振地方	白老町緑丘*	震度5弱	4.5	白老町緑丘	防災科研
胆振地方	胆振伊達市梅本	震度4	4	胆振伊達市梅本	気象庁
胆振地方	胆振伊達市末永町*	震度4	3.9	胆振伊達市末永町	防災科研
胆振地方	壮瞥町滝之町*	震度4	3.6	壮瞥町滝之町	防災科研
胆振地方	洞爺湖町洞爺町*	震度4	3.6	洞爺湖町洞爺町	北海道
胆振地方	登別市鉾山	震度4	4	登別市鉾山	気象庁
胆振地方	豊浦町大岸*	震度3	2.9	豊浦町大岸	防災科研
胆振地方	洞爺湖町栄町*	震度3	3.2	洞爺湖町栄町	北海道
胆振地方	室蘭市山手町	震度3	3.3	室蘭市山手町	気象庁
石狩地方	札幌東区元町*	震度6弱	5.9	札幌東区元町	札幌市

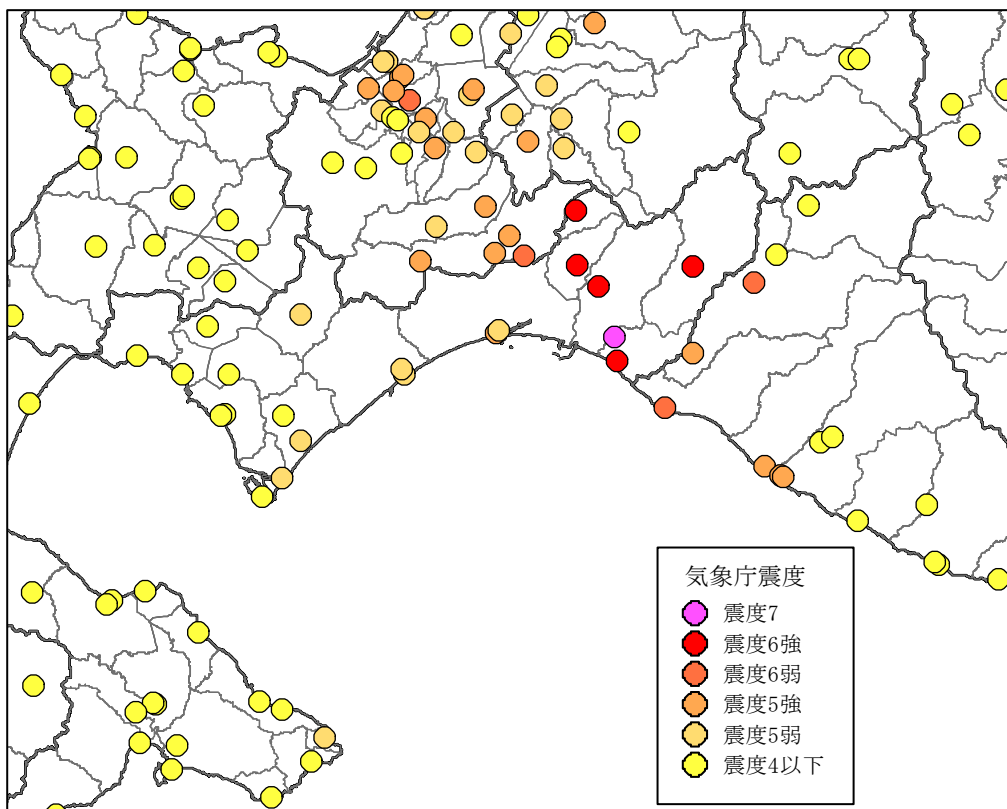


Fig. 4-3 震度観測点の気象庁震度

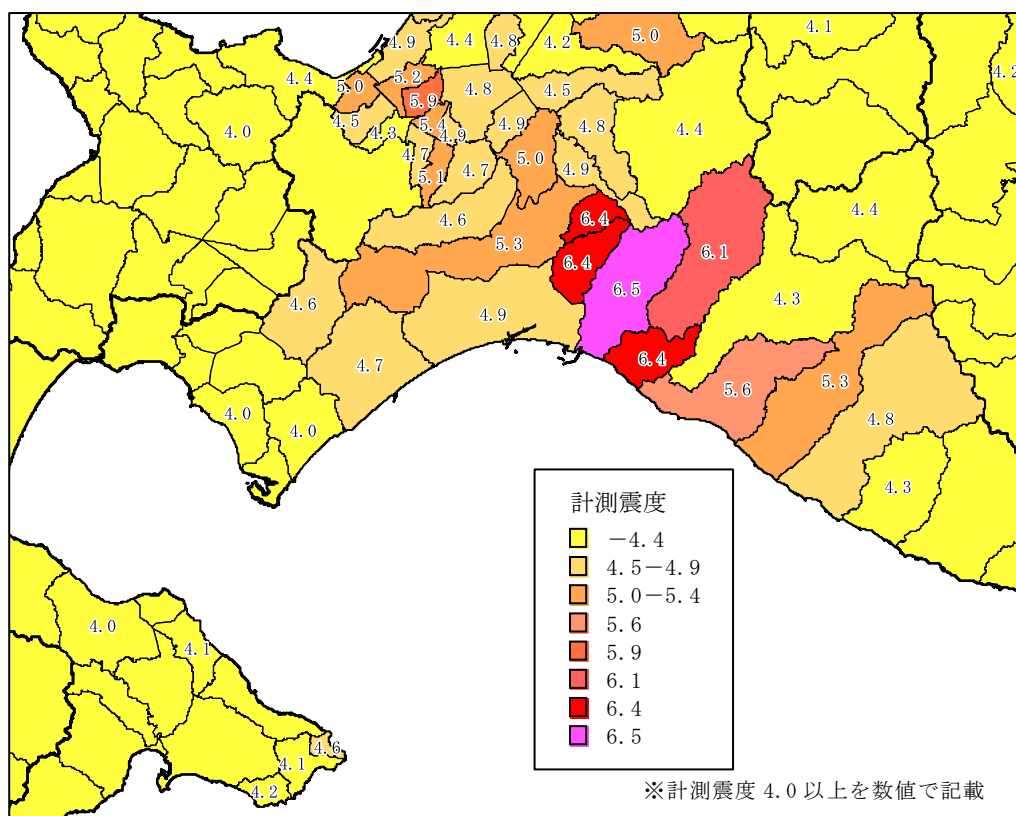


Fig. 4-4 市町村単位での代表震度

4.3.2 市町村単位の建物数

被害想定を行うための市町村単位の建築年代別の棟数として、北海道総務部危機対策局危機対策課が地震被害想定のために収集した用途別（住家，非住家），構造別（木造，非木造）・建築年代別の建物データを利用する⁴⁻⁵⁾。

これは、2012 年から 2015 年までの間に収集された、自治体の固定資産税台帳をベースに集計された建物データである。建物データの建築年代は「1960 年以前」，「1961-1970 年」，「1971-1980 年」，「1981-2000 年」，「2001 年以降」の 5 区分である。3 章で構築した被害率関数の 7 区分に合わせるため、平成 25 年度住宅・土地統計調査のデータ⁴⁻⁶⁾を用いて市町村ごとの案分比を推定し、「1960 年以前」を「1950 年以前」と「1951-1960 年」とに、「1981-2000 年」を「1981-1990 年」と「1991-2000 年」とにそれぞれ案分した^{注 4-1)}。

市町村単位の「①1950 年以前」，「②1951-1960 年」，「③1961-1970 年」，「④1971-1980 年」，「⑤1981-1990 年」，「⑥1991-2000 年」，「⑦2001 年以降」の 7 区分の建築年代別の木造住家数のデータを構築した。建築年代別の木造住家数の分布を Fig. 4-5 に、データの例を Table 4-3 に示す。

構築した建物データをもとに代表震度が 6 弱以上となった市町村単位の木造住家の建築年代別割合を Fig. 4-6 に示す。

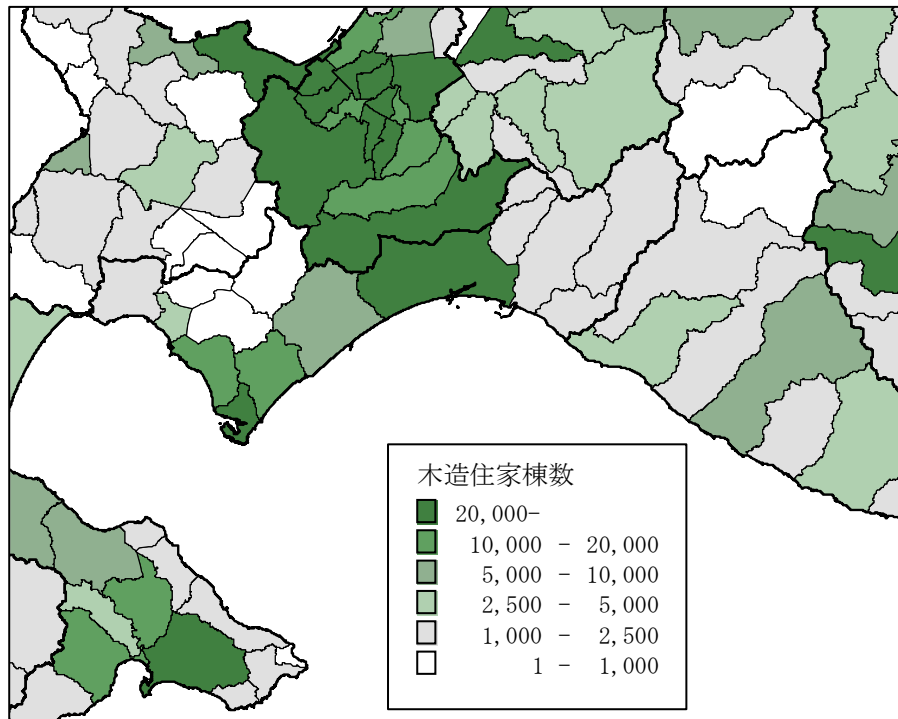


Fig. 4-5 木造住家棟数

Table 4-3 建築年代別の木造住宅数のデータの推計例

num	ADDR2	震度	木造_① 1950年以前	木造_② 1951年- 1960年	木造_③ 1961年- 1970年	木造_④ 1971年- 1980年	木造_⑤ 1981年- 1990年	木造_⑥ 1991年- 2000年	木造_⑦ 2001年以降
173	早来町	6.4	60	60	207	430	291	286	225
174	追分町	6.4	60	59	129	417	270	265	208
176	鶴川町	6.4	87	86	332	734	319	314	157
177	穂別町	6.1	104	102	189	433	219	215	60
3	札幌市東区	5.9	1,125	1,168	4,663	10,405	10,289	8,468	6,778
180	門別町	5.6	256	251	564	1,166	726	713	538
4	札幌市白石区	5.4	1,105	1,147	3,803	6,942	6,529	5,373	4,129
12	千歳市	5.4	299	294	1,445	5,037	5,006	5,416	5,105
181	新冠町	5.3	93	92	252	651	438	430	277
2	札幌市北区	5.2	893	927	5,469	14,278	14,172	11,663	9,851
9	札幌市手稲区	5.0	412	428	1,399	8,353	9,209	7,578	5,402
72	三笠市	5.0	241	238	520	754	479	469	181
83	長沼町	5.0	210	206	464	908	613	602	542
8	札幌市厚別区	4.9	220	229	750	4,226	5,539	4,559	2,873
15	石狩市	4.9	67	66	496	4,360	3,561	3,724	2,934
79	南幌町	4.9	82	80	176	501	909	893	226
82	由仁町	4.9	229	225	341	477	258	253	227
164	苫小牧市	4.9	418	411	3,474	10,464	10,313	11,924	7,967
11	江別市	4.8	228	224	1,894	6,273	6,937	7,940	5,184
17	新篠津村	4.8	31	30	153	337	171	167	117
18	厚田村	4.8	77	76	132	213	224	234	144
84	栗山町	4.8	375	370	648	1,188	829	815	520
182	静内町	4.8	179	176	793	1,935	1,274	881	767
5	札幌市豊平区	4.7	995	1,033	3,094	8,815	5,635	4,637	4,009
172	白老町	4.7	108	107	885	2,542	1,786	1,834	645
13	恵庭市	4.6	171	168	1,353	3,283	4,421	4,329	3,634
30	樺法華村	4.6	44	44	115	176	62	61	18
170	大滝村	4.6	31	30	23	75	71	72	24

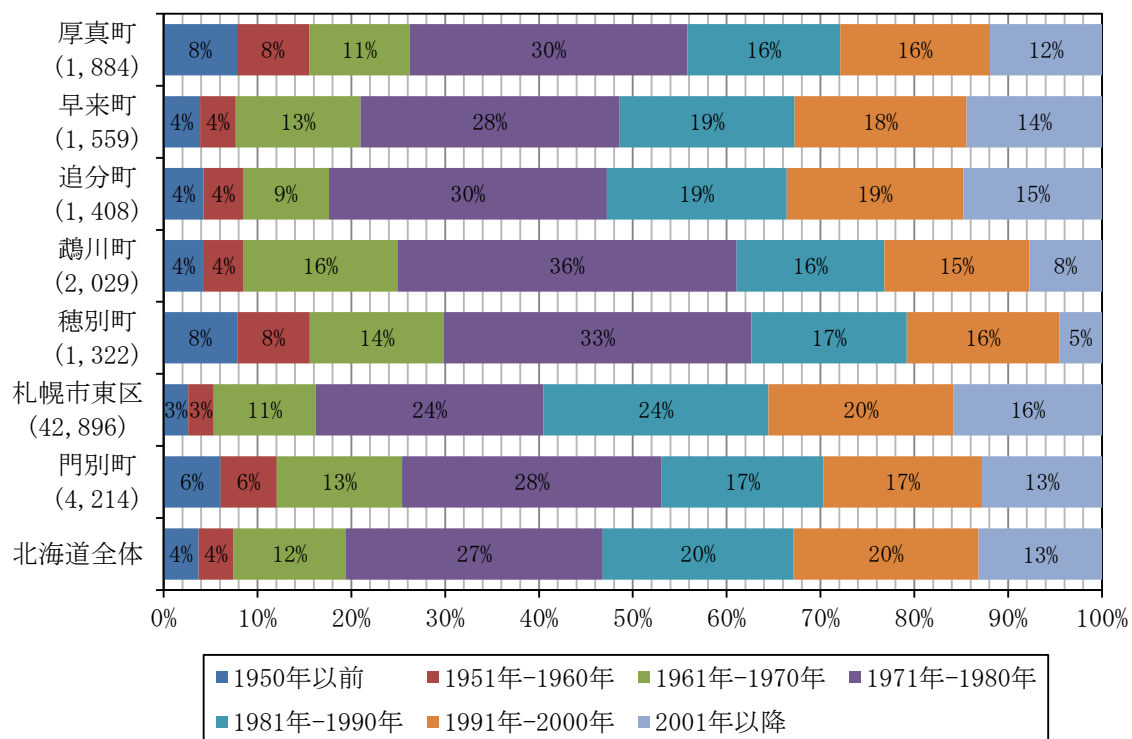


Fig. 4-6 木造住家の建築年代別割合（震度 6 弱以上の市町村単位）

4.3.3 木造建物の被害棟数の予測手法

胆振東部地震を対象とした建物被害棟数を被害想定する被害率関数として、3章で構築したの関数に加えて、比較のために中央防災会議の手法⁴⁻⁷⁾、⁴⁻¹¹⁾ および北海道の地震被害想定⁴⁻²⁾の手法を利用する。

