

# 北海道想定地震に対応した住宅等の 復旧・耐震改修技術の開発

## Development of Seismic Retrofitting Technology for Old Wooden Houses to Resist Earthquakes in Hokkaido.

森松 信雄<sup>1)</sup>、竹内 慎一<sup>2)</sup>、齊藤 隆典<sup>3)</sup>、戸松 誠<sup>4)</sup>、千葉 隆史<sup>5)</sup>、宮内 淳一<sup>6)</sup>  
長瀬 拓也<sup>7)</sup>、槌本 敬大<sup>8)</sup>、山崎 義弘<sup>9)</sup>、中嶋 唯貴<sup>10)</sup>、岡田 成幸<sup>11)</sup>、岩崎 祥太郎<sup>12)</sup>

Nobuo Morimatsu<sup>1)</sup>, Shinichi Takeuchi<sup>2)</sup>, Takasuke Saitou<sup>3)</sup>, Makoto Tomatsu<sup>4)</sup>,  
Takafumi Chiba<sup>5)</sup>, Junichi Miyauchi<sup>6)</sup>, Takuya Nagase<sup>7)</sup>, Takahiro Tsuchimoto<sup>8)</sup>,  
Yoshihiro Yamazaki<sup>9)</sup>, Tadayoshi Nakashima<sup>10)</sup>, Shigeyuki Okada<sup>11)</sup>, Shoutaro Iwasaki<sup>12)</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 Performance Testing Center

Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

---

<sup>1)</sup>安全性能部 構造判定課 構造判定課長、<sup>2)</sup> 北方建築総合研究所地域研究部防災システム G 主査、<sup>3)</sup> 同建築研究部建築システム G 主査、<sup>4)</sup> 同地域研究部防災システム G 主幹、<sup>5)</sup>安全性能部 構造判定課 主査、<sup>6)</sup> 安全性能部 評価試験課 研究職員、<sup>7)</sup> 安全性能部 評価試験課 研究主任、<sup>8)</sup>建築研究所 材料研究 G 上席研究員、<sup>9)</sup>建築研究所 材料研究 G 主任研究員、<sup>10)</sup>北海道大学大学院 准教授、<sup>11)</sup>北海道大学大学院 特任教授、<sup>12)</sup>前北海道大学大学院

<sup>1)</sup>Director of Structural Safety Judgment Section <sup>2)</sup> Chief of Disaster Prevention Group, Northern Regional Building Research Institute <sup>3)</sup> Chief of Building Engineering System Group, Northern Regional Building Research Institute <sup>4)</sup> Senior Research Manager of Disaster Prevention Group, Northern Regional Building Research Institute <sup>5)</sup> Chief of Structural Safety Judgment Section <sup>6,7)</sup> Researcher of Performance Testing and Evaluation Section <sup>8,9)</sup> Building Research Institute <sup>10,11)</sup> Hokkaido University

<sup>12)</sup>former Graduate School of Hokkaido University



## 概要 Abstract

### 北海道想定地震に対応した住宅等の復旧・耐震改修技術の開発 Development of Seismic Retrofitting Technology for Old Wooden Houses to Resist Earthquakes in Hokkaido.

森松 信雄<sup>1)</sup>、竹内 慎一<sup>2)</sup>、齊藤 隆典<sup>3)</sup>、戸松 誠<sup>4)</sup>、千葉 隆史<sup>5)</sup>、宮内 淳一<sup>6)</sup>、長瀬 拓也<sup>7)</sup>  
植本 敬大<sup>8)</sup>、山崎 義弘<sup>9)</sup>、中嶋 唯貴<sup>10)</sup>、岡田 成幸<sup>11)</sup>、岩崎 祥太郎<sup>12)</sup>

Nobuo Morimatsu<sup>1)</sup>, Shinichi Takeuchi<sup>2)</sup>, Takasuke Saitou<sup>3)</sup>, Makoto Tomatsu<sup>4)</sup>,  
Takafumi Chiba<sup>5)</sup>, Junichi Miyauchi<sup>6)</sup>, Takuya Nagase<sup>7)</sup>, Takahiro Tsuchimoto<sup>8)</sup>,  
Yoshihiro Yamazaki<sup>9)</sup>, Tadayoshi Nakashima<sup>10)</sup>, Shigeyuki Okada<sup>11)</sup>, Shoutaro Iwasaki<sup>12)</sup>

