

道内の既存木造住宅における  
耐震性能の推計に関する研究

Study on Estimation of Seismic Performance  
of Existing Wooden Houses in Hokkaido

千葉 隆史<sup>1)</sup>、竹内 慎一<sup>2)</sup>  
Takafumi Chiba<sup>1)</sup>, Shinichi Takeuchi<sup>2)</sup>

地方独立行政法人北海道立総合研究機構  
建築研究本部  
建築性能試験センター

Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

---

<sup>1)</sup> 安全性能部構造判定課主査 <sup>2)</sup> 北方建築総合研究所地域研究部環境防災グループ主査

<sup>1)</sup> Chief of Structural Safety Judgment Section <sup>2)</sup> Chief of Disaster Prevention and Environment Group, Northern Regional Building Research Institute

平成 30 年度道受託業務報告書

(1) 道内の既存木造住宅における耐震性能の推計に関する  
研究業務

平成 31 年 3 月

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 建築研究本部  
建築性能試験センター  
北方建築総合研究所

## 目 次

1. 研究の目的	… I-1
2. 研究の概要	… I-1
3. 評価要素の影響度の整理	… I-2
4. 評価要素の存在割合の整理	… I-9
5. 複数要素の関連性分析と評価方法の検討	… I-12
6. 耐震性能の推計	… I-15
7. まとめ（研究総括）	… I-18
8. 今後の研究とその方向性	… I-18

### 【資料編】

評価要素の存在割合の整理（4章）に関する資料	
支庁毎の建物2階の短辺長さ分布	… I-資 1
支庁毎の屋根形状分布	… I-資 6

## 1. 研究の目的

本研究では、北海道耐震改修促進計画において住宅・建築物の耐震化計画を推進するため、既存住宅の潜在的な耐震性能などを評価に採り入れるとともに、補足された評価手法などを反映することにより、道内における既存木造住宅の現況に即した耐震性能について推計を行い、これらの耐震性能に基づき道内既存木造住宅全体の耐震化率を推計するため基礎的なデータを提供することを目的とする。

## 2. 研究の概要

北海道の木造住宅は、気候特性である積雪寒冷への対応が潜在的な耐震性能を産み、比較的耐震性能が高いと言われてきた。このことから、「本道の地域特性を踏まえた既存木造住宅の耐震性評価に関する研究（以下、「既存木住」）」<sup>1)</sup>では、既往文献の調査と整理および過去に実施された耐震診断の結果情報等から北海道の住宅形態の特徴について収集・分析を行うとともに、一般診断法による耐震性能の評価手法に関しても検証を行い、北海道の木造住宅が持つ特徴が反映されていない項目とその影響について把握してきた。

その結果、軒の有無あるいはその面積割合による屋根重量評価、および建物四隅における直交壁の存在による壁耐力評価など耐震性能に影響のある様式や形態が存在しており、これらの項目に耐震性能の向上効果が認められる一方、現在のところこれらの効果は「木造住宅の耐震診断と補強方法」<sup>2)</sup>の一般診断法には採り入れられていないことが判ってきた。

また、耐震性能の評価手法に関しては、平成 18 年の北海道耐震改修促進計画策定時点では積雪による柱頭・柱脚接合部の引き抜き抑え込み効果が明らかになっていなかったことから、これによる評価が耐震化率などの計算に反映されていない。

そこで、(1) 北海道の既存木造住宅の耐震性能に寄与する様式や形態のうち、一般診断法による耐震診断において評価されていない要素から対象要素を抽出の上、耐震性能へのそれぞれ個々の影響度を整理して、(2) 「既存木住」で収集した「北海道 R 住宅システム・H23 プロジェクト（以下、「北海道 R 住宅」）」データに加え、「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（以下、「実態把握」）」<sup>3)</sup>で収集した道の無料耐震診断データなどを用いて、耐震性能に寄与する様式や形態のうち、耐震性能に影響する要素を持つ既存木造住宅の割合を整理した。そして、(3) 耐震性能に影響する要素が複数存在する住宅について、1つの要素が他の要素に与える影響の有無やその発生割合などを北海道 R 住宅データを用いて分析して、相互の関連性を考慮した評価方法などを検討したのち、(4) (1)～(3)の結果を考慮して、北海道内の既存木造住宅における耐震性能の分布状況について推計を行った。

### 3. 評価要素の影響度の整理

「既存木住」では木造住宅の耐震性能評価に関する既往の研究成果や文献から、構造計画や様式・形態に関する定性的な地域特性について把握を行った。その中から主な項目として、軽量の鋼板屋根の使用といった建物重量に直接的に影響するような項目、厚みがあり剛性が高い面材壁が多用され、窓開口が小さいため壁が多く、間仕切りも耐震壁となるなど建物耐力に直接的に影響するような項目が多く見られたが、これらの多くは既に直接的に、または間接的に何らかの形で耐震診断法に採り入れられているものであった。そこで、北海道 R 住宅データを用いて分析を行ったところ、建物規模や屋根形状といった住宅形状にも特徴が見られ、これらも間接的に建物重量や建物耐力に影響しており、かつ評価に反映されていない要素も散見されたことから、これらに着目して潜在的な耐震性能を評価することとした。

「既存木住」において要素の影響度を比較した結果などを参照して、影響度の小さい要素は評価対象から外した。残った要素について、構造評点の変化をまとめた。ここで、「既存木住」では北海道 R 住宅データ全体に対する構造評点の変化を示していたが、今回の研究では道無料耐震診断データの存在割合も考慮して構造評点の変化を精査することから、影響度と存在割合を分離させることとした。

#### (1) 評価対象としない要素とその考察

##### 1) 屋根勾配による積雪荷重の低減

北海道の木造住宅に比較的に見られる 2 階床面から建物頂部まで連続するような屋根では 20° を上回る屋根勾配を有している場合が多いが、「木造住宅の耐震診断と補強方法」では多雪区域における「単位面積あたりの積雪荷重」として、「屋根の勾配による低減係数」は屋根勾配を 20° と設定して算定している。そこで「既存木住」では、建築基準法施行令第 86 条第 4 項に規定された「屋根形状係数」に基づき個別に積雪荷重の「屋根の勾配による低減係数」を行って「床面積あたりの必要耐力」の算出を行い、構造評点の違いについて検証した。

図 1-3-1 に屋根勾配が 20° を上回る建物について、一律 20° の屋根勾配に基づく積雪荷重の「屋根の勾配による低減係数」による構造評点と、個別の屋根勾配に基づく積雪荷重の「屋根の勾配による低減係数」による構造評点の比較を示す。積雪荷重の「屋根の勾配による低減係数」の違いによる構造評点への影響は小さく、差は極めて少なかった。これは、多雪区域の建物でも“積雪時の構造評点”よりも“無積雪時の構造評点”の方が低く、個別の「屋根の勾配による低減係数」を考慮しても構造評点に変化しない建物も存在することもあるが、「単位面積あたりの積雪荷重」の評価において 20° の屋根勾配を元々考慮していることが原因として考えられた。

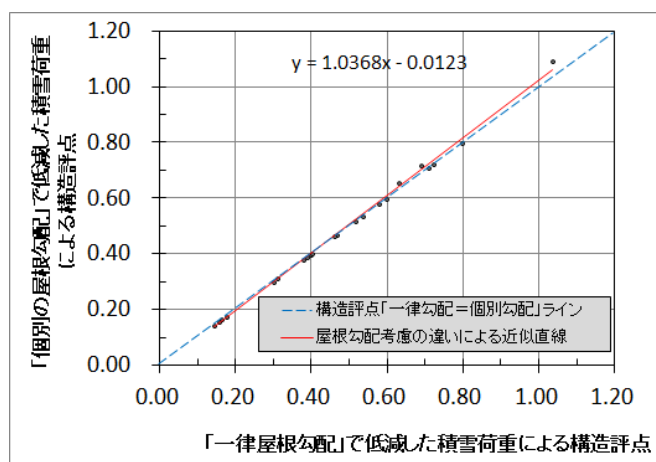


図 1-3-1 積雪荷重低減における屋根勾配評価方法による構造評点の比較

## 2) 基礎根入れ深さによる地震応答の低減

北海道の木造住宅では、地盤の凍結深度を考慮することにより基礎梁の根入れが深くなることから、入力地震動が作用したときには根入れ抵抗が比較的大きく、地盤逸散の効果により上部構造の応答性状が小さくなると考えられる。そこで「既存木住」では基礎根入れ効果の応答性状への影響について解析して、根入れによる応答の減少傾向が普遍的に評価できるか確認した。

最大応答変形量について、根入れ効果を考慮しない応答変形量に対する根入れ効果を考慮した応答変形量の比率を表1-3-1～3に示す（解析の詳細は文献1）参照）。基礎根入れによる効果を考慮すると低減する場合もあるが、地盤および地震波によっては変形量が増大する場合も確認された。これらの結果から、根入れによる効果は建設地の地盤特性や地震動によっては普遍的に効果が得られるとは言い難い。

表1-3-1 粘性土地盤壁量充足モデルの応答変形量比

壁量充足モデル		根入れ効果考慮応答変形量／根入れ効果なし応答変形量			
	階	JMA神戸 観測波	告示波 (JMA神戸位相)	告示波 (八戸NS位相)	告示波 (ランダム位相)
		N値10粘性土層地盤 積雪有り	2	1.17	1.03
	1	1.01	1.32	1.07	1.00
N値10粘性土層地盤 積雪無し	2	0.99	1.02	1.06	1.07
	1	0.98	1.05	1.03	1.18

表1-3-2 砂層地盤壁量不足モデルの応答変形量比

壁量不足モデル		根入れ効果考慮応答変形量／根入れ効果なし応答変形量			
	階	JMA神戸 観測波	告示波 (JMA神戸位相)	告示波 (八戸NS位相)	告示波 (ランダム位相)
		N値30砂層地盤 積雪有り	2	1.04	1.03
	1	0.99	1.15	1.26	1.11
N値30砂層地盤 積雪無し	2	1.05	1.02	0.97	0.90
	1	0.99	0.96	1.20	1.16

表1-3-3 砂層地盤壁量充足モデルの応答変形量比

壁量充足モデル		根入れ効果考慮応答変形量／根入れ効果なし応答変形量			
	階	JMA神戸 観測波	告示波 (JMA神戸位相)	告示波 (八戸NS位相)	告示波 (ランダム位相)
		N値30砂層地盤 積雪有り	2	1.17	1.04
	1	1.01	1.21	1.13	1.11
N値30砂層地盤 積雪無し	2	0.99	1.06	1.00	1.08
	1	0.98	0.96	1.06	1.21

### 3) 建物2階床面積の精算

「木造住宅の耐震診断と補強方法」の一般診断法では、“床面積あたりの必要耐力”の算出方法として建物を総2階と想定して算出した「略算法」に加え、各階の床面積を考慮した「精算法」が用意されている。「既存木住」では、この2通り“床面積あたりの必要耐力”の設定方法について比較を行った。

「略算法」と「精算法」で比較した結果を図1-3-2に示す。「略算法」と比べた「精算法」の“床面積あたりの必要耐力”は、1階では小さく、2階ではほぼ同程度となる。このことから、「各階の床面積を考慮した必要耐力の算出法【精算法】」を用いた方が、1階は適切な診断結果を得られる可能性が高い。「実態把握」では既に「各階の床面積を考慮した必要耐力の算出法【精算法】」を併用した診断を行っていることから、本研究では評価対象から外すこととした。