以下に被害率関数の概要を示す。

(1) 中央防災会議（2006）の被害率関数

中央防災会議・日本海溝・千島海溝周辺型地震に関する専門調査会⁴⁻⁷⁾で示された被害率関数（以下、「中央防災会議(2006)」と言う。）である。三陸沖北部の地震や十勝沖・釧路沖の地震、根室沖・釧路沖の地震などの日本海溝・千島海溝周辺型地震の被害想定に用いられ、地震防災戦略の検討に活用されたものである。

木造建物の被害率関数は、1961年以前、1962-1981年、1982年以降の3区分の建築年代に分けて正規分布で表される。阪神・淡路大震災における西宮市、鳥取県西部地震における鳥取市、芸予地震における呉市など複数の過去地震資料をもとに構築されている。

全壊率の関数については、それまでの東海地震⁴⁻⁸⁾や首都直下地震⁴⁻⁹⁾を対象とした関数と異なり、鈴木・後藤(1995)⁴⁻¹⁰⁾の木造建物の地震被害や耐震性能の比較調査結果から、地域を三区分（極寒冷地、寒冷地、普通地）に分けて被害率関数を設定している。ここで極寒冷地は北海道、寒冷地は東北、北陸、近畿、中国地方などの13県、普通地は寒冷地、極寒冷地を除いた都府県としている。東海地震や首都直下地震で利用されている普通地の関数は全国平均的な関数であり、極寒冷地の関数は北海道の寒冷地の耐震性を考慮した関数である。但し、中央防災会議（2006）において全半壊棟数の被害率関数は、普通地と共通のものであり、寒冷地・極寒冷地を対象とした関数は用意されていない。

本論文では、3章で構築した関数との比較のため、全国平均の普通地の関数および極寒冷地の被害率関数を用いて、建物被害棟数を推定する。

中央防災会議(2006)の普通地の全壊棟数の被害率関数をFig. 4-7に、極寒冷地の被害率関数をFig. 4-8にそれぞれ示す。全半壊棟数の被害率関数をFig. 4-9に示す。

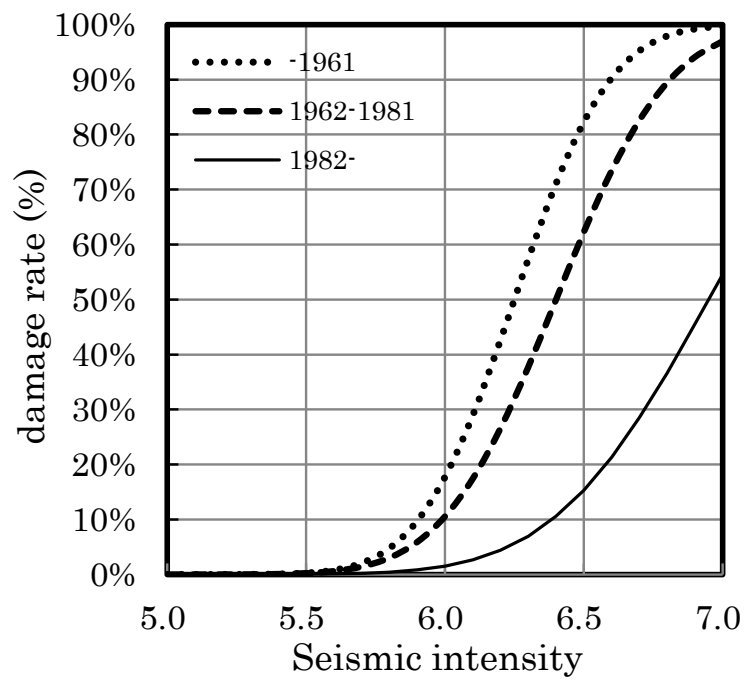


Fig. 4-7 震度と全壊率との関係（普通地・無積雪期）

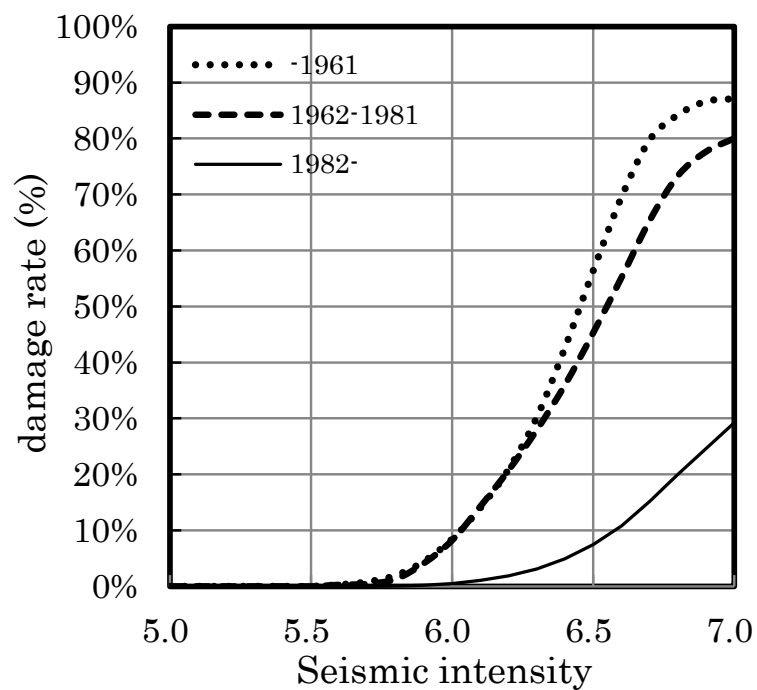


Fig. 4-8 震度と全壊率との関係（極寒冷地・無積雪期）

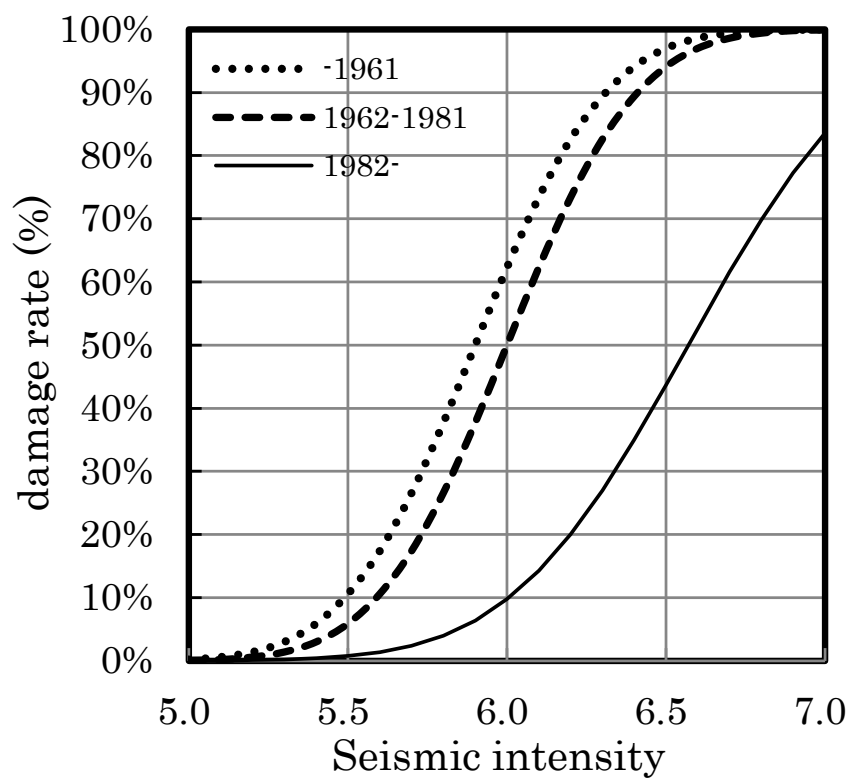


Fig. 4-9 震度と全半壊率との関係（全国共通・季節設定なし）

(2) 中央防災会議（2012）の被害率関数

中央防災会議・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループは、東北地方太平洋沖地震や近年の地震の被害傾向から被害率関数の見直しを検討した⁴⁻¹¹⁾。中央防災会議(2006)の寒冷地の被害率に比べて、東北地方太平洋沖地震の調査結果は同一震度における被害率が小さい傾向が見られるが、これらは地震動の周期特性の違いや気候による建物の腐朽や経年劣化等の違いと捉えて、全国版の関数は従来型の手法を基本とすることとしている。また最近の被害調査から、新しい築年の建物ほど被害が小さい傾向が見られることを踏まえ、木造建物の新築年の年次区分を「1981-1989 年」と「1990-2001 年」、「2002 年以降」の 3 区分に、中築年の年次区分を「1963-1971 年」、「1972-1980 年」の 2 区分に変更している。結果として木造建物の被害率関数は、「1962 年以前」、「1963-1971 年」、「1972-1980 年」、「1981-1989 年」、「1990-2001 年」、「2002 年以降」の 6 区分となった(以下、「中央防災会議(2012)」と言う)。

中央防災会議(2012)の全壊棟数の被害率関数を Fig. 4-10 に、全半壊棟数の被害率関数を Fig. 4-11 に示す。

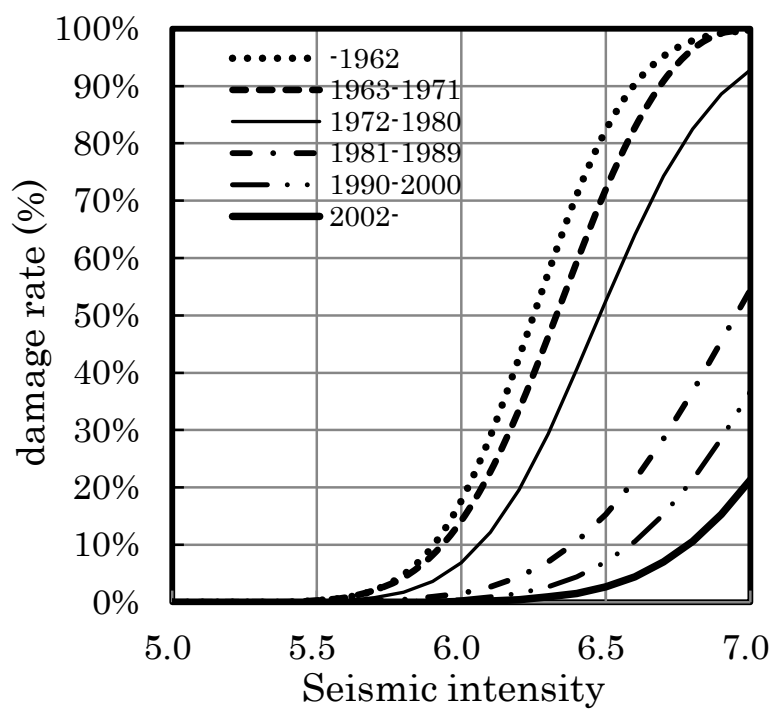


Fig. 4-10 震度と全壊率との関係

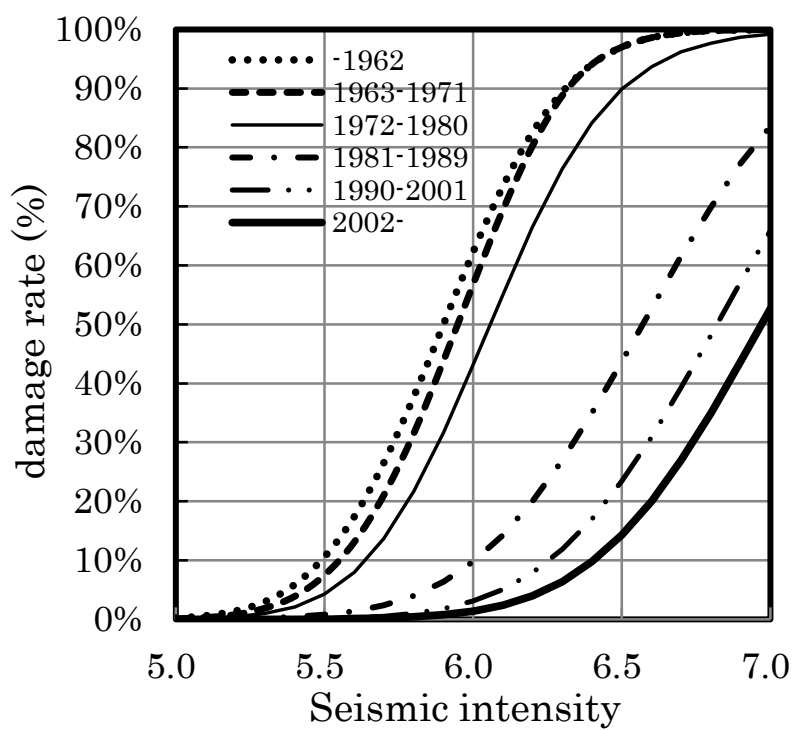


Fig. 4-11 震度と全半壊率との関係

(3) 北海道（2018）の被害率関数

北海道の地震被害想定⁴⁻²⁾の木造建物の被害率関数(以下,「北海道(2018)」と言う)を用いて,参考に建物被害を推定する。

3章で構築した関数と同様に,個別建物の損傷度関数をもとにして,北海道の建築年代別耐震評点分布を適用することで構築された木造建物群の被害率関数⁴⁻¹²⁾である。

「1971年以前」,「1972-1981年」,「1982年以降」の3つの建築年代からなる。耐震評点分布を確率密度分布モデル化するための「1971年以前」の診断件数が少なく,また1960年代以前の診断結果が含まれていないことから,1971年以前の関数の精度に検討の余地がある。