キーワード : 地震被害調査、耐震診断、復旧・耐震改修技術、想定地震、被害低減効果  
Keywords : *Seismic Damage Survey, Seismic Evaluation, Seismic Retrofitting Technology, Scenario Earthquake, Seismic Damage Mitigation*

#### 1. 研究概要

##### 1) 研究の背景

- ・胆振東部地震では、古い木造住宅や構造的にバランスの悪い店舗併用住宅が多く被災し、建築付属物の被害も多く、その構造や被害の特性を考慮した復旧技術や事前の耐震性能向上が改めて求められている。
- ・既存の住宅等の耐震化は居住者の防災意識の低さや費用負担の問題等からあまり進んでおらず、自治体の耐震改修助成の利用率も一般的に低い。住宅等の耐震改修を推進するためには、効果的かつ低廉な耐震改修技術の開発や地震防災意識の向上等が求められている。
- ・今後も道内各地で被害が大きな地震が想定されており、発災による北海道の生活・経済に与える影響を最小化するため、地域・建物の防災力向上と復旧の早期化に向け、北海道の住宅等に適応した各種の取り組みを行うことは喫緊の課題である。

##### 2) 研究の目的

本研究は、北海道の生活・産業基盤施設等の早期復旧と今後の防災力向上を目指し、これまで道総研建築研究本部が有する知見・基盤データに基づき、胆振東部地震の建物被害調査・復旧支援活動で得る新たな知見を加えながら、住宅等の耐震性向上に向けた復旧・耐震改修技術を開発するとともに、被害低減効果を明らかにしその普及展開のための方策を提案することを主な目的とする。

#### 2. 研究内容

##### 1) 胆振東部地震における被害解析に基づく復旧・耐震改修技術の開発 (R1～R3年度)

ねらい：胆振東部地震に加え重大な建物被害を起こした近年の地震を対象に、人命に影響を与える被害形態（建築・設備・外構）を類型化し、その結果を用いて住宅等の復旧・耐震改修を目的とした技術資料を作成する。同時に復旧を担う実務者、行政機関に向けたセミナーを通して被害分析や技術情報を提供し復旧支援を行う。なお、復旧・耐震改修技術の開発では、耐震性能やコスト、工期、店舗等の建物機能の維持等に配慮し、構造実験と構造解析シミュレーション、胆振東部地震被災地で採用されている復旧技術の状況等から、住宅等の偏心防止対策や床剛性の改善手法、外壁等の非構造材やブロック塀・石油タンク等建築付属物の対策等復旧・耐震改修技術の開発を行う。

- ・試験項目等：被害データと復旧技術情報の収集、被害形態の分析と類型化、構造・非構造部材の実験及び数値解析、建築付属物対策の検討、コスト試算

1)安全性能部 構造判定課 構造判定課長、2) 北方建築総合研究所地域研究部防災システム G 主査、3) 同建築研究部建築システム G 主査、4) 同地域研究部防災システム G 主幹 5)安全性能部 構造判定課 主査 6) 安全性能部 評価試験課 研究職員 7) 安全性能部 評価試験課 研究主任、8)建築研究所 材料研究 G 上席研究員、9)建築研究所 材料研究 G 主任研究員、10)北海道大学大学院 准教授 11)北海道大学大学院 特任教授、12)前北海道大学大学院

1)Director of Structural Safety Judgment Section 2) Chief of Disaster Prevention Group,Northern Regional Building Research Institute 3) Chief of Building Engineering System Group, Northern Regional Building Research Institute 4) Senior Research Manager of Disaster Prevention Group,Northern Regional Building Research Institute 5) Chief of Structural Safety Judgment Section 6,7) Researcher of Performance Testing and Evaluation Section 8,9)Building Research Insititute 10,11)Hokkaido University12)former Graduate School of Hokkaido University

## 2) 北海道想定地震を対象とした被害低減効果の分析 (R1~R3年度)

・ねらい：1) の被害解析の結果を用いて、人口が集中する道央圏や長大な活断層を有する十勝圏を対象に、北総研建築住宅データベースにある建築属性(用途・建築年度等)毎に被害量を推計し、提案する耐震改修技術の導入コストに対する被害低減効果を明らかにする。

・試験項目等：被害量の推計、被害低減効果の分析

## 3) 技術の普及展開方策の提案 (R2~R3年度)

・ねらい：技術者を対象とした復旧・耐震改修マニュアルや、居住者を対象とした地震防災教育コンテンツの作成、自治体等の復旧・耐震改修支援の制度設計を行う等普及展開方策を提案する。