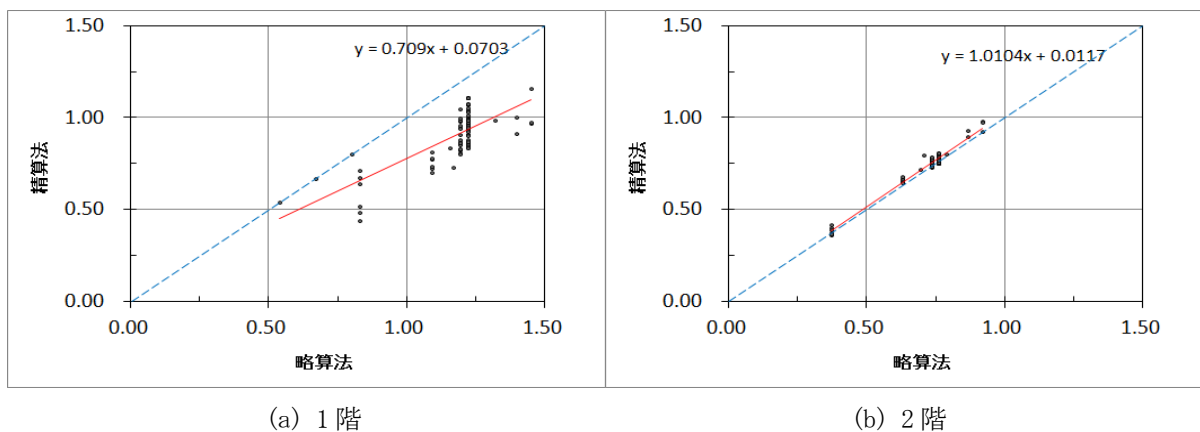


図1-3-2 “床面積あたりの必要耐力”の比較

## (2) 評価対象とした要素とその影響度

### 1) 建物2階の短辺長さ

耐震診断の一般診断法における必要耐力は平均的な木造住宅から導きだされており、特に短辺幅が短い細長い建物では床面積に対するケラバ・軒の出及び壁の割合が相対的に大きくなることから、荷重が低めに算出される傾向がある。必要耐力の算出根拠となった「床均し荷重」は、平均的な木造住宅で整形な建物（形状比 短辺：長辺=1：2程度）から導き出された値である。このため、短辺長さが6.0[m]未満の細長い建物では荷重が低めに算出される傾向があり、短辺長さが6.0[m]未満の建物には割増しを行って必要耐力を補正する必要がある。

一般診断法では、このことを考慮して短辺長さ4.0~6.0[m]に対応する割増係数(=1.15)を予め見込み、短辺長さが6.0[m]以上の建物も含めて割増した「床面積あたりの必要耐力」を設定している。以上のことから、短辺長さが6.0[m]以上の建物では本来は必要耐力を割増しする必要はないが、現行の一般診断法ではその略算的な診断手法を鑑みて短辺長さが6.0[m]未満の建物と同様に割増した「床面積あたりの必要耐力」が用いられている。

表1-3-4に短辺長さが6.0[m]以上の建物に適用する「床面積あたりの必要耐力」を示す。これは、「木造住宅の耐震診断と補強方法」において2階建ての1階、3階建ての1,2階に乗せられていた短辺長さ4.0~6.0[m]に対応する割増係数(=1.15)を除いたものである。表1-3-4に赤字で示した「床面積あたりの必要耐力」が、「木造住宅の耐震診断と補強方法」で使用されている「床面積あたりの必要耐力」を割増係数で除した箇所である。

北海道R住宅データを用いて、短辺長さが6.0[m]以上の建物を「短辺長さ考慮」により耐震性能を求めた場合と現行の評価方法で耐震性能を求めた場合で比較した結果を図1-3-3に示す。短辺長さが6.0[m]以上の建物で耐震性能は4.6[%]向上した。

表 1-3-4 6.0[m]以上の建物に適用する床面積あたりの必要耐力：[kN/m<sup>2</sup>]

対象建物		軽い建物	重い建物	非常に重い建物
平屋建て		0.28Z	0.40Z	0.64Z
2階 建て	2階	0.37Z	0.53Z	0.78Z
	1階	0.72Z	0.92Z	1.23Z
3階 建て	3階	0.43Z	0.62Z	0.91Z
	2階	0.85Z	1.09Z	1.38Z
	1階	1.17Z	1.44Z	1.80Z

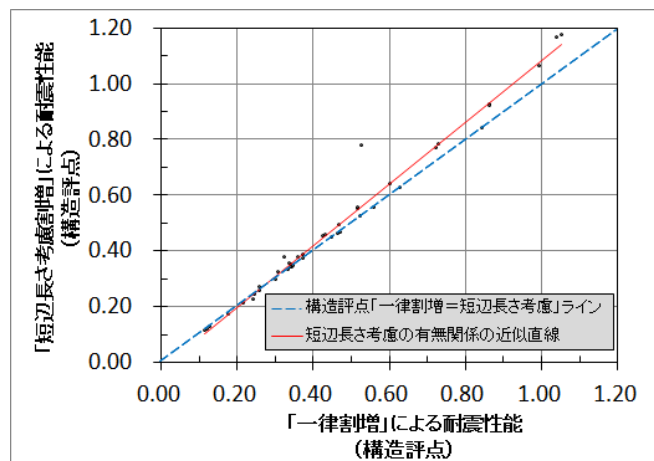


図 1-3-3 「短辺長さ考慮」による耐震性能の比較

## 2) 軒・ケラバのない無落雪屋根

軒・ケラバの出が殆どない無落雪屋根でも、1)と同様な理由により「床面積あたりの必要耐力」設定の際に見込む積雪荷重及び屋根荷重に軒・ケラバの出による面積割増 (=1.3) が過剰に見込まれている。そこで軒・ケラバの出が全くない建物について、この面積割増を行う前の「床面積当たりの屋根荷重」により「床面積あたりの必要耐力」を設定する。

表 1-3-5 に「床面積あたりの必要耐力」を設定する元となる「床均し荷重」を、表 1-3-6 にそれを用いて設定した「床面積あたりの必要耐力」を示す。表 1-3-5 に赤字で示した「床面積当たりの屋根荷重」が、「木造住宅の耐震診断と補強方法」で使用されている「床面積あたりの屋根荷重」を面積割増で除した「床面積当たりの屋根荷重」である。

これ以外の「床均し荷重」については、「木造住宅の耐震診断と補強方法」で使用されている「床面積当たりの荷重」を用いている。これら「床均し荷重」を用いて、「木造住宅の耐震診断と補強方法」と同様に各階の床面積が等しいとして各階質量を設定して、層せん断力係数分布  $A_i$  分布に基づき「床面積あたりの必要耐力」を求めた結果が表 1-3-6 に示す「床面積あたりの必要耐力」である。

積雪荷重に対する面積割増についても、同様に調整して積雪荷重による「床面積あたりの必要耐力」の加算分を設定する。即ち、「単位面積あたりの積雪荷重」として  $0.010d$  [kN/m<sup>2</sup>] ( $=0.013d/1.3$ ;  $d$ : 積雪深 [cm]) を「床均し荷重」に加えて「床面積あたりの必要耐力」を設定して、積雪荷重を考慮していない場合の「床面積あたりの必要耐力」との差分を積雪荷重による加算分とする。なお、その結果に基づく積雪荷重による「床面積あたりの必要耐力」の加算分は、積雪 1[m] のとき  $0.26Z$  [kN/m<sup>2</sup>]、積雪 2[m] のとき  $0.52Z$  [kN/m<sup>2</sup>]、積雪 1~2[m] のときは直線補間した値と大きく変わらないことから、一律の面積割増を行う場合と同一の値を用いることとする。



図1-3-5に北海道 R 住宅データにおいて軒・ケラバの出が全くない建物について、その屋根形状を反映した屋根荷重および積雪荷重による耐震性能の比較を示す。軒・ケラバのない屋根形状を反映した耐震性能は、一律の面積割増された「床面積あたりの必要耐力」を用いて算定した耐震性能に比べて 8.8[%] 向上する結果となった。

表1-3-5 面積割増を行っていない屋根荷重を含む「床均し荷重」

床均し荷重 [kN/m <sup>2</sup> ]	A. 屋根	B. 外壁	C. 内壁	D 1. 床	D 2. 積載荷重
① 軽い建物	0.70	0.75	0.20	0.60	0.60
② 重い建物	0.95	1.20	0.20	0.60	0.60
③ 非常に重い建物	1.95	1.20	0.45	0.60	0.60

表1-3-6 屋根荷重に面積割増を行っていない「床面積あたりの必要耐力」

対象建物		軽い建物	重い建物	非常に重い建物
平屋建て		0.23Z	0.33Z	0.55Z
2階 建て	2階	0.30Z	0.44Z	0.67Z
	1階	0.77Z	0.98Z	1.31Z
3階 建て	3階	0.35Z	0.51Z	0.78Z
	2階	0.91Z	1.16Z	1.47Z
	1階	1.28Z	1.58Z	1.97Z

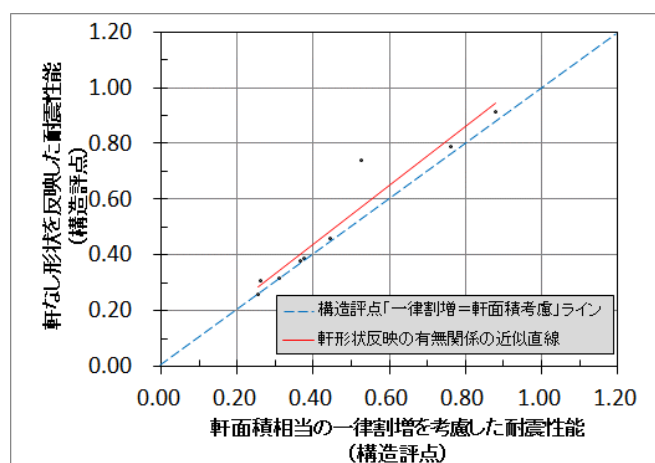


図1-3-5 軒・ケラバのない屋根形状を反映した耐震性能との比較

### 3) 建物1階隅角部の直交壁

北海道の木造住宅は、断熱性を考慮した結果、窓開口が比較的小さい傾向が見られ、積雪荷重への対応と断熱上の優位性から、建物の隅角部には壁を設ける傾向がある。北海道 R 住宅データの分析によると、隅角部の約 3/4 の面で壁があり、その 9 割が耐力壁となっている。また、壁が存在する隅角部の約 3/4 である全体の 6 割弱で X 方向、Y 方向ともに壁が存在している。この隅角部のように直交する壁がある箇所では、直交する壁により柱の引き抜き力に対する抵抗能力が増して壁の持つ耐力をより活かすことができ、ひいては建物全体の耐力が付加されることも期待できる。

そこで、直交壁による付加性能（耐力）に関する検証実験を行って接合部を含めた壁単体の耐力向上率を把握したのち、直交壁の効果を考慮する箇所や壁長などについてパラメトリック解析を行い、平均的な