北海道(2018)の全壊棟数の被害率関数を Fig. 4-12 に,全半壊棟数の被害率関数を Fig. 4-13 に示す。

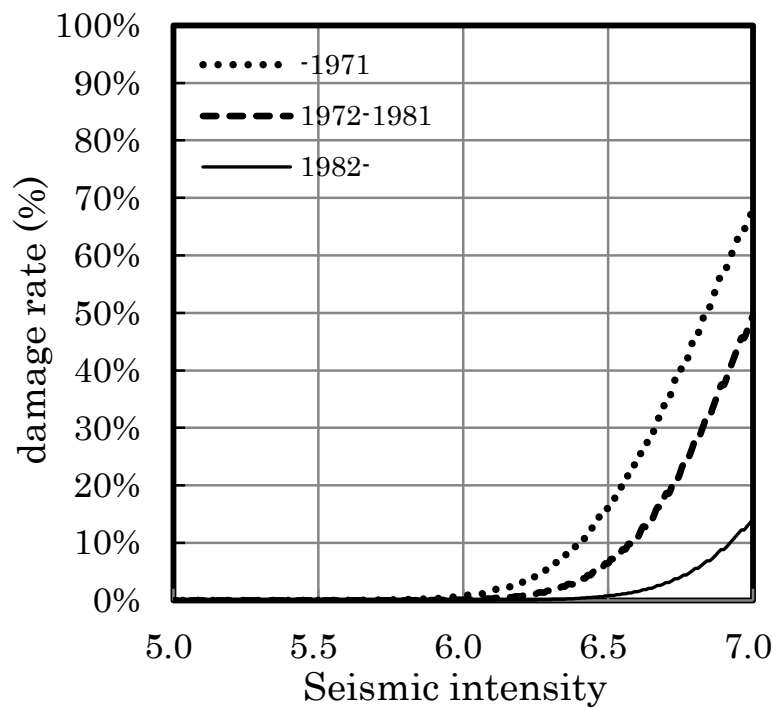


Fig. 4-12 震度と全壊率との関係（無積雪期）

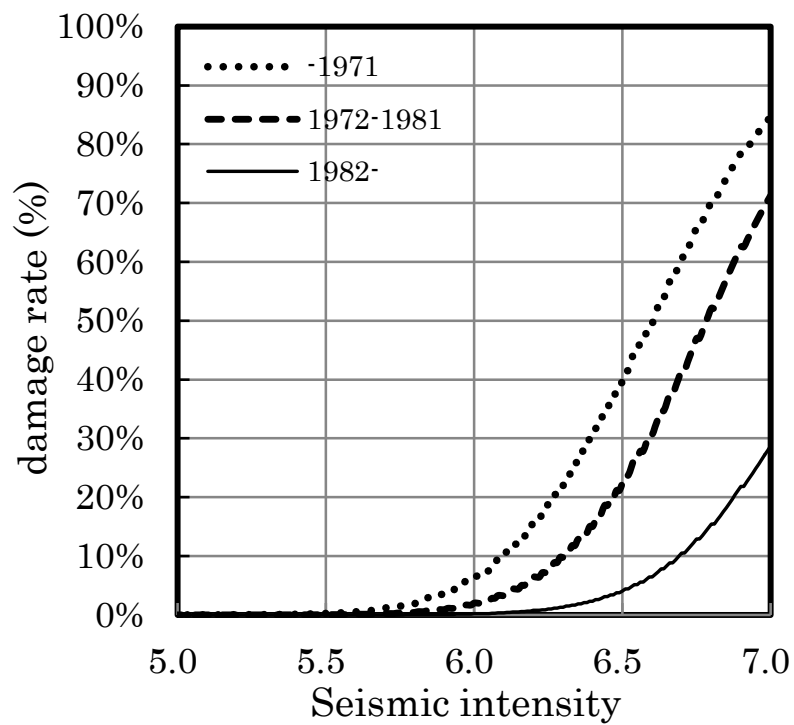


Fig. 4-13 震度と全半壊率との関係（無積雪期）

4.3.4 木造建物の被害棟数の予測結果

4.3.1 で構築した胆振東部地震における市町村単位の計測震度と、4.3.2 で構築した市町村単位の建築年代別の木造住家棟数のデータを利用し、①3章で構築した本論文の被害率関数、②中央防災会議（2006）の普通地の関数、③中央防災会議（2006）の極寒冷地の関数、④中央防災会議（2012）の関数、⑤北海道（2018）の関数を用いて、全壊棟数、全半壊棟数を推定する。

札幌市や北広島市の全壊建物は液状化や地盤変状、斜面崩壊に伴う被害がほとんどであり、厚真町は土砂崩れによる建物被害が多い。このことから被害想定結果と比較する胆振東部地震における実被害数として、(a)道から報告されている全被害数、(b)液状化や地盤変状が主要因である札幌市・北広島市の被害数を除き、厚真町に振動被害がないと想定した場合の被害数、(c)札幌市・北広島市の被害数を除き、厚真町の実被害の4～6割程度に揺れによる倒壊があると想定した場合の被害数を用いた。

北海道全体を推定した結果を Table 4-4 に示す。(a)全市町村の被害集計とした場合、本論文の被害率関数による推定結果は、胆振東部地震における住家の実被害（全壊 431、全半壊 1,816）と比べて、全壊が 2.04 倍、全半壊が 1.49 倍となった。(b)札幌市・北広島市・厚真町の被害数を除いた場合、実被害（全壊 123、全半壊 647）と比べて、全壊が 3.12 倍、全半壊が 1.59 倍となった。全半壊棟数は、いずれも実被害に近い値をとった。

(c) 札幌市・北広島市を除き、厚真町の4～6割程度が振動被害と想定した場合、本論文推定結果は実被害と比べて、全壊が 2.45～2.94 倍、全半壊が 1.55～1.74 倍となった。

一方、全国平均と考えられる中央防災会議（2006）の普通地の関数では、全壊が 11.0～13.2 倍、全半壊が 6.05～6.76 倍、同じく全国を対象とした中央防災会議（2012）の関数は全壊が 9.71～11.7 倍、全半壊が 5.39～6.02 倍となった。2006 普通地と 2012 の関数はほぼ同様の傾向となり、全半壊が 5～7 倍程度とかなり大きい推定結果となった。

北海道を対象とする中央防災会議（2006）の極寒冷地の関数は、全壊が 7.28～8.75 倍となった。普通地の推定結果の3分の2程度に低減されたが、それでも実被害に比べて大きい結果となった。極寒冷地の半壊は対応する関数がないため、全半壊の比較はできない。耐震評点分布によって地域性を考慮した北海道（2018）の関数では、全壊が 1.19～1.42 倍、全半壊が 1.09～1.21 倍と実被害に最も近い値となった。

3章で構築した関数は、2012 や 2006 普通地の手法に比べて、このままでも本邦の標準関数に比較して精度が高いことがわかる。また北海道を対象とする中央防災会議（2006）の極寒冷地と比較しても精度が高い。

建物被害の多かった安平町、むかわ町、厚真町（振動被害が4～6割程度と仮定）について、同様に比較した結果を Table 4-5～7 に示す。安平町や厚真町の実被害比は、北海道全体と同じ傾向となった。一方、むかわ町の全半壊棟数の実被害比は最大 15 倍となった。今回設定した代表震度や年代別の建物棟数が実情と大きく異なるか、あるいは、むかわ町の今回

の地震による建物被害は、狭い地域の中で老朽化した店舗併用住宅が集中して倒壊していることから、脆弱な建物の集中や地形・地盤などのより狭い範囲の地理的な要因の影響なども考えられる。

現段階で被害数を比較する前提条件として、実被害は住家被害の集計結果であって非木造の建物被害を含んでいる可能性があること、札幌市・北広島市は液状化や地盤変状による建物被害が、厚真町に土砂崩れによる建物被害が多く含まれているが、振動による倒壊の建物についても含まれている可能性があることに注意されたい。

今後の調査の進捗による実被害数の変化、揺れによる倒壊数とそれ以外の要因の倒壊数の分離、町丁目や字など地域単位の被害棟数や地震動入力が得られたならば、実被害比は変わる可能性が高い。今後の継続的な分析や検討が必要だろう。

Table 4-4 北海道全体の木造建物の被害棟数の予測結果

(a) 全市町村の被害集計

	住家被害棟数			実被害比=被害想定数/実被害数		
	全壊	半壊	全半壊	全壊	半壊	全半壊
胆振東部地震(11月9日時点)	431	1,385	1,816	—	—	—
①本論文(3章の構築関数)	878	1,824	2,702	2.04	1.32	1.49
②中央防災会議(2006)普通地	4,057	10,783	14,840	9.41	7.79	8.17
③中央防災会議(2006)極寒冷地	2,577	12,263	14,840	5.98	8.85	8.17
④中央防災会議(2012)	3,489	9,535	13,025	8.10	6.88	7.17
⑤北海道(2018)	324	1,065	1,389	0.75	0.77	0.76

(b) 札幌市・北広島市を除き、厚真町の振動被害がない場合の被害集計

	住家被害棟数			実被害比=被害想定数/実被害数		
	全壊	半壊	全半壊	全壊	半壊	全半壊
胆振東部地震(11月9日時点)	123	524	647	—	—	—
①本論文(3章の構築関数)	383	645	1,029	3.12	1.23	1.59
②中央防災会議(2006)普通地	1,868	2,484	4,352	15.19	4.74	6.73
③中央防災会議(2006)極寒冷地	1,230	3,122	4,352	10.00	5.96	6.73
④中央防災会議(2012)	1,648	2,222	3,870	13.40	4.24	5.98
⑤北海道(2018)	172	507	678	1.40	0.97	1.05

(c) 札幌市・北広島市を除き、厚真町の振動被害が4～6割程度の場合の被害集計

	住家被害棟数			実被害比=被害想定数/実被害数		
	全壊	半壊	全半壊	全壊	半壊	全半壊
胆振東部地震(11月9日時点)	206 ～247	640 ～697	845 ～945	—	—	—
①本論文(3章の構築関数)	605	864	1,469	2.45 ～2.94	1.24 ～1.35	1.55 ～1.74
②中央防災会議(2006)普通地	2,709	3,005	5,714	10.96 ～13.16	4.31 ～4.70	6.05 ～6.76
③中央防災会議(2006)極寒冷地	1,801	3,914	5,714	7.28 ～8.75	5.61 ～6.12	6.05 ～6.76
④中央防災会議(2012)	2,401	2,687	5,087	9.71 ～11.66	3.85 ～4.20	5.39 ～6.02
⑤北海道(2018)	293	733	1,027	1.19 ～1.42	1.05 ～1.15	1.09 ～1.21

Table 4-5 安平町の木造建物の被害棟数の予測結果

	住家被害棟数			実被害比=被害想定数/実被害数		
	全壊	半壊	全半壊	全壊	半壊	全半壊
胆振東部地震(11月9日時点)	92	332	424	—	—	—
①本論文(3章の構築関数)	177	247	423	1.92	0.74	1.00
②中央防災会議(2006)普通地	925	899	1,823	10.05	2.71	4.30
③中央防災会議(2006)極寒冷地	604	1,220	1,823	6.56	3.67	4.30
④中央防災会議(2012)	804	783	1,587	8.73	2.36	3.74
⑤北海道(2018)	89	247	336	0.96	0.74	0.79

Table 4-6 むかわ町の木造建物の被害棟数の予測結果

	住家被害棟数			実被害比=被害想定数/実被害数		
	全壊	半壊	全半壊	全壊	半壊	全半壊
胆振東部地震(11月9日時点)	26	112	138	—	—	—
①本論文(3章の構築関数)	191	288	479	7.34	2.58	3.47
②中央防災会議(2006)普通地	921	1,081	2,002	35.41	9.65	14.50
③中央防災会議(2006)極寒冷地	619	1,382	2,002	23.82	12.34	14.50
④中央防災会議(2012)	831	1,007	1,838	31.98	8.99	13.32
⑤北海道(2018)	83	251	334	3.20	2.24	2.42

Table 4-7 厚真町の木造建物の被害棟数の予測結果(振動被害が4~6割の場合)

	住家被害棟数			実被害比=被害想定数/実被害数		
	全壊	半壊	全半壊	全壊	半壊	全半壊
胆振東部地震(11月9日時点)	149 ~314	636 ~812	785 ~1,126	—	—	—
①本論文(3章の構築関数)	605	864	1,469	1.93 ~4.06	1.06 ~1.36	1.30 ~1.87
②中央防災会議(2006)普通地	2,709	3,005	5,714	8.64 ~18.18	3.70 ~4.72	5.07 ~7.28
③中央防災会議(2006)極寒冷地	1,801	3,914	5,714	5.74 ~12.08	4.82 ~6.15	5.07 ~7.28
④中央防災会議(2012)	2,401	2,687	5,087	7.65 ~16.11	3.31 ~4.22	4.52 ~6.48
⑤北海道(2018)	293	733	1,027	0.93 ~1.97	0.90 ~1.15	0.91 ~1.31

4.4. 被害率関数の更新

4.4.1 被害率関数の更新方法

今後の大規模地震の被害調査結果を利用した、構築した耐震評点分布や被害率関数を更新する方法を検討する。大規模地震の被害調査結果として、4.2 に示した 11 月 9 日時点で報告されている胆振東部地震の被害調査結果を用いる。