・試験項目等：復旧・耐震改修マニュアルの作成、地震防災教育コンテンツの作成、技術者向け及び一般向けのセミナー開催、自治体等の支援制度の設計

## 3. 研究成果

### 1) 胆振東部地震における被害解析に基づく復旧・耐震改修技術の開発

・被災3町が行った“り災証明”の被害調査(1次調査：7651件、2次調査：527件)を分析した結果、旧耐震基準の住宅(1981年以前建設)の全半壊率は新耐震基準の住宅(1982年以降建設)の約4倍であり(図1)、また、店舗併用住宅の全半壊率は専用住宅の約2.6倍であることを確認した。

・設備機器の被害は建築年代にかかわらず発生しており(図2)、被害内容としては暖房に関するものが約7割と最も高く、本道では冬季の被災を想定すると対策が重要であることを確認した。

・旧耐震基準の住宅の世帯主は高齢者が多く、費用負担や工事による生活への負担を軽減するため、低廉で工期が短かつ住みながら工事が可能な工法を開発を行った。

・上記の開発目的を達成するため、天井・床の解体を行わず天井と床の間に構造用合板を釘で柱に留めるだけの耐震改修工法(45×90mmの筋かい相当 実験値3.67~4.95kN/m)を開発した(図3)。また、木摺モルタル外壁(旧耐震住宅の一般的な仕様)に、構造用ビスをモルタル壁上から柱に直接留める工法(実験値で補強前0.53~1.06kN/m 補強後2.10~3.26kN/m)を開発した(図4)。この工法は図3の工法より施工手間が少ない工法である。図3、4の何れの工法も、被災後、壁を応急修理することで余震等の二次災害防止に簡易かつ有効な復旧・耐震改修技術としても活用可能である。

・店舗併用住宅は内部の壁が著しく少ないといった特徴を踏まえ、木質門形フレームの設置または建物の外側からの補強といった工法を提案した。また、店舗部分を別な用途に転換することにより耐力壁となる内部の壁を増設する方法も考えられる。

・解体予定の住宅の劣化調査を行い、既存住宅の耐震改修工事前の事前調査により確認が重要な部分(1階土台部等)を明らかにした。

### 2) 北海道想定地震を対象とした被害低減効果の分析

・胆振東部地震の調査結果を利用し、住宅用途別(専用・共同、併用)の被害予測手法を提案した。北海道想定地震の月寒背斜に関する断層では、住宅被害が全半壊16,825棟、被害額が2,564億円と試算された。

・提案した構造用合板タイプの工法等を適用し、全半壊した住宅を事前に耐震化する費用は175億円と試算された。耐震化後の被害は1,932棟、被害額は273億円となり、耐震化後の費用は併せて448億円となった。

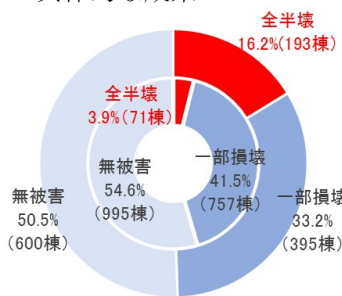
・耐震化することで費用は17%(=448/2564)、被害は11%(=1932/16825)に低減することが明らかになった。

### 3) 技術の普及展開方策の提案

・1)により明らかとなった調査結果や新たに開発した工法の紹介等を内容とする耐震改修マニュアルを作成し、技術者及び一般向けの耐震改修セミナーを開催した。技術者向けについては、耐震改修を促進するためこれまで耐震改修工事をあまり行っていない技術者に配慮する内容とした。

・戸建住宅に対する耐震改修補助制度がある道内自治体数(令和2年4月)は約60%であり、補助限度額や補助率も耐震改修の平均工事額等からして必ずしも十分ではないことを明らかにした。また、他府県の先進地の調査も行い、これらの調査結果について道主催の道内市町村担当者会議を通じ情報提供した。