構造評点の改善率をもって要素の影響度とした。なお、壁の強さは「壁強さ倍率」に「壁長」と「柱接合部による低減係数」を乗じたものであり、直交壁による効果は主に「柱接合部による低減係数」の改善によるものであるが、ここでは「壁強さ倍率」と「壁長」は直交壁の効果を検討する前後で同一であるため、簡便化のためにこれらの積である壁の強さに対する耐力向上率に整理して評価を進めていく。

直交壁の付加性能による効果である壁単体の耐力向上率（面材系のみ）を表1-3-7に、構造評点の改善率を表1-3-8および表1-3-9に示す。なお、「既存木住」において一部の壁強さ倍率で面材と芯材に取り違えがあったことから、構造評点の改善率は修正を行っている。

表1-3-7 壁耐力の実験値と耐力比

耐力要素	平面形状	壁形状		短期基準せん断耐力 [kN]	L型/I型耐力比
		加力面	直交面		
サイディング (横直張り)	I型	フル壁	—	0.74	2.80
	L型	フル壁	フル壁	2.09	
	I型	垂壁+腰壁	—	0.91	1.02
	L型	垂壁+腰壁	フル壁	0.93	
サイディング (通気胴縁)	I型	フル壁	—	1.16	1.30
	L型	フル壁	フル壁	1.51	
	I型	垂壁+腰壁	—	0.61	1.58
	L型	垂壁+腰壁	フル壁	0.96	
シーリングボード	I型	フル壁	—	1.55	1.54
	L型	フル壁	フル壁	2.37	
構造用合板	I型	フル壁	—	1.73	2.13
	L型	フル壁	フル壁	3.67	
構造用パネル (OSB)	I型	フル壁	—	1.36	2.91
	L型	フル壁	フル壁	3.97	

表1-3-8 直交壁による構造評点改善率の比較（対象壁長 $\leq 0.910$ [m]とした場合）

直交壁の効果を検討する範囲		直交壁の付加耐力（耐力割増倍率）による構造評点の改善率 [%]							
		$\times 1.25$	$\times 1.50$	$\times 1.75$	$\times 2.00$	$\times 2.25$	$\times 2.50$	$\times 2.75$	$\times 3.00$
隅角部耐力壁のみ考慮	内壁考慮	1.18	2.05	2.55	3.15	3.57	4.65	5.30	5.80
	内壁無視	1.46	1.50	2.13	2.30	2.48	2.82	3.65	4.07
隅角部無開口壁全て考慮	内壁考慮	1.24	2.05	2.52	3.17	3.76	4.87	5.57	6.11
	内壁無視	1.51	1.48	2.11	2.30	2.60	2.94	3.81	4.26
外部無開口壁全て考慮	内壁考慮	1.51	2.57	3.29	4.47	5.43	6.71	7.69	8.61
	内壁無視	1.65	1.68	2.41	2.75	3.01	3.41	4.34	4.86

表 1-3-9 直交壁による構造評点改善率の比較 (対象壁長 $\leq 1.820$ [m]とした場合)

直交壁の効果を考慮する範囲		直交壁の付加耐力 (耐力割増倍率) による構造評点の改善率 [%]							
		$\times 1.25$	$\times 1.50$	$\times 1.75$	$\times 2.00$	$\times 2.25$	$\times 2.50$	$\times 2.75$	$\times 3.00$
隅角部耐力壁のみ考慮	内壁考慮	1.39	2.21	3.39	4.24	5.11	6.29	6.94	7.43
	内壁無視	1.65	1.74	2.31	3.08	3.66	3.97	4.38	5.24
隅角部無開口壁全て考慮	内壁考慮	1.46	2.18	3.37	4.28	5.32	6.56	7.27	7.79
	内壁無視	1.70	1.72	2.25	3.05	3.78	4.13	4.58	5.44
外部無開口壁全て考慮	内壁考慮	1.78	2.94	4.67	6.07	7.21	8.77	9.85	10.87
	内壁無視	1.83	1.97	2.56	3.52	4.24	4.66	5.21	6.12

直交壁の付加性能を考慮した場合の構造評点は 1.1~10.9 [%] 改善したが、対象壁長を実験と同じ 0.910[m]、フル壁の平均的な L 型試験体 / I 型試験体の耐力比 (表 1-3-7 参照) から「 $\times 2.00$ 」、内壁による耐力向上や隅角部以外の直交壁効果を安全側に無視して、直交壁要素の影響度は 2.3[%] とする。

#### 4) 積雪による柱頭・柱脚接合部の引き抜き抑え込み効果

2004 年に改訂された「木造住宅の耐震診断と補強方法」では、必要耐力の算定に当たっては「床面積あたりの必要耐力」に「積雪深」による加算を求めている。一方、保有耐力の算定に当たっては積雪荷重による柱頭・柱脚接合部の引き抜き力が抑えられる効果を見込んでいない「柱接合部による耐力低減係数」しか示されていなかった。雪荷重が作用した状態に地震力が同時に作用した場合は柱頭・柱脚接合部の引き抜き力が抑えられることから、平成 20 年 (2008 年) に「一般診断法および精密診断法 1 における多雪区域の耐震診断について」<sup>4)</sup>で積雪を考慮した柱接合部による低減係数が補足され、評価する方法が示された。

即ち、多雪区域において一般診断法を用いて診断を行う場合には、積雪を考慮しない必要耐力と柱接合部の低減係数による“無積雪時の構造評点”と積雪を考慮した必要耐力と柱接合部の低減係数による“積雪時の構造評点”の両者を求め、低いほうの構造評点を当該建物の耐震診断評点とすることとされた。

図 1-3-6 に 2004 年版の必要耐力のみに積雪荷重を考慮した評価方法による構造評点 (以下、「2004 年版の方法」という) と、2008 年に補足された無積雪時と積雪時の評点の低いほうによる構造評点 (以下、「2008 年補足の方法」という) の比較を示す。積雪を考慮した必要耐力と柱接合部の耐力低減係数を用いると、耐震性能は 18.0[%] 向上した評価となる。

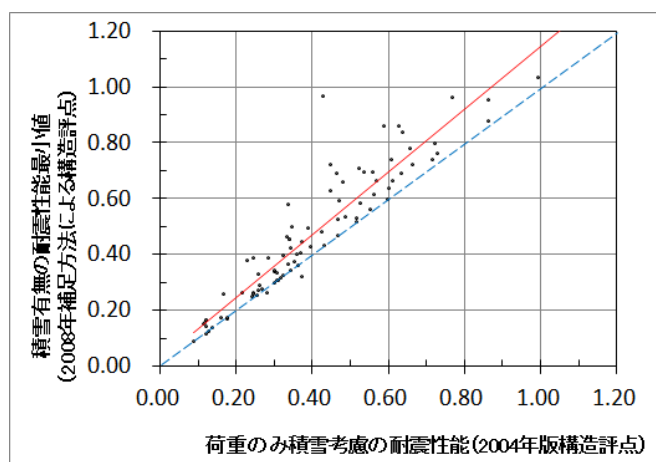


図 1-3-6 積雪を考慮した柱接合部による耐力低減係数を反映した耐震性能との比較

以上のことから、「建物2階の短辺長さ」「軒・ケラバのない無落雪屋根」「建物1階隅角部の直交壁」および「積雪による柱頭・柱脚接合部の引き抜き抑え込み効果」を評価対象として「耐震性能向上率」を検討することとした。

#### 4. 評価要素の存在割合の整理

「既存木住」では、「北海道R住宅」データ100棟を対象として、改修前の資料が十分に得られなかったもの(5棟)や構造計算により耐力評価を行ったため耐震診断を行っていないもの(1棟)を除いた94棟を対象に存在割合の分析を行った。本研究ではより多くのサンプルを用いて存在割合を検証するため、「実態把握」で収集した道無料耐震診断データ459棟も用いて存在割合の分析を行う。

##### (1) 建物2階の短辺長さ

###### 1) 北海道R住宅

「既存木住」では分析対象とした「北海道R住宅」94棟のうち2階建ての住宅91棟について、建物2階の主要な短辺幅に関する存在割合の分析を添付図面に基づき行った。

分析の結果を図1-4-1に示す。「形状割増係数」による追加補正が必要となる短辺長さ4.0[m]未満の建物も11棟(12.1[%])あるが、本来は必要耐力を割増しする必要はない短辺長さが6.0[m]以上の建物も42棟(46.2[%])ある。更に、短辺長さが7.0[m]以上である建物も17棟(18.7[%])存在して、短辺長さの最大値は9.0[m]であった。

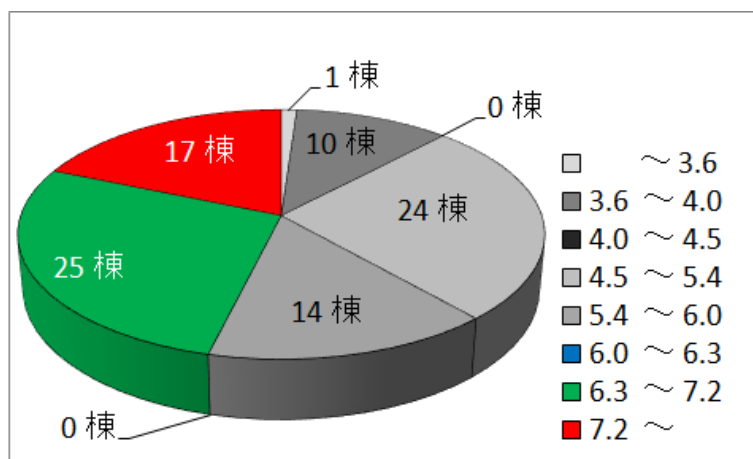


図1-4-1 「北海道R住宅」における建物2階の短辺長さ分布：[m]

###### 2) 道無料耐震診断

道無料耐震診断データ459棟のうち2階建ての住宅413棟について、建物2階の短辺幅に関する存在割合の分析を行った。なお、道無料耐震診断データは図面が保管されていない建物が多いため、短辺長さは基本的に電算プログラムによる診断データに基づき集計を行い、電算プログラムのデータに疑義がある建物およびデータが保管されていない建物に限り図面を参照して集計を行った。

分析の結果を図1-4-2に示す。「形状割増係数」による割増しが不要な短辺長さが6.0[m]以上の建物は171棟(41.4[%])あり、「北海道R住宅」に比べると若干比率は少ないもののほぼ同様の存在割合であった。短辺長さ4.0[m]未満の建物は80棟(19.3[%])、7.0[m]以上である建物は97棟(23.5[%])と「北海道R住宅」より分散しており、その短辺長さの最大値も11.7[m]であった。

以上の結果より、「北海道R住宅」データと道無料耐震診断データでは短辺長さが6.0[m]以上の建物の存在割合はほぼ同等であったが、これ以降の耐震性能の推計にあたっては安全側に道無料耐震診断データの存在割合を用いる。