まず、胆振東部地震で報告されている建物被害調査結果から住家の全壊率を計算し、3.4.3 で示した過去の地震被害に基づき耐震評点の地域分布を推定する方法を用いて、耐震評点分布を推計する。この評点分布は胆振東部地震で被害を受けた地域の住家群の耐震性能分布を表し、胆振東部地震における住家の被害状況を表す情報と考えることができる。

次に、胆振東部地震の住家被害状況に基づく評点分布を使い、北海道の耐震評点分布を補正することを考える。3.4.4 で用いたベイズ更新は、事前の調査結果に対して（事前分布）、新たに得られた情報（尤度関数）をもとに更新することにより、新たに得られた情報を考慮した結果（事後分布）を推定することができる。この方法を用いて、3 章で構築した北海道の耐震評点分布を事前分布とし、胆振東部地震の実被害をもとに推計した評点分布を尤度関数としたベイズ更新を行い、胆振東部地震の被害情報を考慮した評点分布を作成する。

被害情報を考慮した評点分布をもとに、3.2.2 に示した損傷度関数の地域被害評価への適用方法を用いて、北海道の被害率関数を再構築する。4.3 で設定した条件をもとに胆振東部地震の被害を再推定し、実被害と比較して評価精度を確認する。

4.4.2 被害調査結果に基づく耐震評点分布の推定

胆振東部地震による建物被害の発生状況⁴⁻²⁾や、本論で構築した関数による被害想定の結果(4.3)から、新耐震基準以降の建築年代は、被害がほとんどないと推測される。そのため、被害率関数(耐震評点分布)の更新は、1980年以前の建築年代を対象と想定する。また1971-1980年についても、十分な耐震診断件数に基づいて作成した耐震評点分布であることから、更新は行わないこととした。

ここでは、多くの被害が発生、あるいは予測される「1950年以前」、「1951-1960年」、「1961-1970年」の3つの建築年代を対象とした被害率関数(耐震評点分布)の更新を検討する。

(1) 被害調査結果に基づく建築年代別の被害率曲線の推定

① 被害地震の入力地震動

被害率の計算単位は、4.3の被害想定と同様に、合併前の旧221市区町村境界を計算単位とする。以下、旧221市区町村境界を「市町村単位」と呼称する。

胆振東部地震の入力地震動は、4.3.1で設定した市町村単位の代表震度とする。

② 建築年代別の建物棟数

建築年代別の建物棟数は、北海道が地震被害想定のために収集した、4.3.2で示した市町村単位の年代別棟数を利用する。

③ 建築年代別の建物被害数の推定

建築年代別の震度と全壊率を求めるためには、年代別の実被害棟数が必要となる。しかし、現在入手可能な胆振東部地震の調査結果は、179市町村単位の全年代の建物被害棟数である。

ここでは本章の目的である関数の更新方法の検討のために、179市町村単位の建物被害棟数をもとにして、旧221市区町村単位かつ7区分の年代別の住家全壊棟数のデータセットを推計によって用意した。

推計は、4.3.4の本論文の被害率関数で想定される、旧221市区町村単位的全壊棟数および、その内訳である年代別全壊棟数をもとに案分する方法とした。旧221市区町村単位的全壊棟数は、179市町村単位の実被害棟数を合併前の旧221市区町村単位の想定される全壊棟数の比で案分することで求めた。同様に年代別全壊棟数は、実被害棟数を想定される年代別全壊棟数の比で案分することで求めた。

札幌市の区ごとの全壊棟数は、市から 9 月 26 日に発表された区ごとの被害数⁴⁻¹³⁾の比を用いて、市単位の最新の被害棟数に案分して求めた。Table 4-8 に市町村単位、建築年代別の住家全壊棟数の推計結果の例を示す。

Table 4-8 市町村単位、建築年代別の住家全壊棟数の推計結果の例

num	ADDR2	震度	木造_全壊棟数_① 1950年以前	木造_全壊棟数_② 1951年-1960年	木造_全壊棟数_③ 1961年-1970年	木造_全壊棟数_④ 1971年-1980年	木造_全壊棟数_⑤ 1981年-1990年	木造_全壊棟数_⑥ 1991年-2000年	木造_全壊棟数_⑦ 2001年以降
173	早来町	6.4	14	9	18	8	1	0	0
174	追分町	6.4	14	9	11	7	0	0	0
176	鶴川町	6.4	5	4	7	3	0	0	0
177	穂別町	6.1	3	2	1	0	0	0	0
3	札幌市東区	5.9	0	0	0	0	0	0	0
180	門別町	5.6	2	1	0	0	0	0	0
4	札幌市白石区	5.4	1	1	0	0	0	0	0
12	千歳市	5.4	1	0	0	0	0	0	0
181	新冠町	5.3	0	0	0	0	0	0	0
2	札幌市北区	5.2	1	0	0	0	0	0	0
9	札幌市手稲区	5.0	0	0	0	0	0	0	0
72	三笠市	5.0	0	0	0	0	0	0	0
83	長沼町	5.0	0	0	0	0	0	0	0
8	札幌市厚別区	4.9	0	0	0	0	0	0	0
15	石狩市	4.9	0	0	0	0	0	0	0
79	南幌町	4.9	0	0	0	0	0	0	0
82	由仁町	4.9	0	0	0	0	0	0	0
164	苫小牧市	4.9	0	0	0	0	0	0	0
11	江別市	4.8	1	0	0	0	0	0	0
17	新篠津村	4.8	0	0	0	0	0	0	0
18	厚田村	4.8	0	0	0	0	0	0	0
84	栗山町	4.8	0	0	0	0	0	0	0
182	静内町	4.8	0	0	0	0	0	0	0
5	札幌市豊平区	4.7	4	2	0	0	0	0	0
172	白老町	4.7	0	0	0	0	0	0	0
13	恵庭市	4.6	0	0	0	0	0	0	0
30	樺法華村	4.6	0	0	0	0	0	0	0
170	大滝村	4.6	0	0	0	0	0	0	0

④ 建築年代別の震度と全壊率との関係の推定

市町村単位の代表震度、建物棟数、建築年代別の全壊棟数をもとに、建築年代別の震度と全壊率との関係（被害率曲線）を推定する。

同じ計測震度ごとに集計した全壊棟数と建物棟数をもとに全壊率を計算し、計測震度ごとに全壊率を図にプロットする。但し、揺れ以外の倒壊要因が多く含まれる札幌市清田区、北広島市、厚真町はプロットから外している。

震度と全壊率のプロットに、最小二乗法によって正規分布の確率分布関数にあてはめ、建築年代別の被害率曲線の平均 μ と標準偏差 σ を求める。

1950 年以前、1951-1960 年、1961-1970 年の震度と全壊率のプロットと、推定した住家群の被害率曲線を Fig. 4-14～16 に示す。Fig. 4-17 に被害調査結果に基づく建築年代別の被害率曲線をまとめて示す。

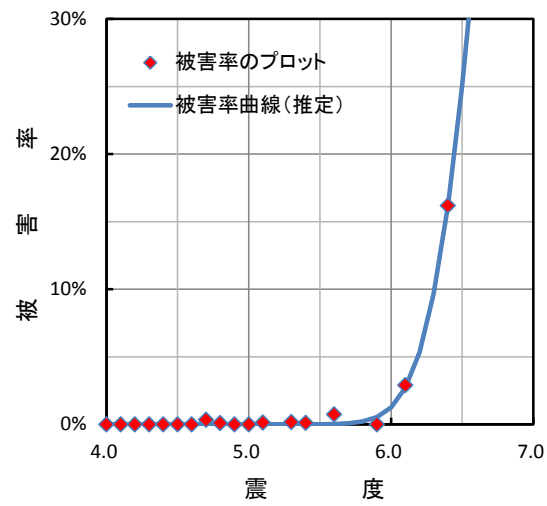


Fig. 4-14 1950 年以前の住家群の被害率曲線

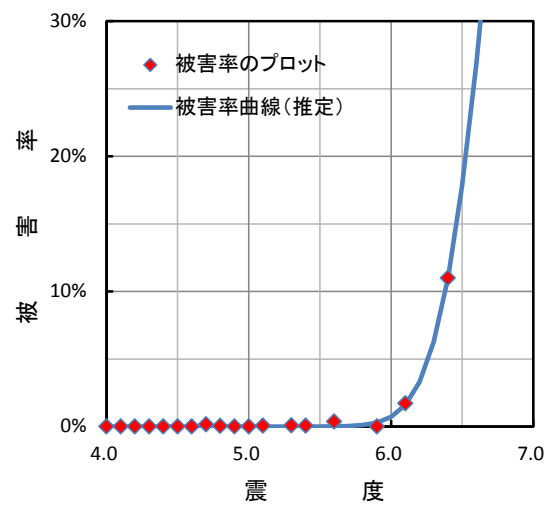


Fig. 4-15 1951-1960 年の住家群の被害率曲線

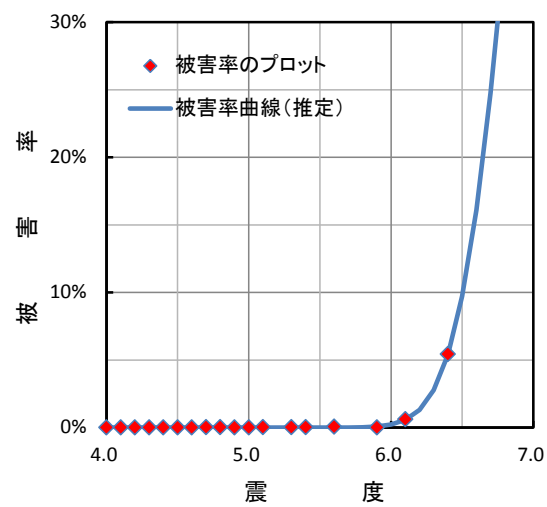
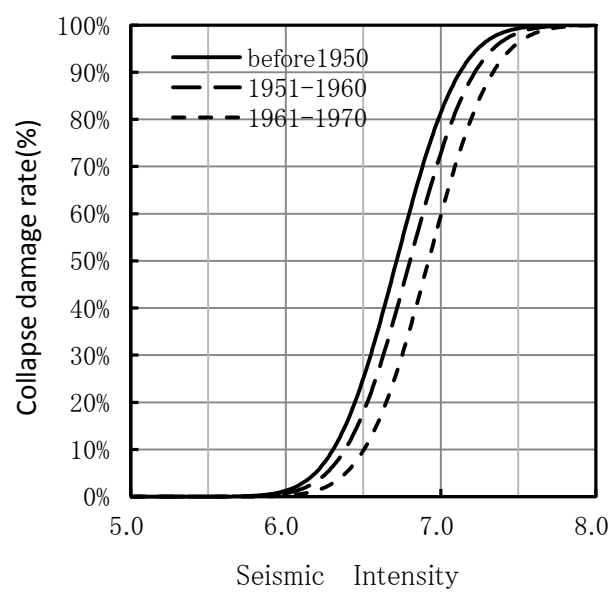


Fig. 4-16 1961 -1970 年の住家群の被害率曲線



	before1950	1951-1960	1961 -1970
μ	6. 71	6. 80	6. 92
σ	0. 32	0. 33	0. 32

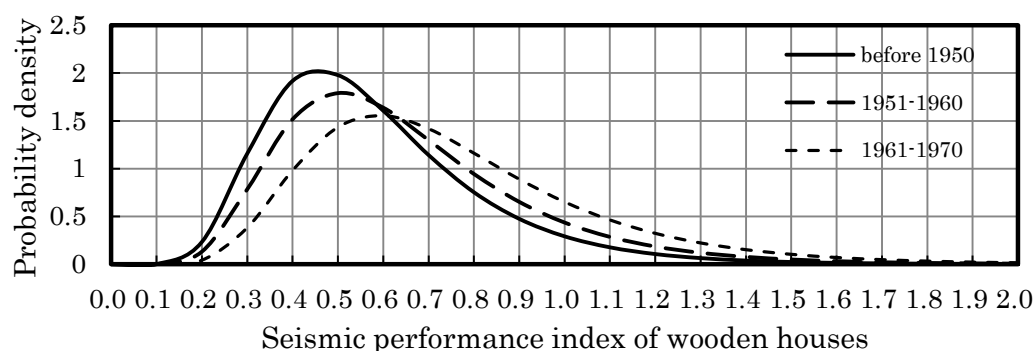
Fig. 4-17 胆振東部地震の被害調査結果に基づく住家群の被害率曲線

(2) 被害調査結果に基づく建築年代別の耐震評点分布の推定

3.4.3(3)の Fig. 3-8 に示した過去の地震被害情報を利用した耐震評点分布の構築方法を用いて、(1)で推定した胆振東部地震の被害調査結果に基づく住家の被害率曲線から、耐震評点分布を推定する。

Fig. 4-17 の被害率曲線（正規分布）から、損傷度関数を用いた逆計算を行い、耐震評点分布を表す対数正規分布の自然対数の平均 λ と標準偏差 ζ を求めた。

胆振東部地震の被害調査結果に基づく、1950 年以前、1951-1960 年、1961-1970 年の住家の耐震評点分布を Fig. 4-18 に示す。これらの評点分布が胆振東部地震で被害を受けた地域の住家群の耐震性能分布を表し、胆振東部地震における住家の被害状況を表すものとなる。



	before1950	1951-1960	1961 -1970
λ	-0.625	-0.518	-0.369
ζ	0.397	0.406	0.402

Fig. 4-18 胆振東部地震の被害調査結果に基づく住家群の耐震評点分布

4.4.3 北海道の耐震評点分布の更新

4.4.2 で推定した胆振東部地震の住家被害状況に基づく評点分布を使い，北海道の耐震評点分布を更新する。3.4.4 で用いたベイズ更新は，事前の調査結果（事前分布 $f'(\lambda)$ ）に対して，新たに得られた情報（尤度関数 $L(\lambda)$ ）をもとに更新することにより，新たに得られた情報を考慮した結果（事後分布 $f''(\lambda)$ ）を推定することができる。この方法を用いて，3章で構築した北海道の耐震評点分布を事前分布とし，胆振東部地震の実被害をもとに推計した評点分布を尤度関数としたベイズ更新を行い，胆振東部地震の被害情報を考慮した評点分布を作成する。