<具体的な成果>



外円：旧耐震、内円：新耐震

図1 住宅の被害率

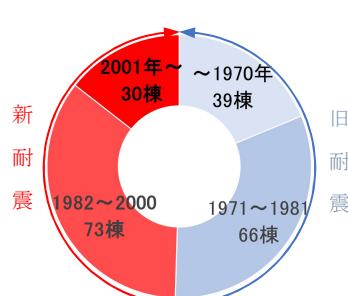


図2 設備被害棟数

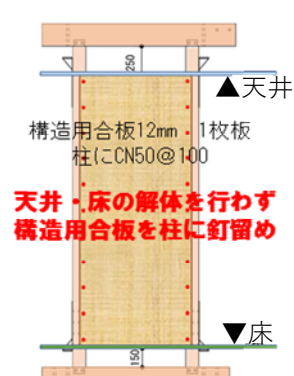


図3 合板12mmタイプ

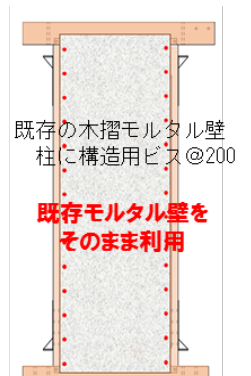


図4 モルタル壁の補強

#### 4. 今後の見通し

提案した工法は即時的・付加的な耐震性の向上であるが、耐震評点を満たす評価や認定の取得までには至っていない。今後、建築関係団体や企業と意見交換を積み重ね、仕様の検討・追加や改良を行い認定取得などのニーズに応じ技術支援を行っていく。また、既存住宅の改修については、耐震以外の要素として、断熱改修、キッチン・トイレ・浴室等水回りの改修等さまざまであり、一体的に行った方が効率的な場合が多いため、成果の活用にあたっては断熱改修等と耐震改修工事をセットで普及する必要がある。

今後も自治体、建築関係団体と連携を図り、耐震改修に関する調査や開発および普及を継続する必要がある。



## 目 次

1. 研究の背景と目的 .....	1
(1) 背景.....	1
(2) 目的.....	1
2. 胆振東部地震における被害調査と被害解析 .....	1
(1) 胆振東部地震の概要 .....	1
(2) 胆振東部地震における被害調査概要.....	2
(3) 被害調査の結果（第1次調査の結果） .....	2
(4) 被害形態の類型化（第2次調査の結果） .....	3
(5) 住宅の応急修理について.....	4
(6) 被災家屋等解体（公費解体）について .....	5
(7) 住宅の劣化調査 .....	5
(8) 被災3町の住宅の補修・再建状況調査 .....	6
3. 復旧・耐震改修技術の開発.....	8
(1) 既存の耐震改修技術について.....	8
(2) 開発のコンセプト.....	8
(3) 加力実験方法 .....	9
(4) 加力実験体の概要と結果.....	9
(5) 店舗併用住宅の補強法.....	13
(6) 開発した工法のコストについて .....	13
4. 北海道想定地震を対象とした被害低減効果の分析.....	14
(1) 目的.....	14
(2) 想定地震による被害量の推計.....	14
(3) 提案工法による被害低減効果の分析.....	16
5. 技術の普及展開方策の提案.....	18
(1) マニュアルの作成とセミナーの開催について .....	18
(2) 自治体への支援について .....	18
6. まとめ.....	19





## 1. 研究の背景と目的

### (1) 背景

2018年(平成30年)9月6日に発生した北海道胆振東部地震では、北海道で初めて震度7が観測された。厚真町の吉野地区では、大規模な土砂崩壊が発生し多くの命を奪った。安平町、厚真町、むかわ町の市街地でも震度6強の強い揺れが襲い、木造住宅を中心に大きな被害が発生した。古い木造住宅や構造的にバランスの悪い店舗併用住宅が多く被災し、建築付属物の被害も多く、復旧技術や事前の耐震改修技術が改めて求められている。

一方で、既存の住宅等の耐震化は居住者の防災意識の低さや費用負担の問題等からあまり進んでおらず、自治体の耐震改修助成の利用率も一般的に低い。住宅等の耐震改修を推進するためには、効果的かつ低廉な耐震改修技術の開発や地震防災意識の向上等が求められている。

今後も道内各地で被害が大きな地震が想定されており、発災による北海道の生活・経済に与える影響を最小化するため、地域・建物の防災力向上と復旧の早期化に向け、北海道の住宅等に適応した各種の取り組みを行うことは喫緊の課題である。

### (2) 目的

本研究は、北海道の生活・産業基盤施設等の早期復旧と今後の防災力向上を目指し、これまで道総研建築研究本部が有する知見・基盤データに基づき、胆振東部地震の建物被害調査・復旧支援活動で得る新たな知見を加えながら、住宅等の耐震性向上に向けた復旧・耐震改修技術を開発するとともに、被害低減効果を明らかにしその普及展開のための方策を提案することを主な目的とする。