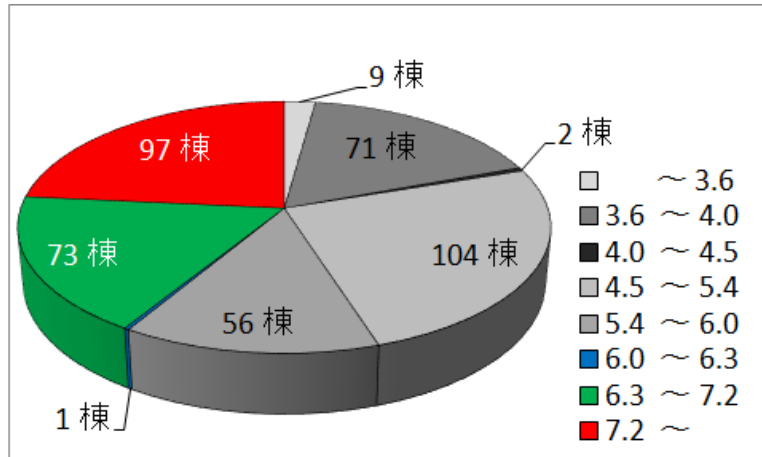


図1-4-2 道無料耐震診断における建物2階の短辺長さ分布：[m]

## (2) 軒・ケラバのない無落雪屋根

屋根形状を2階床面から建物頂部まで連続する“大屋根”、屋根勾配の殆どない“無落雪屋根”とその他の屋根形状（切妻屋根、寄棟屋根など）に大別して分類した。更に、“大屋根”については屋根の一部が片方向に45[°]以上の角度ももって葺かれているものを“折れ屋根”、角度が45[°]に満たないものを“勾配屋根”、屋根が両方向に2階床面から建物頂部まで連続しているものを“三角屋根”に細分類した。また、“無落雪屋根”についても軒・ケラバの出の有無で細分類を行った。なお、1つの建物で複数の屋根形状を持つ場合（2階は切妻屋根で1階は軒・ケラバのない“無落雪屋根”など）は、その他の屋根形状にカウントした。

### 1) 北海道R住宅

「既存木住」では、分析対象とした「北海道R住宅」94棟の屋根形状を添付された図面（立面図、断面図、矩計図など）と外観写真に基づき分類した。上記資料から判別が付かない屋根形状については、平面図（軒先の点線）などから極力判別を行った。

分類の結果を図1-4-3に示す。“無落雪屋根”は35棟（37.2[%]）存在するが、このうち軒・ケラバのない“無落雪屋根”は9棟（9.6[%]）あった。

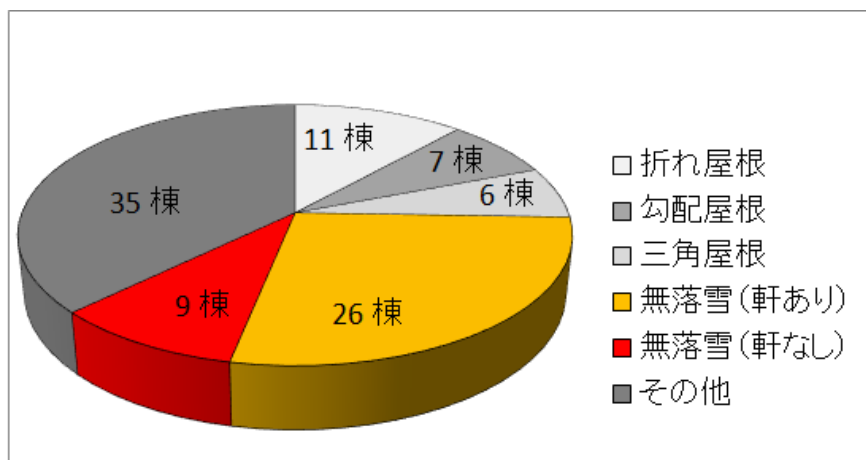


図1-4-3 「北海道R住宅」における屋根形状の分布

## 2) 道無料耐震診断

道無料耐震診断データ 459 棟も「北海道 R 住宅」データと同様に図面により屋根形状の分類を試みたが、道無料耐震診断データでは図面が保管されている建物は 206 棟に留まり、屋根形状を確認することが出来ない建物が非常に多く存在する結果となった。

道無料耐震診断データ全てを分類した結果を図 1-4-4 に、図面が保管されている屋根形状を確認することが出来た建物のみで分類した結果を図 1-4-5 に示す。屋根形状を確認することが出来た建物のうち、“無落雪屋根”は 34 棟 (16.5%) 存在して、このうち軒・ケラバのない“無落雪屋根”は 10 棟 (4.9%) あった。

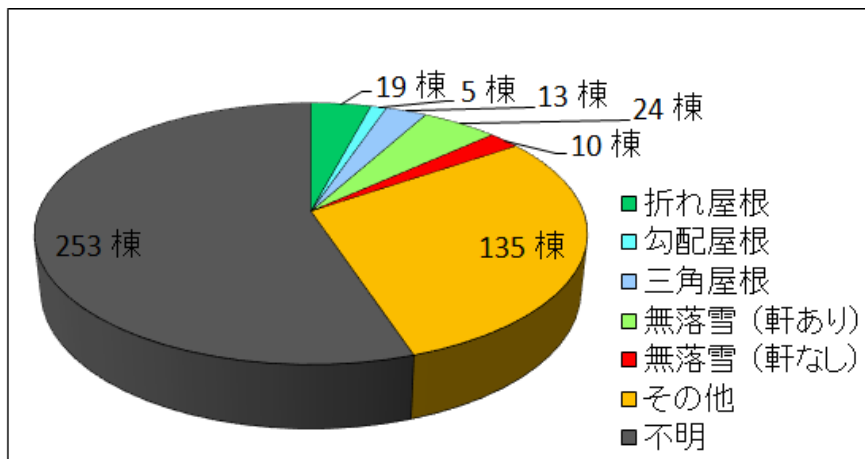


図 1-4-4 道無料耐震診断における屋根形状の分布 (全データに対する分布)

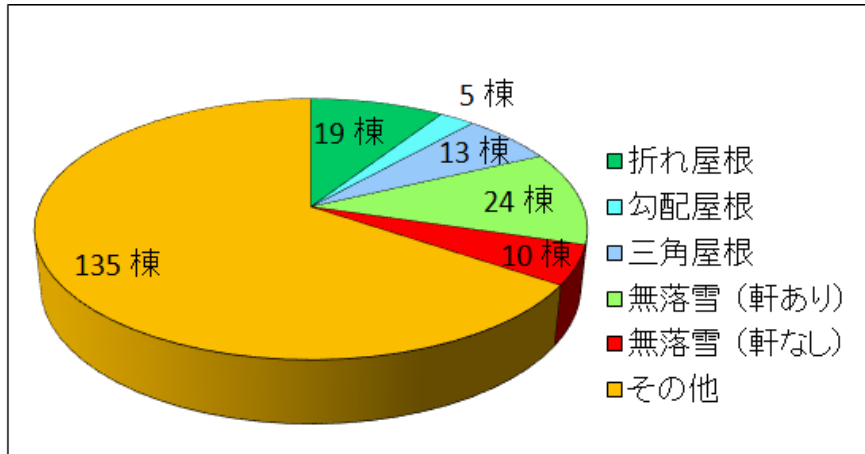


図 1-4-5 道無料耐震診断における屋根形状の分布 (屋根形状が確認できるデータに対する分布)

以上の結果より、軒・ケラバのない“無落雪屋根”は道無料耐震診断データでは「北海道 R 住宅」データに比べて約半分程度の存在割合であった。屋根形状が不明な建物も多数存在するが、軒・ケラバのない“無落雪屋根”は耐力割増側の影響を持つことから、耐震性能の推計にあたっては安全側に道無料耐震診断データの存在割合を用いる。

## 5. 複数要素の関連性分析と評価方法の検討

潜在的な耐力を考慮した耐震性能分布および耐震化率を推計するため、耐震性能の推計方法について検討を行う。これは、「実態把握」において道無料耐震診断データを用いて耐震性能分布および耐震化率を算定しているが、道無料耐震診断データに直ちに潜在耐力の影響を反映できるデータはない。そこで、北海道R住宅データを用いて潜在耐力の影響を反映させる評価方法について、検討を行う。

### (1) 複数要素の関連性分析

潜在的な耐震性能を持つ要素の影響について、「既存木住」では構造評点の変化で示した。これは影響度と存在割合を含めた形で示したものだが、本研究では道無料耐震診断データの存在割合を反映させるため影響度と存在割合を分離させることにして、3章で影響度のみを北海道R住宅データから抽出した。しかしながら、3章で抽出した影響度も、全ての建物に共通して影響度を持つものや他の要素に影響を与えない独立したものであれば問題はないが、他の要素の影響度と関係性がある要素も存在する。そこで、複数の要素が耐震性能に影響する項目について、関連性を整理する。

対象となる要素は、「建物2階の短辺長さ」と「軒・ケラバのない無落雪屋根」である。即ち、「建物2階の短辺長さ」が6.0[m]以上の建物では本来不要な形状割増を受けているが、同一建物の屋根が「軒・ケラバのない無落雪屋根」であった場合にはこちらも本来不要な軒・ケラバの出による屋根面積割増を受けている。形状割増は1階の構造評点に、屋根面積割増は主として2階の構造評点に影響するが、建物の構造特性（建物1・2階の構造評点）により影響の現れ方が異なるため、北海道R住宅データを用いて試算を行い、小さい方の構造評点を確定される要素とした。

「建物2階の短辺長さ」または「軒・ケラバのない無落雪屋根」の要素を持つ建物の棟数と、構造評点が高方の要素で確定される建物の棟数を表1-5-1に示す。「建物2階の短辺長さ」および「軒・ケラバのない無落雪屋根」の複数要素を持つ建物は6棟あり、そのうち4棟は「建物2階の短辺長さ」で、2棟は「軒・ケラバのない無落雪屋根」で構造評点が確定された。

表1-5-1 要素を持つ建物の棟数と他方の要素で構造評点が確定される建物の棟数

	建物2階の短辺長さ	軒・ケラバのない無落雪屋根
要素を持つ建物の棟数	42 [棟]	9 [棟]
他方の要素で構造評点が確定される建物の棟数	2 [棟]	4 [棟]
	(4.8[%])	(44.4[%])

### (2) 複数要素の評価方法の検討

対象とした潜在的な評価要素である「建物2階の短辺長さ」「軒・ケラバのない無落雪屋根」「建物1階隅角部の直交壁」および「積雪による柱頭・柱脚接合部の引き抜き抑え込み効果」を持つ建物の「耐震性能向上率」を検討する。各要素の影響度と存在割合を表1-5-2に示す。

「耐震性能向上率」の検討は推定値と試算値の比較により行った。それぞれの算出方法は以下の通りである。なお、「実態把握」では耐震性能分布および耐震化率を多雪区域と一般区域に分けて算定しているため、「耐震性能向上率」の推定値と試算値の算出・比較も多雪区域と一般区域および全区域について行う。

<推定値>

- 1) 各要素について、「影響度」と「存在割合」と「重複しない割合」の積（存在割合を考慮した影響度）を求める。なお、「建物1階隅角部の直交壁」については全ての建物を対象に影響度を求めているため、「存在割合」と「重複しない割合」は100[%]となる。「積雪による柱頭・柱脚接合部の引き抜き抑え込み効果」については多雪区域の全建物を対象に影響度を求めているため、この区域内の建物につい