(1) 事前分布の作成

事前分布 $f'(\lambda)$ は正規分布(式(4-1))で表され，診断結果 I_w1 を基に，自然対数 $\lambda = \ln(I_w1)$ の平均 μ' と標準偏差 σ' が求められる。

3.5.1 で構築した北海道の木造建物群の建築年代別の耐震評点分布から，1950 年以前，1951-1960 年，1961-1970 年の μ' ， σ' を Table 4-9 に示す。

$$f'(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma'} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\lambda - \mu'}{\sigma'} \right)^2 \right] = N_{\lambda}(\mu', \sigma') \quad (4-1)$$

Table 4-9 事前分布 $f'(\lambda)$ の平均 μ' と標準偏差 σ'

	before1950	1951-1960	1961 -1970
μ'	-0.942	-0.720	-0.519
σ'	0.544	0.572	0.504

(2) 尤度関数の作成

尤度関数 $L(\lambda)$ は、 $\bar{x}$ 、 σ 、 n の正規分布（式(4-2)）で表される。

4.4.2 で推定した胆振東部地震の被害調査結果に基づく住家の耐震評点（ I_w2 ）の分布から、1950 年以前、1951-1960 年、1961-1970 年の平均 $\bar{x}$ と標準偏差 σ を Table 4-10 に示す。データ数は、被害率曲線を推定するために用いられた全壊率の計算される市町村数を参考に、 $n=10$ と設定した。

$$L(\lambda) = N_{\lambda} \left(\bar{x}, \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (4-2)$$

Table 4-10 尤度関数 $L(\lambda)$ の平均 $\bar{x}$ と標準偏差 σ

	before1950	1951-1960	1961 -1970
$\bar{x}$	-0.625	-0.518	-0.369
σ	0.397	0.406	0.402

(3) 事後分布 の作成

耐震評点分布の確率分布は，対数正規分布をとることから，事後分布 $f''(\lambda)$ は正規分布 $N_{\lambda}(\mu'', \sigma'')$ となる。

事後分布 $f''(\lambda)$ の平均 μ'' ，標準偏差 σ'' は，北海道の木造建物群の耐震評点分布 I_w1 の自然対数 λ の平均 μ' と標準偏差 σ' ，胆振東部地震の住家群の耐震評点分布 I_w2 の自然対数 λ の平均 $\bar{x}$ と標準偏差 σ ，データ個数 n を用いて式(4-3)，(4-4)によって計算される。1950 年以前，1951-1960 年，1961-1970 年の平均 μ'' と標準偏差 σ'' を Table 4-11 に示す。

$$\mu'' = \frac{\bar{x} \cdot (\sigma')^2 + \mu' \cdot (\sigma^2/n)}{(\sigma')^2 + (\sigma^2/n)} \quad (4-3)$$

$$\sigma'' = \sqrt{\frac{(\sigma')^2 \cdot (\sigma^2/n)}{(\sigma')^2 + (\sigma^2/n)}} \quad (4-4)$$

Table 4-11 事後分布 $f''(\lambda)$ の平均 μ'' と標準偏差 σ''

	before1950	1951-1960	1961 -1970
μ''	-0.641	-0.527	-0.378
σ''	0.122	0.125	0.123

(4) ベイズ更新による耐震評点分布の推定

(3)で求めた事後分布 $f''(\lambda)$ が、胆振東部地震の評点分布でベイズ更新した、北海道の評点分布の平均値となる。ベイズ更新後の評点分布の標準偏差 ζ （バラツキ）は、もともとあった北海道の耐震評点分布のバラツキと同じと仮定し、北海道の評点分布の標準偏差を用いる。

ベイズ更新した北海道の評点分布は、Table 4-12 に示す平均 λ 、標準偏差 ζ の対数正規分布となる。

Table 4-12 ベイズ更新後の北海道の木造建物群の耐震評点分布
の平均 λ 、標準偏差 ζ

	before1950	1951-1960	1961 -1970
λ	$N_{\lambda}(-0.641, 0.122),$	$N_{\lambda}(-0.527, 0.125),$	$N_{\lambda}(-0.378, 0.123),$
ζ	0.544	0.572	0.504

計算の簡易化のため、平均 λ を定数に近似した係数を求める。 $-1.0 \leq \lambda \leq 0.0$ （合計するとほぼ 100%）の区間で、任意の λ について耐震評点 $I_w \sim I_w + 0.1$ の階級における累積分布の差の分布(a)を計算し、 λ の確率密度 $f''(\lambda)$ を重み(b)として、分布(a)*重み(b)をすべての λ について和算した結果を対数正規分布に当てはめ、近似した平均 λ' と標準偏差 ζ' を推定する。

北海道の 1950 年以前、1951-1960 年、1961 -1970 年の耐震評点分布の近似した平均 λ' 、標準偏差 ζ' を Table 4-13 に示す。

ベイズ更新後の北海道の木造建物群の耐震評点の対数正規分布を Fig. 4-19~21 に示す。合わせて、3 章で構築した更新前の北海道の木造建物群の評点分布および、胆振東部地震の被害調査結果に基づく住家群の評点分布を重ねて掲載した。北海道の木造建物群の評点分布と胆振東部地震の被害調査結果に基づく住家群の評点分布の中程度に分布し、2 つを平均した性能をもつ分布となっていることがわかる。

Table 4-13 ベイズ更新後の北海道の木造建物群の耐震評点分布
の平均 λ' 、標準偏差 ζ'

	before1950	1951-1960	1961 -1970
λ'	-0.640	-0.527	-0.378
ζ'	0.558	0.585	0.519

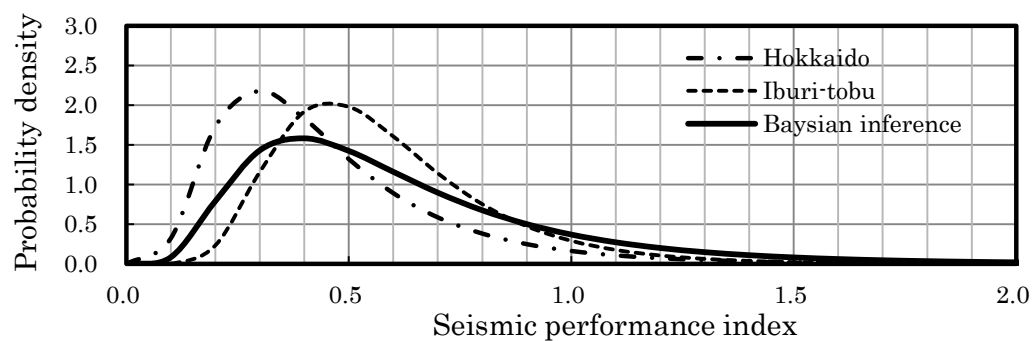


Fig. 4-19 被害調査結果に基づいてベイズ更新した
北海道の木造建物群の耐震評点分布(1950 年以前)

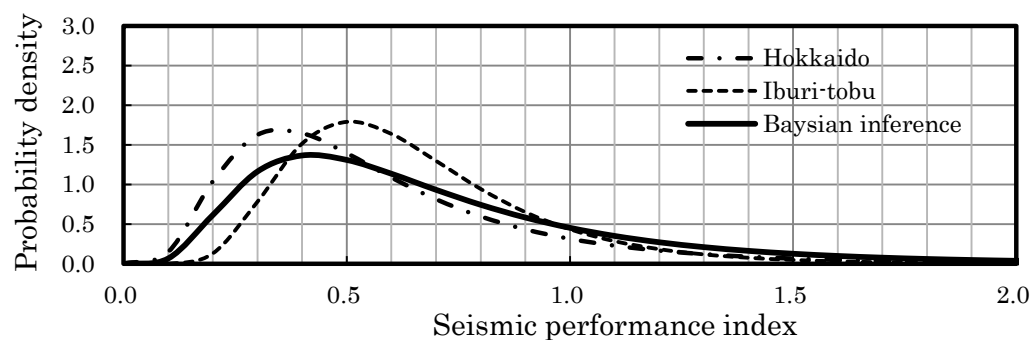


Fig. 4-20 被害調査結果に基づいてベイズ更新した
北海道の木造建物群の耐震評点分布(1951-1960 年)

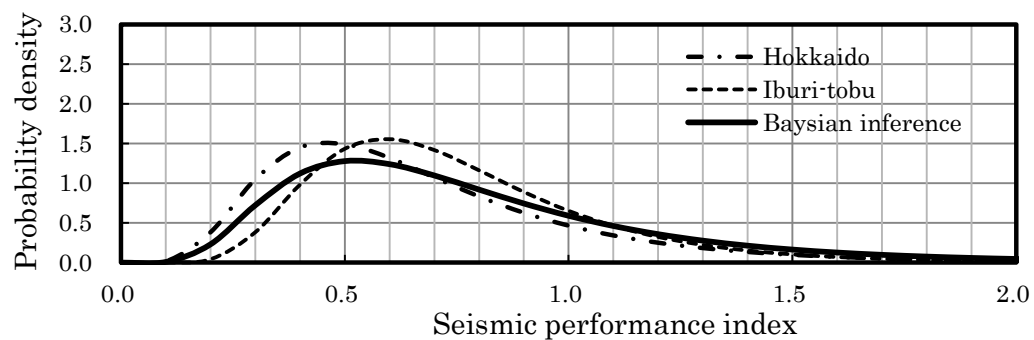


Fig. 4-21 被害調査結果に基づいてベイズ更新した
北海道の木造建物群の耐震評点分布(1961-1970 年)

4.4.4 北海道の被害率関数の更新と検証

(1) 被害調査結果に基づく北海道の被害率関数の更新

4.4.3のTable 4-13に示した北海道の木造建物群の評点分布をもとに、3.2.2のFig. 3-2に示した評点分布と個別建物の損傷度関数を利用した被害率関数の作成方法を適用することにより、北海道の木造建物群の地震被害率関数を更新する。

胆振東部地震の被害調査結果に基づいてベイズ更新した北海道の評点分布をもとに、再構築した1950年以前、1951-1960年、1961-1970年の木造建物群の地震被害率関数を式(4-5)およびTable 4-14に示す。

胆振東部地震の被害調査結果に基づいて更新した被害率関数の被害率曲線を建築年代別に示す(Fig. 4-22(a), Fig. 4-23(a))。

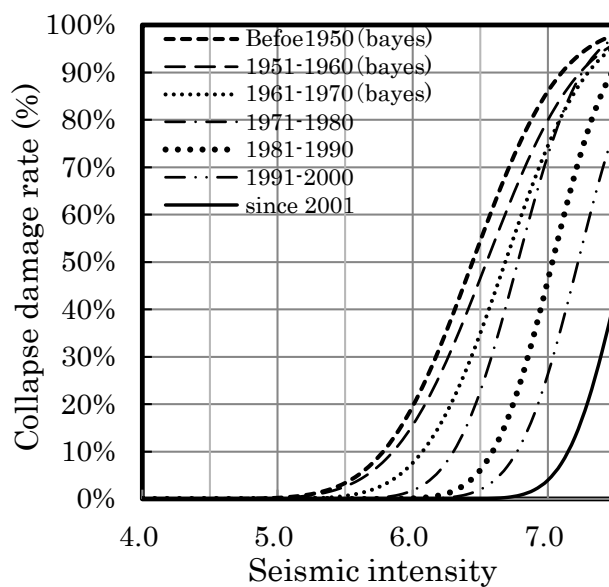
また、3章で構築した更新前の北海道の木造建物群の被害率関数と、胆振東部地震の被害調査結果に基づいて更新した被害率関数の被害率曲線を重ねてFig. 4-22(b), Fig. 4-23(b)に示す。1950年以前、1951-1960年の地震被害率曲線は、更新前の1951-1960年と1961-1970年の被害率曲線の間に入り、被害率が低減している。胆振東部地震で被害を受けた地域は、過去の被害地震や自然建て替えなどによって、より耐震性の低い木造建物から滅失していることが伺える。

$$V(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^s \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{s-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] ds \quad (4-5)$$

Table 4-14 北海道の木造建物群の地震被害率関数 $V(s)$ の平均 μ と標準偏差 σ
(胆振東部地震の被害調査結果によるベイズ更新後)

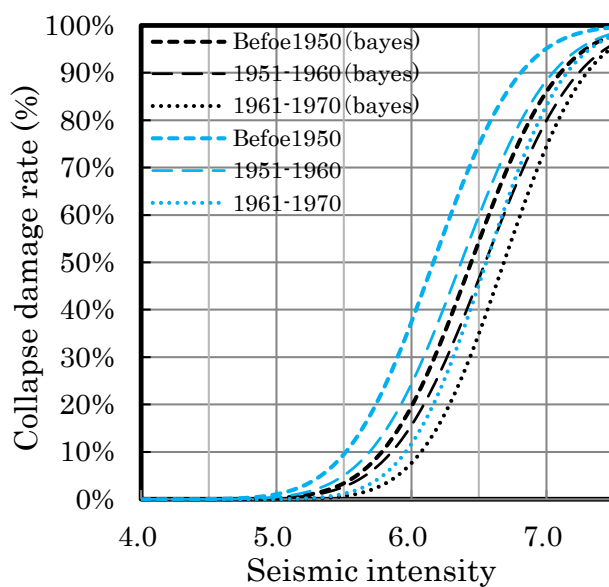
Year of construction		Before 1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980*	1981-1990*	1991-2000*	Since 2001*
D3 or more	μ	6.442	6.547	6.685	6.778	7.033	7.223	7.558
	σ	0.516	0.540	0.478	0.372	0.345	0.352	0.318
D4 or more	μ	6.701	6.792	6.914	6.995	7.220	7.388	7.697
	σ	0.453	0.474	0.420	0.326	0.304	0.314	0.310
D5 or more	μ	6.960	7.039	7.142	7.212	7.403	7.549	7.829
	σ	0.387	0.405	0.359	0.278	0.261	0.274	0.293
D6	μ	7.131	7.200	7.291	7.353	7.523	7.654	7.906
	σ	0.341	0.358	0.318	0.247	0.233	0.245	0.264