## 2. 胆振東部地震における被害調査と被害解析

### (1) 胆振東部地震の概要

平成30年北海道胆振東部地震の概要を以下に示す。  
発生時刻：2018年(平成30年)9月6日 3時7分  
震源地等：胆振地方中東部  
マグニチュード：6.7

また、約295万戸(道内全域)で大規模停電の発生、重要施設では火力発電所、製鉄所施設での火災の発生、札幌、北広島市内の大規模液状化による住宅被害の発生、厚真町の吉野地区では大規模な土砂崩壊が発生し多くの住宅が巻き込まれて36人が死亡した。避難者はピーク時に585箇所の避難所に13,111人(累計16,649人)であった<sup>1)</sup>。

表2-1 震度6弱以上を記録した地震観測点<sup>2)</sup>

震度	地域
震度7	厚真町鹿沼
震度6強	安平町(早来北進、追分柏が丘)、厚真町京町、むかわ町(松風、穂別)
震度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

表2-2 人的被害について<sup>3)</sup>

人的被害	死者	44名	
	負傷者	重傷	51名
		中等症	8名
		軽傷	726名

表2-3 道内の住家被害<sup>3)</sup>

住家被害		
全壊	半壊	一部損壊
491棟	1,818棟	47,108棟

### (2) 胆振東部地震における被害調査概要

本研究における耐震改修工法の開発の目的は、既存住宅の上部構造の耐震性能向上である。土砂崩壊や液状化における被害に対応させる地盤改良工事などを対象としていない。その為、被害調査の対象地域は、液状化による被害が中心であった札幌市、北広島市、土砂災害の被害が多い厚真町吉野地区を除いた、地震の揺れによる被害が中心の厚真町、安平町、むかわ町の3町とした。

また、研究開始した平成31年4月時の被災地では、全壊の住宅はすでに解体され、多くの半壊以上の住宅もすでに補修済みなどで外観からでは被害程度が確認できる住宅が少なかった。また、被害を部位ごと類型化するために多くの被災事例を収集する必要があることから、被災3町で統一された基準で実施された「災害に係る住家の被害認定基準に基づく住家被害調査」<sup>4,5)</sup>の結果を利用することとした。

この調査は、市町村がり災証明書の交付の為にを行う調査で被害を受けた住家の被害認定を迅速かつ的確に実施するため災害ごとに住家の経済的被害を把握するための標準的な調査方法である。

調査は、第1次調査と第2次調査の2段階となっている。第1次調査は外観の損傷状況の目視による把握、住家の傾斜の計測及び主要な構成要素(屋根、壁、基礎の3要素)ごとの損傷程度等の把握を行う。第2次調査は、第1次調査を実施した住家の被災者からの申請があった場合に実施する調査で、外観目視調査及び内部立ち入り調査により、外損傷状況の把握、住家の傾斜の計測、構成要素(屋根、柱、床、外壁、内壁、天井、建具、基礎、設備の9要素)ごとの損傷程度などの把握を行う。

判定方法の被害認定フローを図 2-1 に示す。部位別損害割合の算出は、部位ごとの損傷率に部位別構成比を乗じて算出される(図 2-2)。また、住家の損害割合の算出は、部位ごとに算出した損害割合(部位別損害割合)の合計である(図 2-3)。また、表 2-4 に部位別構成比を示した。

被害調査は、令和元年 5 月から令和 3 年 3 月まで調査を実施した(第 1 次調査が 7,561 件、第 2 次調査が 527 件)。

### (3) 被害調査の結果(第 1 時調査の結果)

被災 3 町で調査した第 1 次調査結果の損害割合の分布について図 2-4 示す。第 1 次調査には、自己判定(自己申請)で損害割合が算出されていないもの、損害割合等の詳細が不明なもの、重複しているものがあつたため、それらは集計から除いた結果である。また、一見して全壊判定をされ損害割合が算出されていないものについて損害割合が 50%以上として集計している。

3 町合計の第 1 次調査の損害割合の分布(図 2-5)は、損害割合 10%未満が全体の約 67%を占めている。また、半壊に至らない(以下、一部損壊とする)損害割合が 20%未満では全体の約 83%になる。ほとんどの住宅が継続的に使用できる一部損壊程度の被害であつた。それに対して、全壊に相当する 50%以上は約 5%となつた。