ては「存在割合」と「重複しない割合」は100[%]となる。

- 2) 各要素の 1) で求めた「存在割合を考慮した影響度」の積を求め、これを「耐震性能向上率」の推定値とする。

表 1-5-2 評価対象要素とその影響度・存在割合

要素	影響度	存在割合 (うち、重複しない割合)
建物2階の短辺長さ	4.6[%]	46.2[%] (95.2[%])
軒・ケラバのない無落雪屋根	8.8[%]	9.6[%] (55.6[%])
建物1階隅角部の直交壁	2.3[%]	—
積雪による柱頭・柱脚接合部の 引き抜き抑え込み効果	18.0[%]	—

<試算値>

- 1) 各建物について、潜在的な評価を見込まないで構造評点を求める。
- 2) 各建物について、潜在的な評価要素の個々に見込まれる耐力の割増しなどを行う。
- 3) 2) で求めた各要素の耐力などを用いて、各建物の構造評点を求める。
- 4) 各建物について、1)の構造評点に対する 4)の構造評点の増加率を求める。
- 5) 全ての建物について、4)の平均値を求め、これを「耐震性能向上率」の試算値とする。

各区域の「耐震性能向上率」の推定値と試算値の比較を表 1-5-3 に示す。また、潜在的な評価を見込む前後の構造評点試算値の比較を図 1-5-1～3 に示す。

表 1-5-3 「耐震性能向上率」の推定値と試算値の比較

	対象棟数	推定値	試算値
全道	94[棟]	22.5[%]	23.3[%]
多雪区域	88[棟]	23.7[%]	25.1[%]
一般区域	6[棟]	5.4[%]	11.3[%]



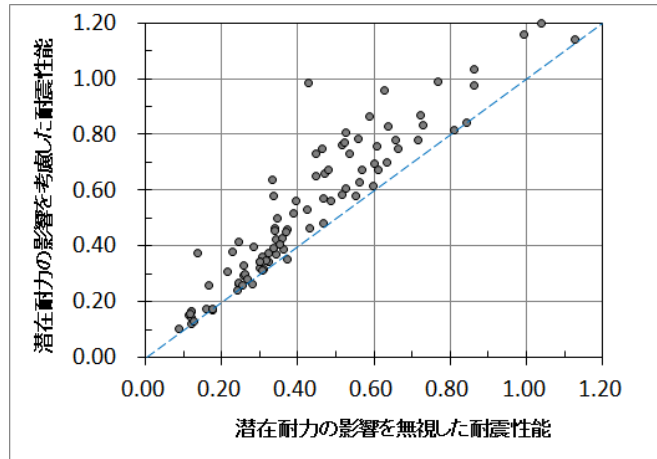


図1-5-1 潜在的な評価を見込む前後の構造評点試算値の比較（全区域）

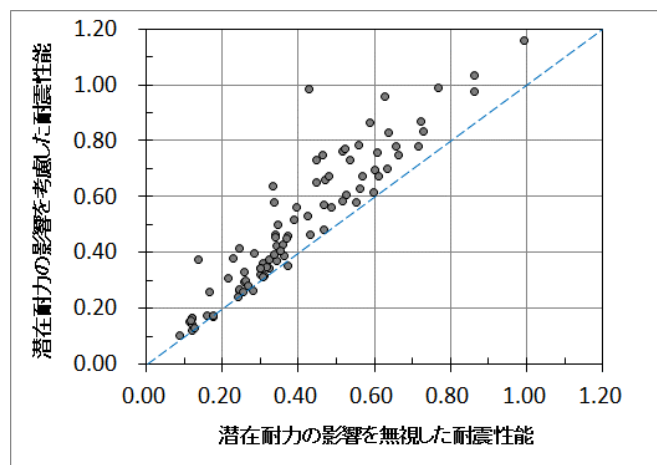


図1-5-2 潜在的な評価を見込む前後の構造評点試算値の比較（多雪区域）

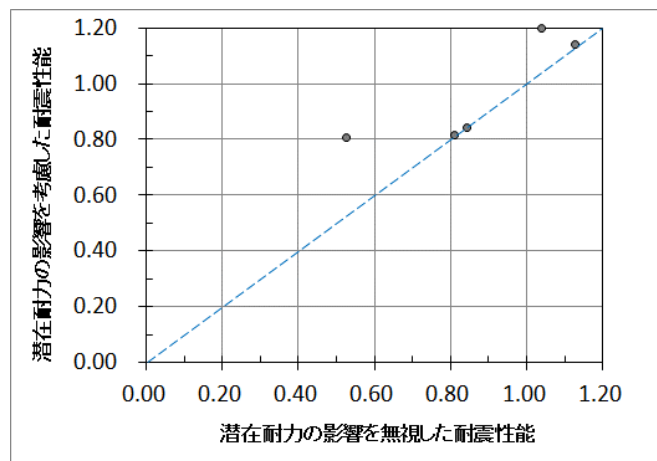


図1-5-3 潜在的な評価を見込む前後の構造評点試算値の比較（一般区域）

## 6. 耐震性能の推計

前章までで整理したデータや検討した推計手法を用いて「耐震性能向上率」を推計して、この「耐震性能向上率」を乗じて統計的推定による理論分布として対数正規分布とした耐震性能分布を補正する。また、統計分布から推定した診断ランク別割合から多雪区域、一般区域ごとの加重平均をとって全地域の耐震化率を推計する。

### (1) 耐震性能向上率の推計

3章で整理した影響度、4章で整理した道無料耐震診断データにおける存在割合を用いて、5章で検討した推計手法により「耐震性能向上率」を推計する。各要素の影響度と存在割合を表1-6-1に、それに基づく各区域の「耐震性能向上率」の推定値を表1-6-2に示す。

表1-6-1 評価対象要素とその影響度・存在割合

要素	影響度	存在割合 (うち、重複しない割合)
建物2階の短辺長さ	4.6[%]	41.4[%] (95.2[%])
軒・ケラバのない無落雪屋根	8.8[%]	4.9[%] (55.6[%])
建物1階隅角部の直交壁	2.3[%]	—
積雪による柱頭・柱脚接合部の 引き抜き抑え込み効果	18.0[%]	—

表1-6-2 耐震性能向上率の推定値

	対象割合	推定値
全道	—	17.7[%]
多雪区域	71[%]	23.2[%]
一般区域	29[%]	4.4[%]

5章で検討した北海道R住宅データを用いた推計値より、道無料耐震診断データでは「建物2階の短辺長さ」「軒・ケラバのない無落雪屋根」の存在割合が若干少ないため、「耐震性能向上率」も低めの値となった。

(2) 統計的推定による理論分布の推計

道無料耐震診断における各建物の構造評点が潜在的な要素により等しく耐震性能が向上すると仮定して、「(1) 耐震性能向上率の推計」で推計した平均的な「耐震性能向上率」を各区域に存在する全ての建物の構造評点に乘じ、その構造評点に基づき対数正規分布とした耐震性能分布を示す。潜在的な耐力を考慮した対数正規分布による期待値のうち、多雪区域の期待値を図1-6-1に、一般区域の期待値を図1-6-2に示す。

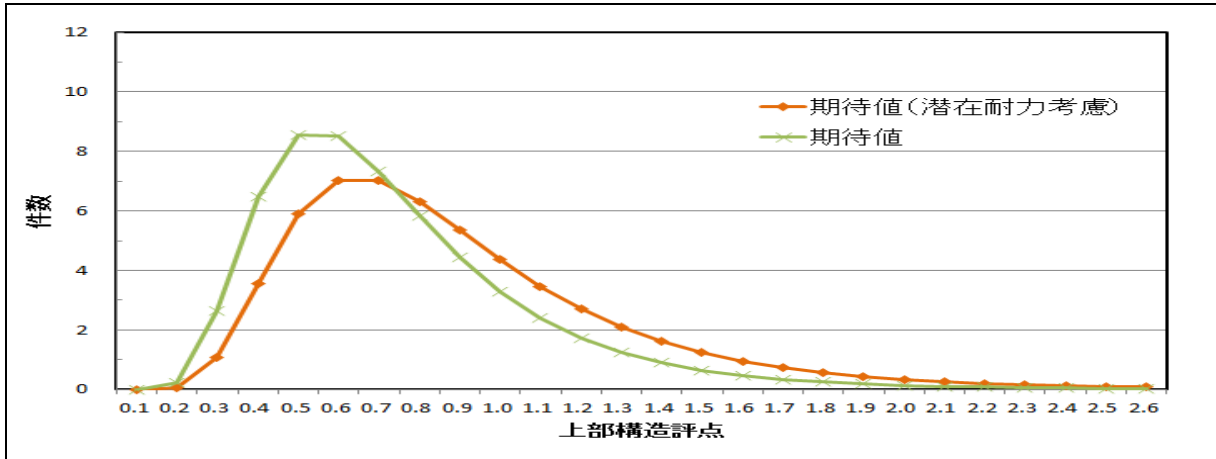


図1-6-1 潜在的な耐力を考慮した対数正規分布による期待値 (昭和56年以前, 多雪区域)

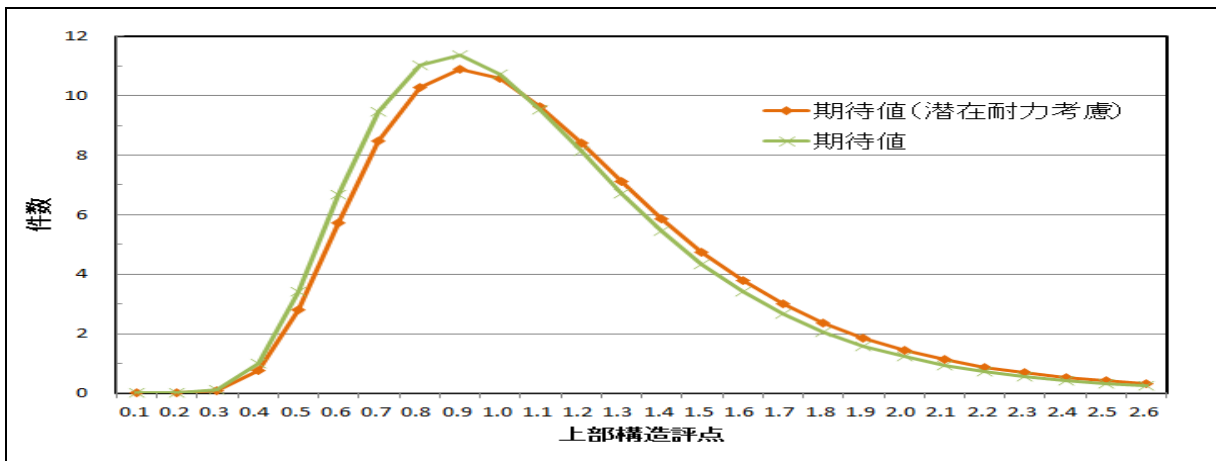


図1-6-2 潜在的な耐力を考慮した対数正規分布による期待値 (昭和56年以前, 一般区域)

期待値は「(1) 耐震性能向上率の推計」で示した「耐震性能向上率」の推定値の傾向を反映している。即ち、多雪区域では「耐震性能向上率」に比例して潜在的な耐力の考慮前後で構造評点は大きく改善したが、一般区域ではその差は僅かであった。