※ 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, Since2001については再掲



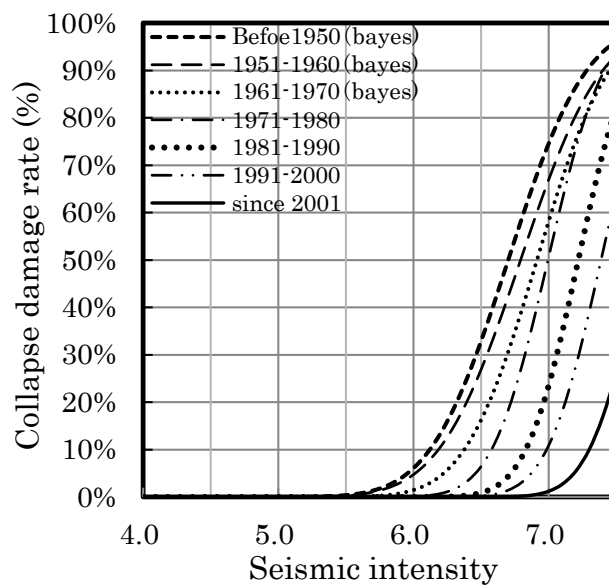
※ 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, Since2001 については再掲

(a) 胆振東部地震の被害調査結果に基づいて
更新した被害率関数



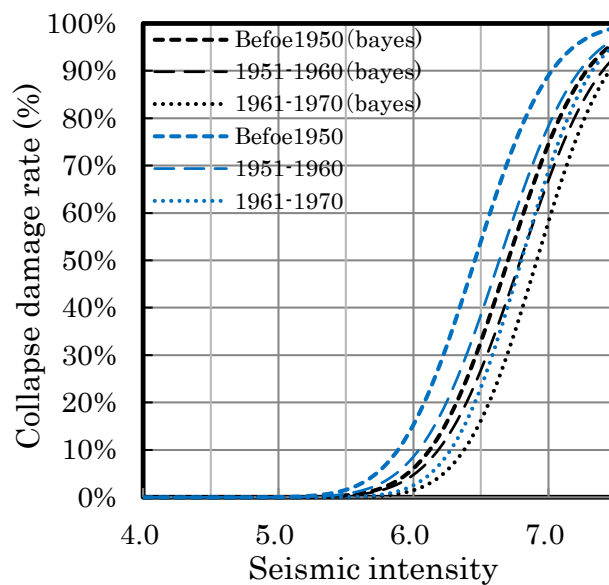
(b) ベイズ更新前後の比較

Fig. 4-22 北海道の木造建物群の地震被害率関数（全半壊率，D3 以上）



※ 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, Since2001 については再掲

(a) 胆振東部地震の被害調査結果に基づいて
更新した被害率関数



(b) ベイズ更新前後の比較

Fig. 4-23 北海道の木造建物群の地震被害率関数（全壊率，D4 以上）

(2) 更新被害率関数による地震被害の推定と検証

(1)で更新した被害率関数をもとに、胆振東部地震の被害を再推定し、実被害と比較して評価精度を確認する。

4.3 で設定した条件をもとに、更新被害率関数によって胆振東部地震の木造建物の全壊棟数および全半壊棟数を推定した。

4.3.4 と同様に、被害想定結果と比較する胆振東部地震における実被害数として、(a)道から報告されている全被害数、(b)液状化や地盤変状が主要因である札幌市・北広島市の被害数を除き、厚真町に振動被害がないと想定した場合の被害数、(c)札幌市・北広島市の被害数を除き、厚真町の実被害の4～6割程度に揺れによる倒壊があると想定した場合の被害数を用いる。

北海道全体を推定した結果を Table 4-15 に示す。(a)全市町村の被害集計とした場合、3章で構築した更新前の関数による推定被害棟数に比べて、4章で胆振東部地震の被害情報に基づき更新した関数の推定棟数の実被害比は、全壊で2.04倍から1.25倍に、全半壊で1.49倍から1.03倍となった。(b)札幌市・北広島市・厚真町の被害数を除いた場合、全壊で3.12倍から2.07倍に、全半壊で1.59倍から1.21倍となった。

(c)札幌市・北広島市を除き、厚真町の4～6割程度が振動被害と想定した場合、地震の被害情報に基づいて関数の更新によって、全壊の実被害比は2.45～2.94倍から1.67～2.01倍に、全半壊は1.55～1.74倍から1.22～1.36倍となった。いずれも評価精度に向上がみられた。

安平町では、全壊が1.92倍から1.34倍に、全半壊1.00倍から0.83倍と、全壊に精度向上がみられたが全半壊は小さくなった(Table 4-16)。むかわ町については、全壊が7.34倍から4.84に、全半壊3.47倍から2.73倍と変化はあったが、実被害との差は大きい。

4～6割程度が振動被害と想定した場合の厚真町の結果を Table 4-18 に参考に示す。

Table 4-15 北海道全体の木造建物の被害棟数の予測結果

(a) 全市町村の被害集計の場合

	住家被害棟数			実被害比=被害想定数/実被害数		
	全壊	半壊	全半壊	全壊	半壊	全半壊
胆振東部地震(11月9日時点)	431	1,385	1,816	—	—	—
本論文(3章の構築関数)	878	1,824	2,702	2.04	1.32	1.49
本論文(4章ベイズ更新)	539	1,328	1,866	1.25	0.96	1.03

(b) 札幌市・北広島市を除き、厚真町の振動被害がない場合の被害集計の場合

	住家被害棟数			実被害比=被害想定数/実被害数		
	全壊	半壊	全半壊	全壊	半壊	全半壊
胆振東部地震(11月9日時点)	123	524	647	—	—	—
本論文(3章の構築関数)	383	645	1,029	3.12	1.23	1.59
本論文(4章ベイズ更新)	254	526	781	2.07	1.00	1.21

(c) 札幌市・北広島市を除き、厚真町の振動被害が4～6割程度の場合の被害集計の場合

	住家被害棟数			実被害比=被害想定数/実被害数		
	全壊	半壊	全半壊	全壊	半壊	全半壊
胆振東部地震(11月9日時点)	206 ～247	640 ～697	845 ～945	—	—	—
本論文(3章の構築関数)	605	864	1,469	2.45 ～2.94	1.24 ～1.35	1.55 ～1.74
本論文(4章ベイズ更新)	414	737	1,151	1.67 ～2.01	1.06 ～1.15	1.22 ～1.36

Table 4-16 安平町の木造建物の被害棟数の予測結果

	住家被害棟数			実被害比=被害想定数/実被害数		
	全壊	半壊	全半壊	全壊	半壊	全半壊
胆振東部地震(11月9日時点)	92	332	424	-	-	-
本論文(3章の構築関数)	177	247	423	1.92	0.74	1.00
本論文(4章ベイズ更新)	123	227	351	1.34	0.69	0.83

Table 4-17 むかわ町の木造建物の被害棟数の予測結果

	住家被害棟数			実被害比=被害想定数/実被害数		
	全壊	半壊	全半壊	全壊	半壊	全半壊
胆振東部地震(11月9日時点)	26	112	138	-	-	-
本論文(3章の構築関数)	191	288	479	7.34	2.58	3.47
本論文(4章ベイズ更新)	126	251	377	4.84	2.24	2.73

Table 4-18 厚真町の木造建物の被害棟数の予測結果（振動被害が4～6割の場合）

	住家被害棟数			実被害比=被害想定数/実被害数		
	全壊	半壊	全半壊	全壊	半壊	全半壊
胆振東部地震(11月9日時点)	83 ～124	116 ～173	198 ～298	-	-	-
本論文(3章の構築関数)	222	218	440	1.78 ～2.68	1.26 ～1.89	1.48 ～2.22
本論文(4章ベイズ更新)	160	210	370	1.28 ～1.93	1.21 ～1.82	1.24 ～1.86

4.5. 第4章のまとめ

第4章では、2018年9月に発生した北海道胆振東部地震の被害調査結果を利用して、3章で構築した被害率関数を更新する方法を検討した。まず胆振東部地震を対象に3章の構築関数を用いて市町村単位の全半壊棟数を被害想定した。入力地震動は札幌管区気象台による計測震度を用い、建物棟数は道が地震被害想定のために収集した年代別棟数データを利用した。厚真町の振動被害が町全体の4～6割程度と仮定した場合、構築関数による推定全半壊棟数は、胆振東部地震の実被害に比べて1.55～1.74倍となった。なお中央防災会議による手法の実被害比は6.05～6.76倍であり、3章で構築した関数の精度は、このままでも本邦の標準関数に比較し高いことがわかる。

次に将来的な関連被害データの蓄積を想定し、関数の更新方法を提案した。3章の構築関数を、胆振東部地震で得られた被害情報をもとにベイズ更新することで関数の精度向上を試みた。方法は、3章で構築した耐震評点分布を事前分布とし、胆振東部地震の実被害をもとに推計した評点分布を尤度として利用したベイズ更新をすることで、胆振東部地震の被害情報を考慮した評点分布を作成した。前出の被害想定年代別被害棟数比を用いて実被害の年代別全壊率を推計し、損傷度関数を用いた逆計算を行って胆振東部地震の年代別評点分布を求めた。胆振東部地震の評点分布を利用してベイズ更新した北海道の評点分布をもとに被害率関数を再構築し、全半壊棟数を再推定した。この結果、厚真町の振動被害が町全体の4～6割程度と仮定した場合、実被害との比が北海道全体で1.55～1.74倍から1.22～1.36倍に改良され、評価精度の向上が確認されると共に、将来的関数更新法の有効性も確認できた。

第5章 結論

5.1. 本論文のまとめ

本論文は、北海道を例に、木造建物群の高精度な被害率関数の構築方法として、地域性及び時代性を考慮した木造建物の耐震評点分布の推定と被害率関数の構築方法を提案するとともに、構築関数の精度向上のために地震発生後の被害調査結果を取り込んだ関数の更新方法について研究したものである。

大規模地震は様々な対策によって被害軽減を図ることが重要であり、効果的・効率的に軽減策を講じなければならない。このため自治体は被害軽減量を数値目標として定め、被害要因の分析を通じ効果的な対策を推進することが求められる。これまで自治体は、地震被害量の推定に全国一律の被害率関数を用いることが多かった。しかし効果的な対策の検討に被害の地域性の把握が重要であり、特に木造建物は地域による構法の違いや建築年数の違いによる耐震性の差が大きく、これらを考慮した関数が求められる。本論文は、5章から成り、以下に各章の要点を記す。

第1章「序論」では、既往研究の課題整理から地域性を考慮した建物群の被害率関数を構築する方法を検討した。第1の方法は、過去の地震被害資料をもとに関数を構築する方法である。これは実地震の観測地震動と建物被害率を統計分布に当てはめる方法で、構築は容易である。一方、必要となる資料が大規模被害を受けた自治体に限られ、関数は被災地の地域性を反映し、被災地以外の地域性を反映することは難しい。第2の方法は、復元力特性や周期など建物モデルを設定し、地震応答解析に基づいて関数を構築する方法である。この場合、建物の周期特性や耐震性能分布など地域性を反映できる半面、計算に必要な設定条件が多いことが構築上の問題点として指摘できる。第3の方法は、個別建物の損傷度関数に木造建物群の耐震評点分布を適用して被害率関数を構築する方法である。地域の耐震評点分布を用意できれば、構築が比較的容易であり、地域性を反映できる。検討の結果、本研究は第3の方法を応用発展させることで被害率関数を構築することとした。

第2章「北海道の木造住宅の地震被害と耐震性能」では、過去地震における北海道の木造住宅被害の傾向や、北海道の木造住宅の耐震性能に関わる仕様を分析した。その結果、北海道の過去の地震における震度と被害率との経年変化から、時代の経過と共に木造住宅の仕様が変化し耐震性が向上したことが推測され、その主な理由は断熱気密性の向上や施工性の向上を図るためではあるが、結果的に住宅の耐震性の向上に影響を及ぼしているものが少なくない結論づけられる。北海道における在来工法木造住宅の構造仕様の変遷から、耐力壁や非耐力壁、水平構面のいずれにおいても、仕様の経年変化が耐震性の向上に寄与している可能性があることを指摘し、北海道の住様式の地域性と時代性が当該地域の地震被害率に大きく関わることを確認した。

第3章「地域性を考慮した耐震評点分布の推定と被害率関数の構築」では、個別建物の損傷度関数を基に、地域の耐震評点分布を考慮することで、木造建物群の被害率関数を構築する方法を提案した。これにより地域毎の耐震評点分布があれば、高精度な被害率関数を求めることが可能となる。北海道が実施した木造住宅の耐震診断結果を利用し、木造建物群の被害率関数を構築する方法を検討した。既往の損傷度関数は旧耐震精密診断に対応したもので2004年版診断法を用いた道の診断結果に適用できない。このため2004年版の診断結果に適合するように、全国調査が行われている木耐協の診断結果を用いて損傷度関数を見直した。次に道の診断結果をもとに建築年代別の評点分布を対数正規分布でモデル化する。1971年以降は件数が十分にあるためモデル化が可能だが、1970年以前は十分ではなくモデル化ができない。このため件数が少ない場合、全国平均である木耐協の診断結果を事前分布に仮定したベイズ更新から評点分布を推定する方法を提案した。また診断結果がない場合、建築年代に近い時期に発生した地震の被害資料から地域被害率を計算し、損傷度関数から評点分布を逆算する方法を提案した。以上を適用し、北海道における木造建物の耐震評点の年代別対数正規分布を推定した。推定した評点分布は、1950年以前の建築年代で木耐協調査による全国平均とほぼ同じであることを確認した。一方、1960年以降では全国平均より平均値、標準偏差が大きく、北海道の工夫に富む多彩な建築構法の採用による耐震性能の多様性を指摘できた。見直した損傷度関数と推定した評点の年代別対数正規分布とから、北海道の木造建物群の被害率関数を推定した。中央防災会議の普通地や極寒冷地の関数と比較し、構築関数は同一震度で被害率が低く、寒冷地の建物の耐震性がより高く評価された結果となった。北海道の過去地震の震度と実被害率の分布は、地震発生年以前の建築年代の被害率曲線で囲まれる領域にほぼ含まれ、構築した関数は過去地震の被害率と概ね対応していることを確認した。

第4章「地震被害調査結果に基づいた被害率関数の更新」では、2018年9月に発生した北海道胆振東部地震の被害調査結果を利用して、3章で構築した被害率関数を更新する方法を提案した。まず胆振東部地震を対象に構築関数を用いて市町村単位の全半壊棟数を被害想定した。入力地震動は札幌管区気象台による計測震度を用い、建物棟数は北海道が地震被害想定のために収集した年代別棟数データを利用した。構築関数による推定被害棟数は、胆振東部地震の実被害に比べて1.55～1.74倍となった。中央防災会議による手法の実被害比が6.05～6.76倍であり、構築関数の精度は高いことがわかる。次に構築関数を、胆

振東部地震で得られた被害情報をもとにベイズ更新することで関数の精度向上を確認する。方法は、3 章で構築した北海道の耐震評点分布を事前分布とし、胆振東部地震の実被害をもとに推計した評点分布を利用したベイズ更新することで、胆振東部地震の被害情報を考慮した評点分布を作成する。評点分布の更新の対象は、前出の構築関数による被害想定で多くの被害が推定された 1950 年以前、1951-1960 年、1961-1970 年の 3 つの建築年代とした。推定には年代別の全壊棟数が必要なため、構築関数による被害想定的年代別被害棟数比を用いて、実被害を案分することで推計した。求めた年代別の全壊率から、損傷度関数を用いた逆計算を行い、胆振東部地震の年代別の評点分布を求めた。胆振東部地震の評点分布によりベイズ更新した 1950 年以前、1951-1960 年、1961-1970 年の評点分布をもとに被害率関数を再構築し、全半壊棟数を再推定した。この結果、実被害との比が北海道全体で 1.55～1.74 倍から 1.22～1.36 倍となり、評価精度の向上が確認された。

第 5 章「結論」では、本論文の成果を総括して、各章の要点を述べ、今後の展望方向について述べている。

5.2. 今後の課題と展開

北方建築総合研究所（旧 寒地住宅都市研究所）では、防災の研究分野に、自治体の地震被害想定という研究項目がある。地理情報システムを利用した簡易な地震被害想定手法の開発を出発点として、対策効果を示した活用マップ作成手法、活断層の被害想定手法や想定地震の選定、被害予測式の構築や揺れやすさマップ作成など多数の研究がなされている。

防災分野の担当として北海道の耐震改修促進計画に関わる地震被害想定や既存木造住宅の耐震性調査、市町村の地震被害想定に関わり、一般的に利用されている中央防災会議の木造建物の被害率関数を用いた予測結果が、当時発生した 2003 年十勝沖地震の被害規模と比較して、大きいことが本論文の着手理由のひとつとなった。

着手理由のふたつ目は、市町村など地域において物的被害量や被害額、死者数などの軽減効果の検証など防災対策の検討を行う際や、居住者・建物所有者が地震に対する個別建物のリスクマネジメントを検討する際に、建物の被害率関数が結果を左右する非常に重要な計算の部分になることである。

北海道の地域性を考慮した被害率関数の構築の課題は、利用が簡便な関数式で表現されるが、ある程度理論的な方法をもって北海道の耐震性を考慮できることであった。この課題については、本論文のなかで地域の耐震性を耐震評点の確率密度分布でモデル化する方法と、岡田・高井らの損傷度関数の考え方を利用した被害率関数の構築方法を提案することができた。提案した被害率関数や構築方法を活用し、地域防災対策や建築防災対策による安全性の向上を図るため、自治体や居住者・建物所有者を対象とした建物リスクの分析や耐震化による被害軽減効果の検証に活用・展開していく。

提案した被害率関数の今後の課題と展開は、以下のとおりである。

①将来の経年変化を考慮した予測

本論文では、時代性に着目し、7 つの建築年代に分けて被害率関数を構築した。用いた診断結果は 2006 年から 2009 年までに収集したデータであり、厳密には診断当時の建築年代別の被害率関数を構築したと考えられる。被害想定は、本来、将来の地震被害を予測手法であり、建築年代別の建物ストック数や耐力分布の経年変化を踏まえた予測手法に展開する必要がある。

②細やかな地域性、建物用途別の耐力分布の検討

本論文では、全国と比較して、北海道内をひとつの地域性と捉えて研究・分析した。提案した被害率関数は、字・町丁目単位の計算に用いても平均的な被害数を予測しうるものと考えている。一方、第 4 章における胆振東部地震の検証では、むかわ町の実被害と予測との差が大きい結果となった。発生した被害は、むかわ町市街地の店舗併用住宅に集中しており、入力地震動の大きさや建物の卓越周期、地震動の伝搬方向などの課題も考えられるが、今後、細やかな地域単位あるいは建物用途別の耐力分布の検討が必要と考える。

③データの蓄積と更新

今後の被害地震の発生や、新たな木造住宅の耐震診断法などによる、データ更新が課題である。新たな木造住宅の診断法として、2012年版耐震診断法が利用され、非耐震壁が評価に組み込まれるなど、より実態に即した診断法になっており、新たな診断データの蓄積と検証が必要である。また、胆振東部地震などの被害地震で得られた調査結果によって、被害率関数が更新されていくことが重要である。

④積雪の影響の考慮

本論文では、北海道の関数構築の課題のうち、気象条件である積雪の影響を扱っていない。単純に荷重増として扱った場合、収集した診断結果を任意の積雪深ごとに再計算し、確率モデル化を行えば予測可能である。しかし現段階では実被害との検証ができない。また荷重効果による柱の引き抜けの低減、積雪による制震効果などの被害低減の効果、屋根形状による積雪深の違いや被害想定に用いる積雪深の考え方など考慮すべき事項が多い。これらは、今後考えられるべき課題である。

参考文献

[第 1 章の参考文献]

- 1- 1) 北海道:平成 28 年度地震被害想定調結果報告書, 2018 年 2 月
- 1- 2) 中央防災会議:日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の地震防災戦略, 2008 年 3 月
- 1- 3) 中央防災会議:東海地震及び東南海・南海地震の地震防災戦略, 2005 年 3 月
- 1- 4) 竹内慎一・高橋章弘・南慎一:北海道の集落の実態分析による地域防災力に関わる評価指標の検討, 地域安全学会論文, No.14, pp.37-46, 2011 年 3 月
- 1-5) 新潟県中越地震農村地域自治災害対応能力調査グループ:新潟県中越地震 農村地域自治災害対応能力調査(現地調査報告書), 日本大学系長研究室・昭和女子大学瀬沼研究室, 2004 年
- 1- 6) 田口仁・臼田裕一郎・長坂俊成 他:リスクコミュニケーションのための住民参加による地域コミュニティの被害想定手法と防災力評価手法の検討, 日本リスク研究学会第 22 回研究発表会講演論文集, vol22, 2009 年 11 月
- 1- 7) 太田和良・片家康裕・坂口歩 他:紀伊半島における中山間地集落の孤立化と自立性に着目した防災力評価手法の検討ー東海・東南海・南海地震への戦略的な防災対策の一環としてー, 地球環境の防災のフロンティア, 総合論文誌 第 6 号, pp.117-121, 2008 年 4 月
- 1- 8) 物部長穂:土木耐震学, 常盤書房, 1933 年
- 1- 9) 岡田成幸・鏡味洋史:震度による地震被害系統評価のためのバルナビリティ関数群の構成, 地震, 第 2 輯, 第 44 巻, pp.99-108, 1991 年
- 1-10) Applied Technology Council, Earthquake Damage Evaluation Data for California (ATC -13), Redwood City, CA, pp1-348, 1985
- 1-11) 気象庁:震度階級表, 1978 年
- 1-12) 東京都防災会議:地震の震度階級解説表, 1980 年
- 1-13) 日本建築学会:1995 年兵庫県南部地震災害調査速報, 日本建築学会, 1995 年 3 月
- 1-14) 村尾修・山崎文雄:兵庫県南部地震における建物被害の自治体による調査法の比較検討, 日本建築学会計画系論文集, 第 515 号, pp.187-194, 1999 年 1 月
- 1-15) 林康裕・宮腰淳一・田村和夫・川瀬博:1995 年兵庫県南部地震の低層建物被害率に基づく最大地動速度の推定, 日本建築学会構造系論文集, 第 494 号, pp.59-66, 1997 年 4 月
- 1-16) 林康裕・宮腰淳一・田村和夫:1995 年兵庫県南部地震の建物被害に基づく最大地動速度分布に関する考察, 日本建築学会構造系論文集, 第 502 号, pp.61-68, 1997 年 12 月
- 1-17) 長谷川浩一・翠川三郎:地域メッシュ統計を利用した広域での木造建築物群の震害予測ーその 1 建築年代別の木造建築物棟数の推定ー, 日本建築学会構造系論文集, 第 497 号, pp.75-80, 1997 年 7 月

- 1-18) 長谷川浩一・翠川三郎・松岡昌志:地域メッシュ統計を利用した広域での木造建物群の震害予測ーその2 建築年代別木造建築物の被害関数の作成と震害予測例ー, 日本建築学会構造系論文集, 第502号, pp. 53-59, 1998年3月
- 1-19) 建設省建築研究所:平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書, 1996年
- 1-20) 村上雅英・藤田宜紀・三澤文子・田原賢:東灘西部を中心とした被害調査とその考察, 1995年兵庫県南部地震ー木造建物の被害ー, pp. 49-67, 1995年
- 1-21) 村尾修・山崎文雄:兵庫県南部地震の被害分析ーその10 建築年代を考慮した木造建物被害に基づく灘区の地震動分布ー, 生産研究, Vol. 51, No. 2, pp. 17-20, 1999年2月
- 1-22) 村尾修・山崎文雄:自治体の被害調査結果に基づく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527号, pp. 189-196, 2000年1月
- 1-23) 佐伯琢磨・翠川三郎:住宅建物の経済被害評価のための被害関数の作成ー兵庫県南部地震の際の地震保険支払データに基づいてー, 日本建築学会構造系論文集, No. 545, pp. 79-85, 2001年
- 1-24) 山口直也・山崎文雄:西宮市の被災度調査結果に基づく建物被害関数の構築, 地域安全学会論文集, No. 2, pp. 129-138, 2000年11月
- 1-25) 翠川三郎・藤本一雄:計測震度と住家被害率の関係ー罹災調査結果を用いた検討ー, 日本地震工学会論文集, 第2巻, 第2号, pp. 15-22, 2002年
- 1-26) 翠川三郎:兵庫県南部地震以降の被害地震データに基づく建物被害関数の検討, 日本地震工学会論文集, Vol. 11, No. 4, pp. 34-47, 2011年
- 1-27) 長戸健一郎・川瀬博:観測被害統計と非線形応答解析に基づく木造建物群被害予測モデルの構築と観測強震動への適用, 第11回日本地震工学シンポジウム, 2002年11月
- 1-28) 宮腰淳一・神原浩・石井大吾・田村和夫・山口亮・名取晶子・吉村昌宏:建物耐力と変形性能のばらつきを考慮した被害関数の作成手法, 構造工学論文集, Vol. 51B, pp. 105-110, 2005年3月
- 1-29) 林康裕・宮腰淳一:兵庫県南部地震により被害率曲線, 日本建築学会大会災害部門パネルディスカッション資料, pp. 15-20, 1998年
- 1-30) 境有紀・飯塚裕暁:非線形地震応答解析による地震被害推定を目的とした平均的な木造建物群モデルの構築, 日本地震工学会論文集, 第9巻, 第1号, pp. 32-45, 2009. 1.
- 1-31) 損害保険料率算定会:木造住宅の損壊被害率に関する研究その1, 地震保険調査研究13, 1985年1月
- 1-32) 損害保険料率算定会:木造住宅の損壊被害率に関する研究その2, 地震保険調査研究22, 1988年1月
- 1-33) (財)日本建築防災協会:木造住宅の耐震精密診断と補強方法, 1985年11月
- 1-34) 中埜良昭・岡田恒男:信頼性理論による鉄筋コンクリート造建築物の耐震安全性に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, No. 406, pp. 37-43, 1989年12月
- 1-35) 林康裕・鈴木祥之・宮腰淳一・渡辺基史:耐震診断結果を利用した既存RC造建築物の地震リスク表示, 地域安全学会論文集, No. 2, pp. 236-242, 2000年11月

- 1-36) 梅村幸一郎・山崎文雄:横浜市の耐震診断結果に基づく木造住宅被害関数の構築, 日本建築学会構造系論文集, 第 556 号, pp.109-116, 2002 年 6 月
- 1-37) 小檜山雅之・山崎文雄:全国の耐震診断結果に基づく木造建物耐震性能指標の地域性分析, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, pp.2097-2102, 2002 年
- 1-38) 小檜山雅之・山崎文雄:耐震診断データに基づく木造建物の被害関数ー加速度応答スペクトルによる一部損壊以上の被害評価ー, 日本建築学会構造系論文集, 第 570 号, pp.137-144, 2003 年 8 月
- 1-39) 塩見政士・小檜山雅之:耐震診断データを用いた木造建物被害関数の等価線形モデルによる拡張, 日本建築学会技術報告集, 13 巻, 26 号, 2007 年
- 1-40) 岡田成幸・高井信雄:木造建築物の損傷度関数の提案と地震防災への適用ー地震動入力を確定的に扱う場合ー, 日本建築学会構造系論文集, 第 582 号, pp.31-38, 2004 年 8 月
- 1-41) 岡田成幸・高井信雄:地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, 第 524 号, pp.65-72, 1999 年 10 月
- 1-42) 林康裕・宮腰淳一・田村和夫・渡辺宏一:兵庫県南部地震の建物被害に基づく地震動強さの評価, 第 1 回都市直下地震災害総合シンポジウム講演集, pp.89-92, 1996 年
- 1-43) 田畑直樹・岡田成幸:地震時の木造建築物倒壊に伴う死者数推定に向けた棟死亡率関数の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第 605 号, pp.71-78, 2006 年 7 月
- 1-44) 田畑直樹・岡田成幸・高井信雄:建物損傷度関数と棟死亡率関数の地震防災への利用方法ー人命損失に着目した木造低層建物の被害率関数の作成と侵害予測例ー, 日本建築学会構造系論文集, 第 611 号, pp.39-46, 2007 年 1 月
- 1-45) 中央防災会議:日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会第 17 回日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害想定手法について, 2006 年 1 月