(3) 理論分布に基づく耐震化率

「(2) 統計的推定による理論分布の推計」で推計した対数正規分布から診断ランク別割合を求め、「実態把握」で行った統計分布に基づき加重平均をとって全地域の耐震化率を推計する。各区域の診断ランク別割合を表1-6-3に示す。

表1-6-3 耐震化率の推計値 (昭和56年以前)

診断ランク	多雪区域 (積雪1.0～ 2.0[m])	一般区域 (積雪1.0[m]未満)	全道
1.5以上	7.5[%] (3.2[%])	17.1[%] (14.5[%])	10.2[%] (6.4[%])
1.0～1.5未満	19.9[%] (12.3[%])	34.7[%] (33.2[%])	24.2[%] (18.3[%])
0.7～1.0未満	28.6[%] (24.1[%])	30.8[%] (32.2[%])	29.2[%] (26.4[%])
0.7未満	44.0[%] (60.4[%])	17.3[%] (20.1[%])	36.3[%] (48.9[%])

※ ()内は潜在耐力考慮前のランク別割合

潜在的な耐力を考慮して統計的推定による理論分布による推計の結果、昭和56年以前の耐震化率は34.4[%]となった。潜在的な耐力を考慮していない推計値である24.7[%]より9.7ポイント高くなる結果となった。

## 7. まとめ（研究総括）

北海道の既存木造住宅が持つ潜在的な耐震性能について、耐震診断で評価されていない要素および存在割合などを以下のように整理した。

- ・「屋根の勾配による低減係数」については、影響度が小さいことから評価対象から外すこととした。
- ・「基礎根入れ深さによる地震応答の低減」については、効果が普遍的に得られるとは言い難いことから評価対象から外すこととした。
- ・「建物2階床面積の精算」については、「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」で既に考慮されていることから評価対象から外すこととした。
- ・「建物2階の短辺長さ」「軒・ケラバのない無落雪屋根」「建物1階隅角部の直交壁」「積雪による柱頭・柱脚接合部の引き抜き抑え込み効果」の4要素について、個々の影響度を整理した。
- ・上記4要素について、北海道R住宅データ、道無料耐震診断データにおける存在割合を整理して、いずれも後者の存在割合の方が耐震性能推計上は安全側であることから、道無料耐震診断データの存在割合を用いることとした。

複数要素を考慮した耐震性能の評価については、以下の通り検討を行った。

- ・「建物短辺長さ」「無落雪屋根」の両要素を持つ建物について、その割合とどちらの要素で耐震性能が決定されるかを分析した。
- ・複数要素を持つ場合の「耐震性能向上率」を耐震診断の手順に従った試算と比較して、影響度・存在割合の積による推定の妥当性を北海道R住宅データで検証した。

これら整理・検討に基づき、耐震性能の分布状況および耐震化率の推計を行い、以下の結果を得た。

- ・「建物2階の短辺長さ」「軒・ケラバのない無落雪屋根」「建物1階隅角部の直交壁」「積雪による柱頭・柱脚接合部の引き抜き抑え込み効果」の4要素について潜在的な耐震性能を考慮することにより、耐震性能は全道平均で17.7[%]向上する。
- ・上記の耐震性能向上率を加味して耐震化率の推計を行うと、昭和56年以前の建物の耐震化率は9.7ポイント高い34.4[%]となる。

## 8. 今後の研究とその方向性

本研究において潜在的な要素などの影響を耐震性能の評価方法を検討して、道内における既存木造住宅全体の耐震性能について再推計を行った。しかしながら耐震性能に影響する要素でありながら、耐震性能への影響度について評価が確立できていない要因が残っている。地震による被害の実態や、同一評価を道外の既存木造住宅の適用した場合の整合性など、構造評点の変化のみならず検証が必要な事項は多数あるが、引き続き評価を試みる予定である。

また、耐震性能に関係する要素の分布に地域性が見られたことから、その特徴を地域毎に類型化して的確な補強手法の提案を行っていく予定である。

#### [参考文献]

- 1) 「本道の地域特性を踏まえた既存木造住宅の耐震性評価に関する研究」 千葉隆史、渡邊和之、宮内淳一、森松信雄、本間裕二 地方独立行政法人北海道立総合研究機構建築研究本部調査研究報告 No. 390 2018年3月
- 2) 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－木造住宅の耐震精密診断と補強方法（改訂版）－」 2004年7月
- 3) 「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」 竹内慎一、高橋章弘、南慎一、戸松誠 地方独立行政法人北海道立総合研究機構北方建築総合研究所調査研究報告 No. 287 2011年3月
- 4) 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」一般診断法および精密診断法1における多雪区域の耐震診断について，2008年11月

【資料編】

1. 道内の既存木造住宅における耐震性能の推計に関する研究
  - 3) 評価要素の存在割合の整理に関する資料

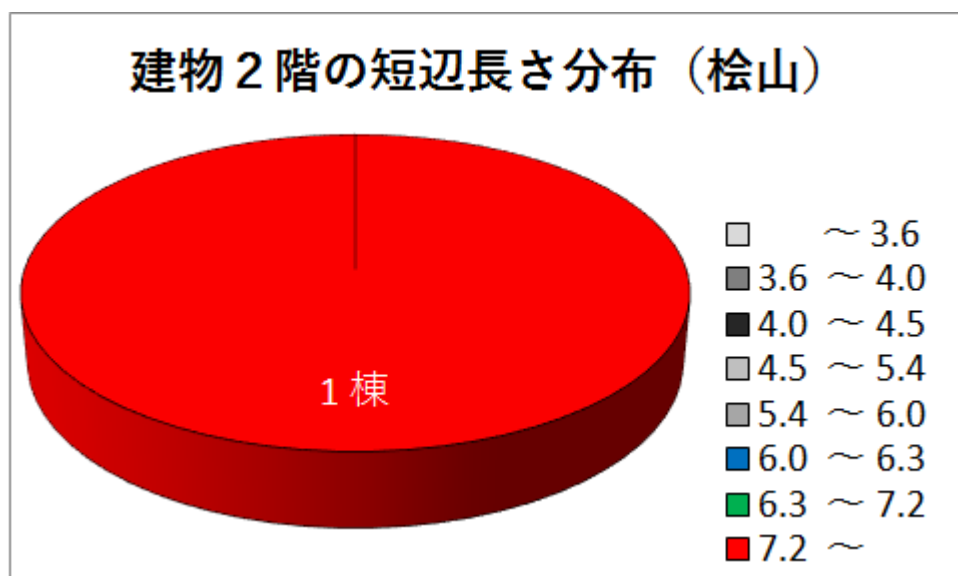
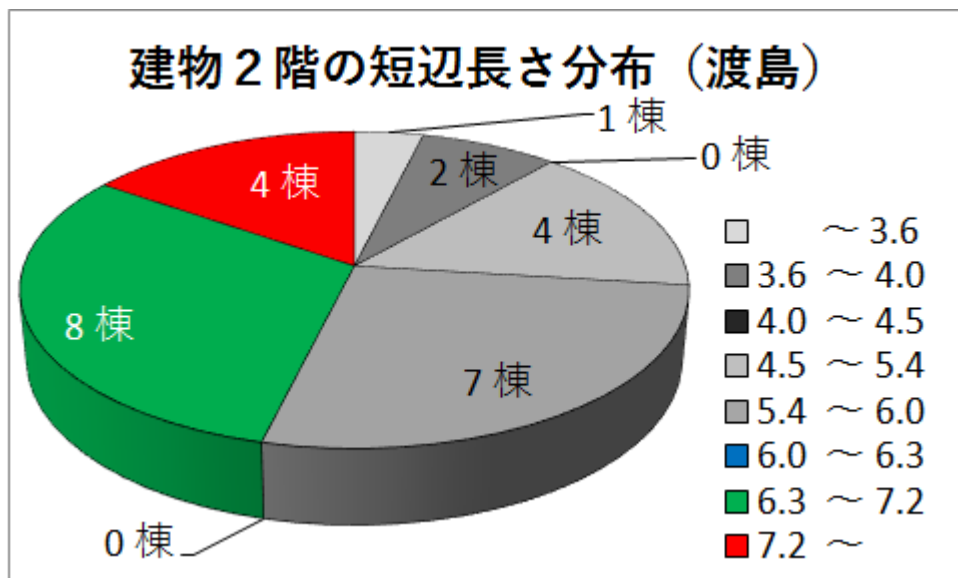
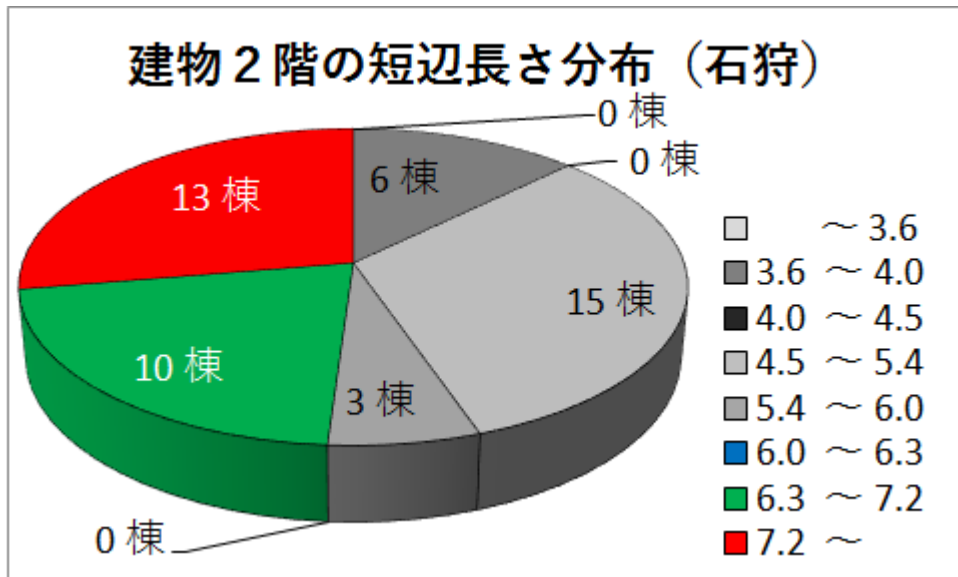
図 1 支庁毎の建物 2 階の短辺長さ分布

… I-資 1

図 2 支庁毎の屋根形状分布

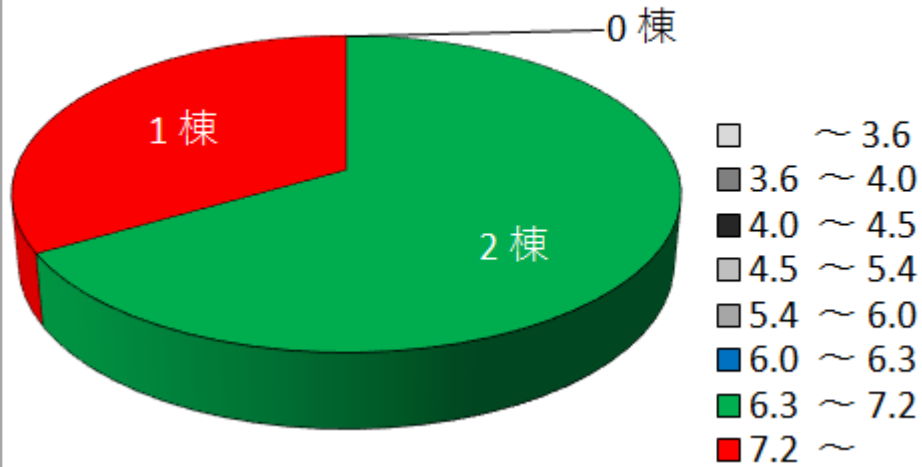
… I-資 6

図1 支庁毎の建物2階の短辺長さ分布

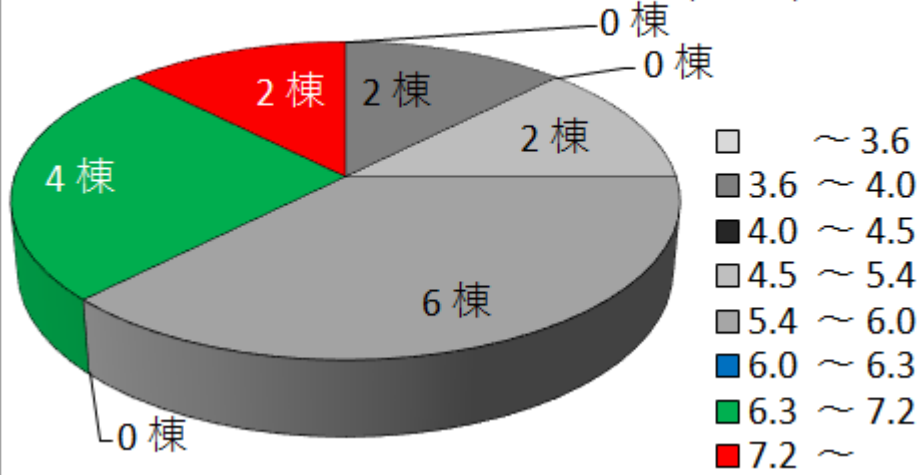




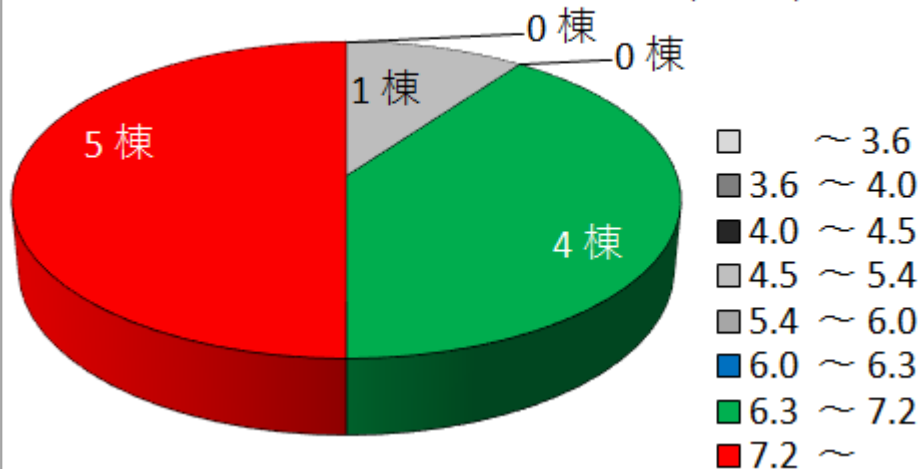
建物 2 階の短辺長さ分布（後志）



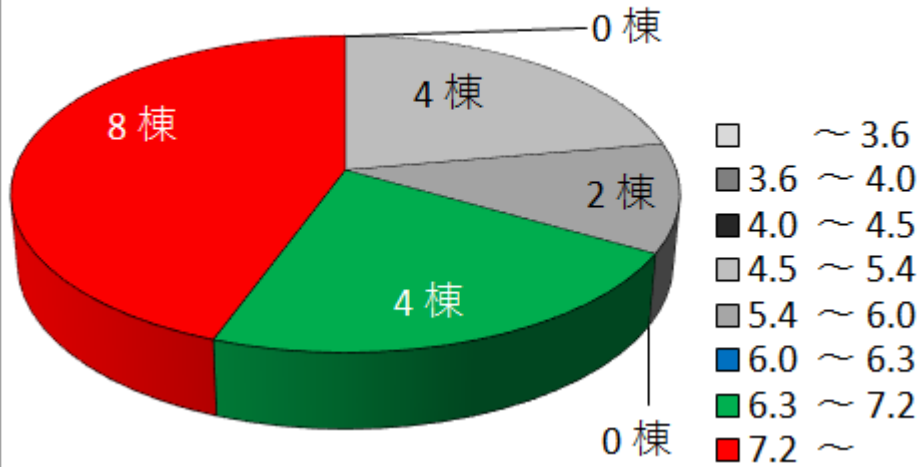
建物 2 階の短辺長さ分布（空知）



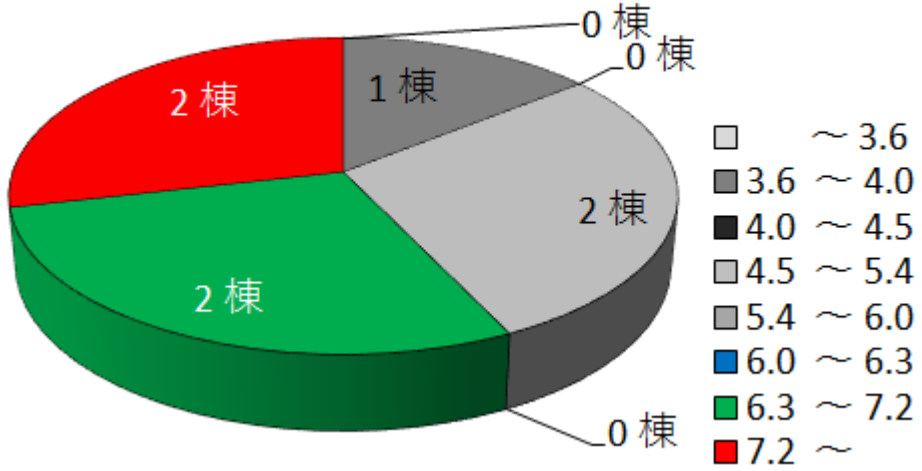
建物 2 階の短辺長さ分布（上川）



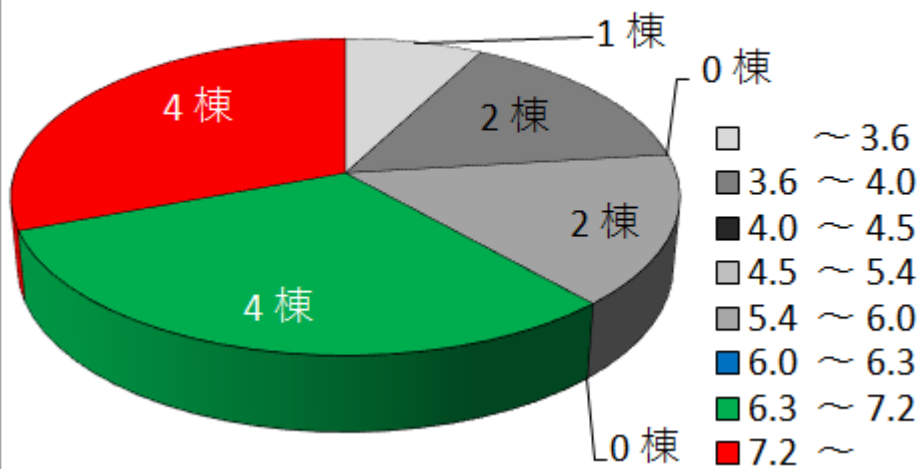
建物 2 階の短辺長さ分布 (留萌)



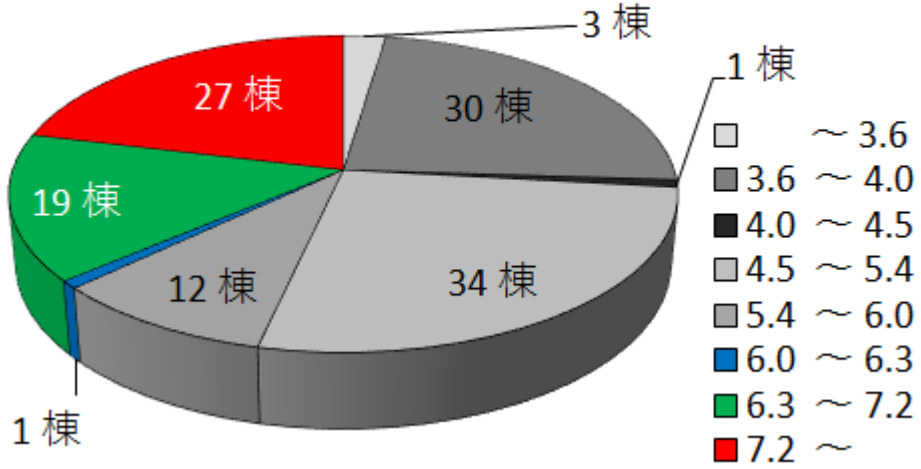
建物 2 階の短辺長さ分布 (宗谷)



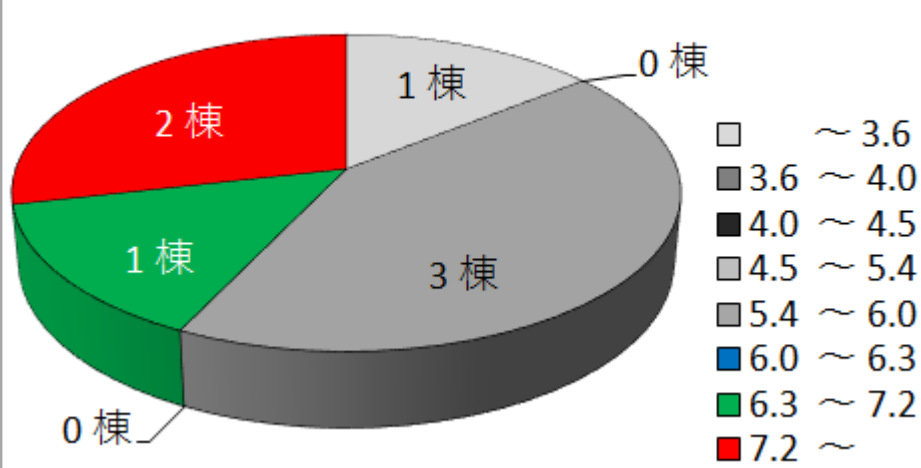
建物 2 階の短辺長さ分布 (網走)