[第2章の参考文献]

- 2- 1) 北海道:平成 28 年度地震被害想定調結果報告書, 2018 年 2 月
- 2- 2) 北方建築総合研究所: 地域における既存木造住宅耐震性能の実態把握に関する研究, 調査研究報告, No. 287, 2011 年 3 月
- 2- 3) 総務省統計局: 平成 25 年度住宅・土地統計調査結果
(e-Stat 政府統計の総合窓口HP, <https://www.e-stat.go.jp/>)
- 2- 4) 竹内慎一・高橋章弘・南慎一:北海道における木造住宅の診断結果に基づいた耐震性能の実態把握, 日本建築学会学術講演梗概集, B-2, 構造 II, pp. 905-906, 2011 年 7 月
- 2- 5) 財団法人日本建築防災協会:木造住宅の耐震診断と補強方法 一般診断法による診断の実務 診断表・診断プログラム, 2007 年 8 月
- 2- 6) 北海道立寒地住宅都市研究所:北海道における木造住宅の耐震性に関する研究, 平成 8 年度共同研究報告書, 1997 年 3 月
- 2- 7) 岡田成幸・戸松誠・西川忠:7. 北海道の住家の耐震性(北海道・東北地方の地震防災力向上を目指して), 自然災害科学, Vol. 23, No. 4, pp. 489-495, 2005 年
- 2- 8) 翠川三郎・藤本一雄・村松郁栄: 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係, 地域安全学会論文集, No. 1, pp. 51-56, 1999 年 11 月
- 2- 9) 気象庁: 震度データベース検索, 気象庁ホームページ,
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_db/shindo_index.html.
- 2-10) 北海道総務部防災消防課:昭和 57 年(1982 年)浦河沖地震災害記録, 1983 年 3 月
- 2-11) 北海道総務部防災消防課:平成 5 年(1993 年)釧路沖地震災害記録, 1995 年 3 月
- 2-12) 北海道総務部防災消防課:平成 5 年(1993 年)北海道南西沖地震災害記録, 1995 年 3 月
- 2-13) 北海道総務部防災消防課:平成 6 年(1994 年)北海道東方沖地震災害記録, 1996 年 3 月
- 2-14) 北海道総務部防災消防課:平成 6 年・7 年災害記録, 1997 年 5 月
- 2-15) 北海道総務部防災消防課:平成 15 年(2003 年)十勝沖地震災害記録, 2005 年 3 月
- 2-16) 十勝沖地震調査委員会:十勝沖地震調査報告, 1954 年
- 2-17) 1968 年十勝沖地震調査委員会:1968 年十勝沖地震調査報告, 1969 年
- 2-18) 北海道総務部危機対策局危機対策課: 平成 30 年北海道胆振東部地震による被害状況等(第 102 報), 平成 30 年 11 月 9 日 17 時 00 分現在
- 2-19) 鏡味洋史・岡田成幸:1993 年釧路沖地震の北海道内市町村別震度分布調査, 文部科学研究費突発災害調査研究成果・1993 年釧路沖地震による被害の調査研究, 1993 年
- 2-20) 鏡味洋史:建物被害からみた耐震性変化の事例研究, 第 20 回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, pp. 164-167, 1983 年

[第3章の参考文献／注釈]

- 3- 1) 岡田成幸・高井信雄：木造建築物の損傷度関数の提案と地震防災への適用－地震動入力を確定的に扱う場合－，日本建築学会構造系論文集，第 582 号，pp. 31-38，2004 年 8 月
- 3- 2) 田畑直樹・岡田成幸・高井信雄：建物損傷度関数と棟死亡率関数の地震防災への利用方法－人命損失に着目した木造低層建物の被害率関数の作成と侵害予測例－，日本建築学会構造系論文集，第 611 号，pp. 39-46，2007 年 1 月
- 3- 3) (財)建築防災協会：増補版木造住宅の耐震精密診断と補強方法，1995 年
- 3- 4) (財)建築防災協会：木造住宅の耐震診断と補強方法 木造住宅の耐震精密診断と補強方法(改訂版)，2004 年
- 3- 5) 中央防災会議：日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会第 17 回日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害想定手法について，2006 年 1 月
- 3- 6) 中埜良昭・岡田恒男：信頼性理論による鉄筋コンクリート造建築物の耐震安全性に関する研究，日本建築学会構造系論文報告集，No. 406，pp. 37-43，1989 年 12 月
- 3- 7) 十勝沖地震調査委員会：十勝沖地震調査報告 1952 年 3 月 4 日，1954 年 9 月
- 3- 8) 宮腰淳一・林康裕・福和伸夫：建物被害データに基づく各種の被災度指標の対応関係の分析，構造工学論文集，Vol. 46B，pp. 121-134，2000 年 3 月
- 3- 9) 中嶋唯貴・岡田成幸：時間軸上の死者低減率最大化を主目標とした木造住宅耐震化戦略の策定－東海・東南海連動型地震を対象とした東海 4 県への適用事例－，日本建築学会構造系論文集，第 623 号，pp. 79-86，2008 年 3 月
- 3-10) Alfredo H-S. Ang, Wilson H. Tang (伊藤學・亀田弘行監訳，阿部雅人・能島暢呂訳)：土木・建築のための確率・統計の基礎，丸善株式会社，pp. 425-463，2007 年
- 3-11) 鏡味洋史：建物被害からみた耐震性変化の事例研究，第 20 回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集，pp. 164-167，1983 年
- 3-12) 鏡味洋史・岡田成幸：3. 1 1993 年釧路沖地震の北海道内市町村別震度分布調査（1993 年釧路沖地震による被害の調査研究），文部省科学研究費 突発災害調査研究成果，pp. 41-44，1993 年 3 月
- 3-13) 北海道総務部防災消防課：平成 5 年(1993 年)釧路沖地震災害記録，pp. 137-182，1995 年 3 月
- 3-14) 日本建築学会北海道支部：2003 年十勝沖地震災害調査報告，pp. 16-18，2004 年 5 月

[第3章の注釈]

- 3- 1) 北海道が戸建て木造住宅を対象に 2004 年版診断の方法で 2006-2009 年に実施した 429 件の耐震診断結果。
- 3- 2) 日本木造住宅耐震補強事業者協同組合(木耐協)が 2004 年版診断の方法で 2005-2008 年に行った 8,624 件の耐震診断結果。

[第4章の参考文献／注釈]

- 4- 1) 札幌管区气象台：北海道の地震活動図 2018 年 9 月 1 日～2018 年 9 月 30 日
- 4- 2) 北海道総務部危機対策局危機対策課：平成 30 年北海道胆振東部地震による被害状況等（第 102 報），平成 30 年 11 月 9 日 17 時 00 分現在
- 4- 3) 飯場正紀・永井宏：北海道胆振東部地震の被害調査報告書（速報）基礎地盤関連，2018 年 9 月
- 4- 4) 国立研究開発法人建築研究所・国土交通省国土技術政策総合研究所・北海道立総合研究機構建築研究本部：平成 30 年北海道胆振東部地震による建築物の被害に関する調査結果，2018 年 10 月
- 4- 5) 北海道：平成 28 年度地震被害想定調査結果報告書，2018 年 2 月
- 4- 6) 総務省統計局：平成 25 年度住宅・土地統計調査結果
(e-Stat 政府統計の総合窓口HP，<https://www.e-stat.go.jp/>)
- 4- 7) 中央防災会議：日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会第 17 回
日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害想定手法について，2006 年 1 月
- 4- 8) 中央防災会議：東海地震対策専門調査会第 8 回東海地震に係る被害想定手法について，2003 年 3 月
- 4- 9) 中央防災会議：首都直下地震対策専門調査会第 15 回首都直下地震に係る被害想定手法について，2005 年 2 月
- 4-10) 鈴木有・後藤正美：最近の被害地震による主要被災地の木造被害と耐震性能の比較，
日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1，構造Ⅲ，pp.19-20，1995 年 7 月
- 4-11) 中央防災会議・防災対策推進検討会議・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告）資料 2-1 南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要，2012 年 8 月
- 4-12) 竹内慎一・岡田成幸・戸松誠・南慎一・石井旭：北海道の木造住宅の診断結果を考慮した建物被害予測手法の検討，日本建築学会北海道支部研究報告集，No. 83，2013 年 6 月
- 4-13) 札幌市災害対策本部：平成 30 年北海道胆振東部地震に伴う災害概況【速報】，平成 30 年 9 月 26 日 12 時 00 分現在

[第4章の注釈]

- 4- 1) 平成 25 年住宅・土地統計調査の結果から，179 市町村ごとに以下の比率を設定し，該当する合併前の旧 211 市区町村に適用した。
 - ①「1950 年以前」と「1951-1960 年」の比
 - ・札幌市は，住宅・土地統計調査における札幌市の 1950 年以前と 1951-1960 年の木造戸数の比を用いた。
 - ・札幌市以外の市町村は，北海道の木造戸数の比を用いた。

②「1981-1990 年」と「1991-2000 年」の比

- ・札幌市は，住宅・土地統計調査における札幌市の 1981-1990 年と 1991-2000 年の木造戸数の比を用いた。
- ・函館市・小樽市・当別町・七飯町など 1981-1990 年と 1991-2000 年の木造戸数が掲載された 50 市町は，該当市町の比を用いた。
- ・上記以外の町村は，北海道の木造戸数の比を用いた。

謝辞

本論文は、北海道大学大学院工学院建築都市空間デザイン専攻博士後期課程に在籍した平成 22 年 10 月から平成 31 年 3 月にかけて研究成果をまとめたものです。本論文に関わる調査やデータ収集・解析および研究の遂行にあたり、ご指導、ご協力、ご支援いただいたすべての皆様に深く感謝申し上げます。

本論文の主査をお引き受けくださった北海道大学工学研究院 岡田成幸教授には、研究・論文等全般にわたるご指導をいただき深く感謝しております。先生とは私が学部生として研究室への配属に始まり、就職後に先生が名古屋工業大学にいらっしゃった際には研究生として受け入れて頂き、先生が北海道防災会議地震火山対策部会専門委員会地震防災対策における減災目標策定に関するワーキンググループの座長となられたときには地震被害想定業務を請け負う立場として関わるなど、学業・研究・実務のさまざまな関わりのなかでご指導、ご助言をいただきました。特に業務の関係で休学をした間には励ましをいただき、本論文の被害率関数の査読論文をまとめる際には研究手法や論文構成などについて多くのサジェスションや丁寧なご指導いただきました。あらためて深く感謝しております。

北海道大学工学研究院 岡崎太郎教授、飯場正紀教授には、ご多忙中のなか、本論文の審査をお引き受け頂き、論文の独自性や実務へのつながりなど研究内容・展開についてご指導、ご助言をいただきました。厚くお礼申し上げます。

また北海道大学工学研究院 小澤丈夫教授、菊地優教授、森傑教授、瀬戸口剛教授、羽山広文教授、千歩修教授、荻原亨教授には、審議委員として論文内容に関する貴重なご指摘やご意見をいただき、深く感謝しております。

本論文の作成は、北方建築総合研究所において共同で実施した木造住宅調査や地震被害想定研究成果、知見に拠っています。北海道の木造住宅の調査研究として、既存木造住宅の構法仕様については、十河哲也氏とともに調査を行うとともに、氏より貴重なご助言・資料をいただきました。地域における木造住宅の耐震性能の実態調査については、南慎一氏、高橋章弘氏とともに共同で自治体調査を実施し、本論文の作成に関わる貴重な診断結果資料を得ています。地震被害想定調査研究として、平成 24 年から 28 年まで 5 年間実施した北海道からの委託業務については、南慎一氏、高橋章弘氏、戸松誠氏、石井旭氏、渡邊和之氏と共同で研究を実施するとともに、私が所属する地域研究部のメンバーの協力のもとで全道市町村からデータ収集を行い、被害計算の基礎となる 179 市町村の建物データベースを構築しています。皆様と共同で行いました調査研究がなくしては、本論文は成し得ませんでした。

また木造住宅の各種データについては、研究を通じて道内市町村や北海道庁・各振興局、関連団体などから提供いただきました。あらためて感謝申し上げます。

社会人博士課程に在籍した間、北方建築総合研究所の皆様にご配慮いただきありがとうございました。特に本論文をまとめる追い込みの時期が、胆振東部地震や西日本豪雨など災害調査や取りまとめの非常に忙しい時期と重なり、業務面で大変ご配慮いただきました鈴木大隆本部長、松村博文地域研究部長、戸松誠研究主幹に厚くお礼申し上げます。また、退職された南慎一氏、大柳佳紀氏の両氏には寒研に勤務となった日からも含めて公私にわたり大変お世話になりました。

同じ防災研究分野である、北海道大学工学研究院 中嶋唯貴助教と北方建築総合研究所 戸松誠氏には、日頃から論文の進捗を気にかけて頂き、また時には刺激のあるご助言を頂くことで目が覚めるような思いでした。いつもありがとうございます。

最後に、北方建築総合研究所（旧 寒地住宅都市研究所）における防災研究のなかで、平成7年兵庫県南部地震以降から、自治体の地震被害想定について継続した研究が実施されています。被害想定の中で全国に比較して耐震性が高いであろう北海道の木造住宅の被害予測式を検討することも課題のひとつでした。私は被害予測式を研究する機会を得て、北海道の地震被害想定の研究に担当として関わり、実際に被害予測式を適用しました。こうした経験を踏まえて本論文の被害率関数の構築方法としてまとめました。

地震被害想定の研究は、南慎一氏が科長（主査）の際に始められたもので、氏の博士論文としてまとめられています。私が寒地住宅都市研究所に配属され、氏と出会って研究業務の進め方について多くのことを教えて頂き、被害想定研究に関わるきっかけとなりました。残念ながら先年にお亡くなりになり、本論文をみて頂くことは叶いませんでした。ここに記して謝意を表します。

2019年2月 竹内 慎一