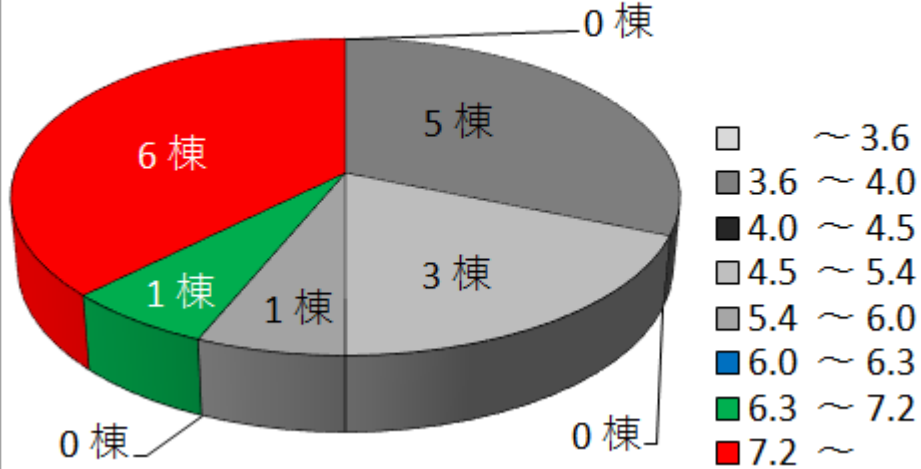
建物 2 階の短辺長さ分布 (胆振)



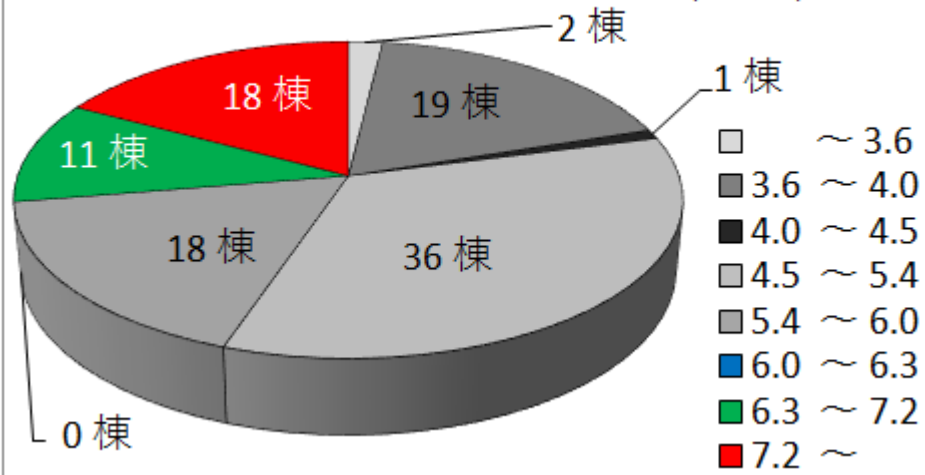
建物 2 階の短辺長さ分布 (日高)



建物 2 階の短辺長さ分布 (十勝)



### 建物 2 階の短辺長さ分布 (釧路)



### 建物 2 階の短辺長さ分布 (根室)

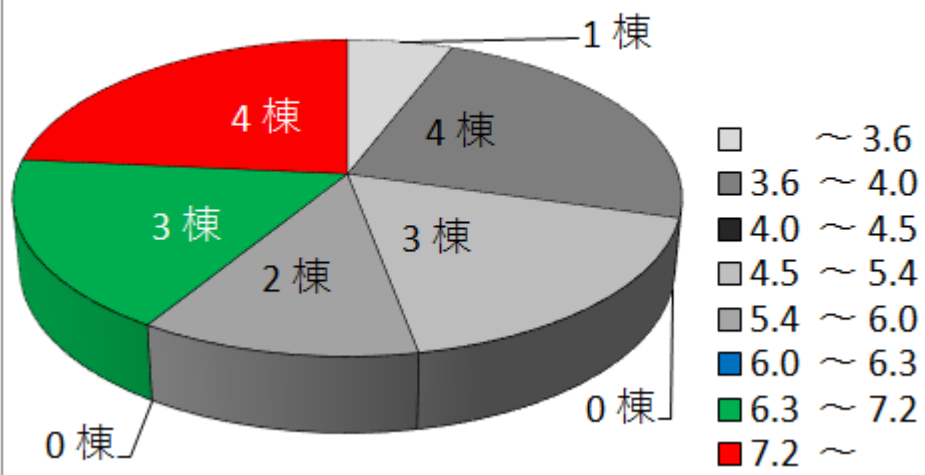
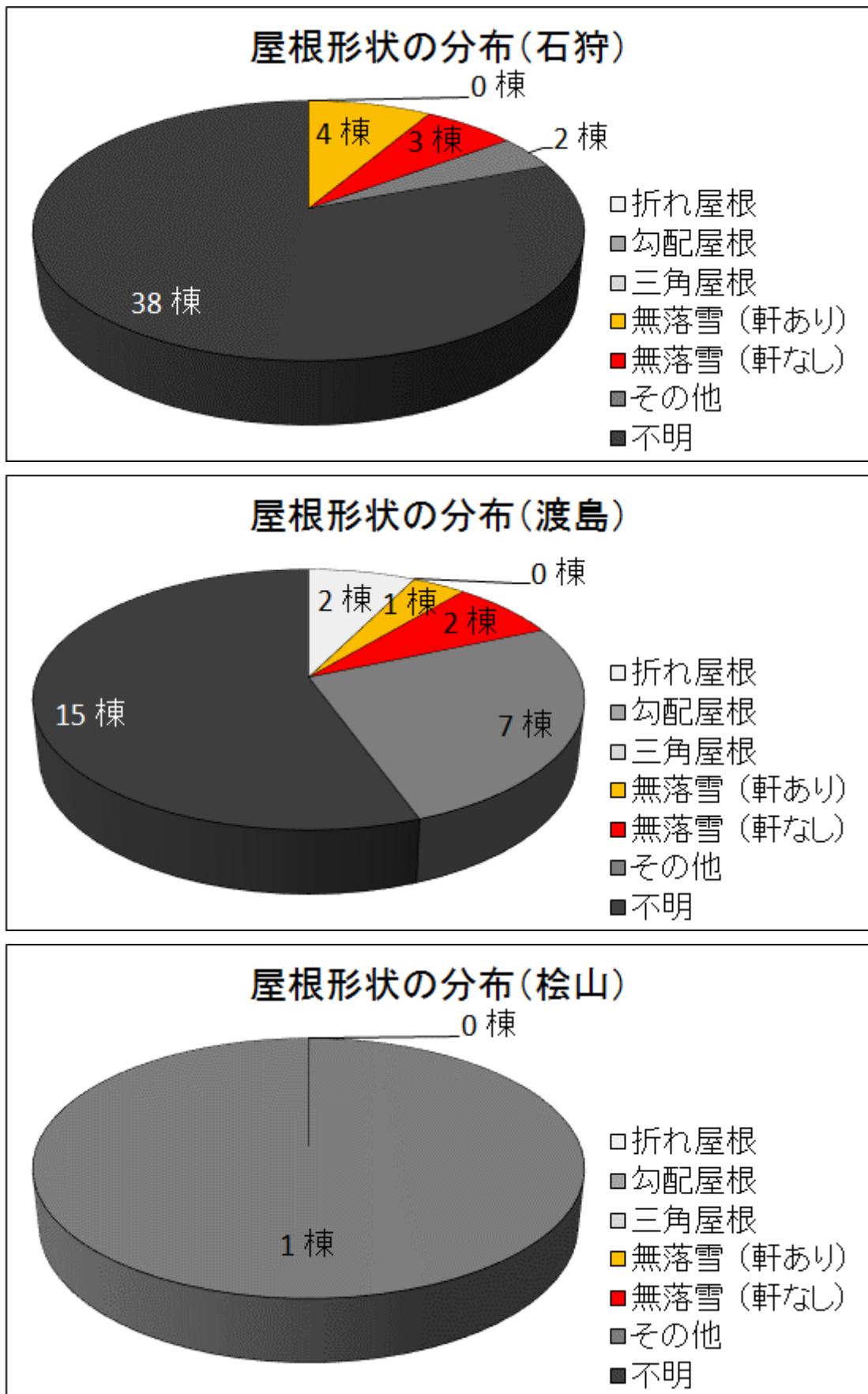
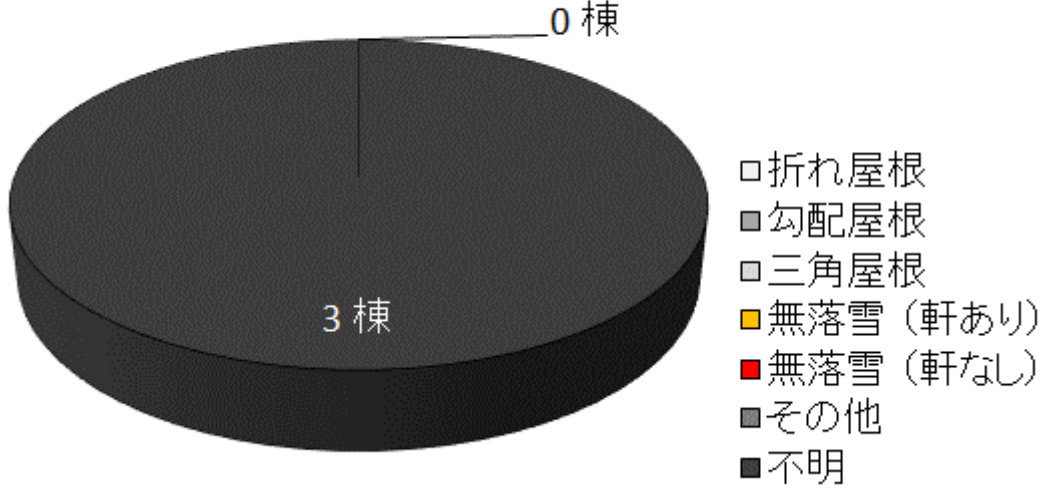


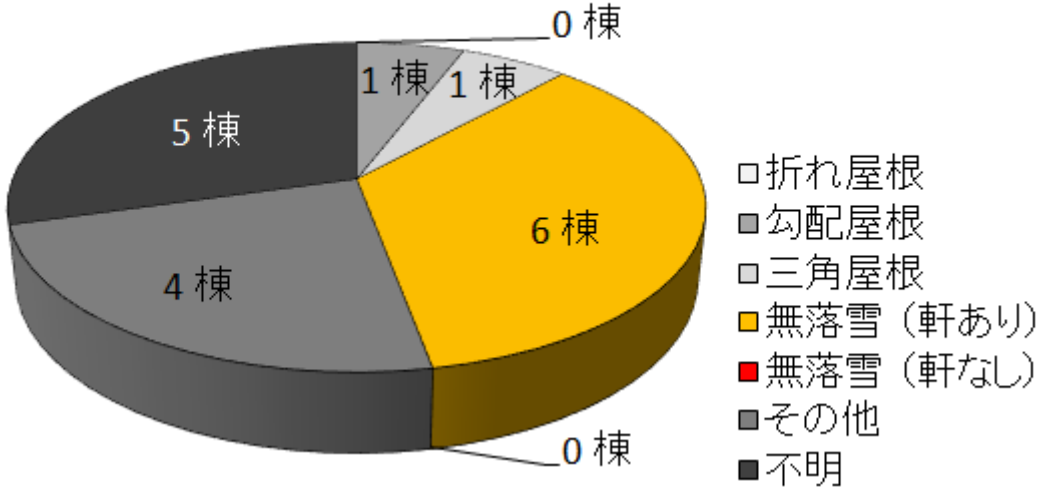
図2 支庁毎の屋根形状分布



屋根形状の分布(後志)



屋根形状の分布(空知)



屋根形状の分布(上川)