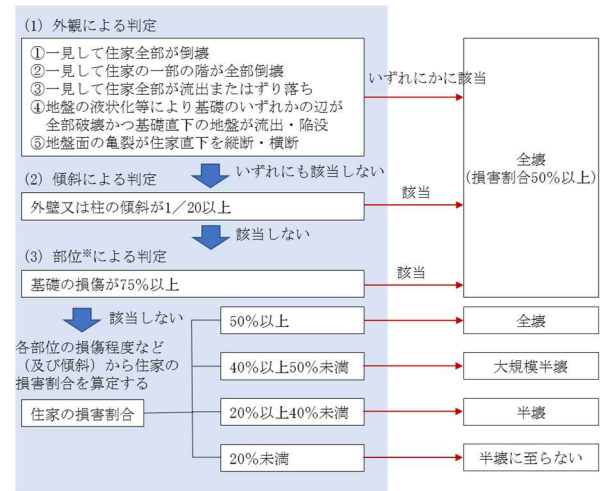
ここで、本研究では 1981 年以前に建設された建物を旧耐震基準の住宅、1982 年以降に建設された建物を新耐震基準の住宅とする。これは、木造関係の耐震基準は昭和 25 年の建築基準法の制定とともに規定されて以来、昭和 34 年(1959 年)12 月、昭和 46 年(1971 年 1 月)に改正され、更に昭和 56 年の改正では建築物の耐震基準全体が大きく改正され木造住宅の耐震基準も大きく見直されたことによる。

その後、平成 12 年(2000 年)6 月にも木造の耐震基準が改正された。これは、耐力壁の釣り合いの良い配置を明確化、接合部の金物種類の明確がされた。

次に、築年毎の耐震基準による被害の違いを確認するために築年ごとに集計した結果を図 2-5 に示す。

調査した住宅の中で築年と損害割合が不明のものを除いて集計した。旧耐震住宅の全壊(損傷割合 50%以上)の割合が高い。また、新耐震以降の住宅でも全壊の被害がある。これらは地盤変状の被害や建物形状が複雑な建物が多いが、倒壊している建物はなかった。

また、半壊以上(損害割合が 20%以上)の割合が 1970 年以前の旧耐震基準の住宅で多く 42%であ



※部位について  
第 1 次調査における判定対象部位は、屋根、壁、天井の 3 項目  
第 2 次調査における判定対象部位は、屋根、柱、床、外壁、内壁、天井、建具、基礎、設備の 9 項目

図 2-1 被害認定フロー

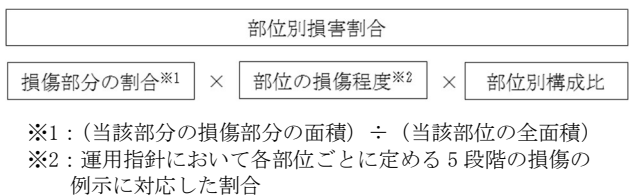


図 2-2 部位別損害割合

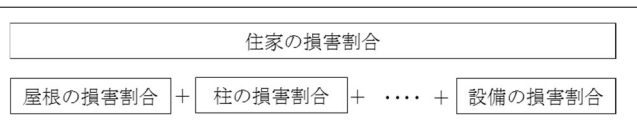


図 2-3 住家の損害割合

表 2-4 部位別構成比

第 1 次調査		第 2 次調査	
屋根	15%	屋根	15%
		柱(耐力壁)	15%
		床(階段)	10%
壁(外壁)	75%	外壁	10%
		内壁	10%
		天井	5%
		建具	15%
基礎	10%	基礎	10%
		設備	10%
合計	100%	合計	100%

る。特に全壊の割合については、1971-1981 年の旧耐震基準の住宅の約 25%と比較しても大きな結果が確認できた。これは、1971 年 1 月に建築基準法の改正があり、基礎をコンクリート造布基礎にする規定が加えられているため、1970 以前の住宅の基礎が脆弱のため被害が大きくなっていることが考えられる。

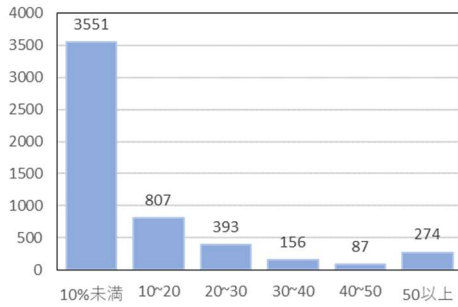


図 2-4 1 次調査の損害割合の分布について  
(3 町合計件数)

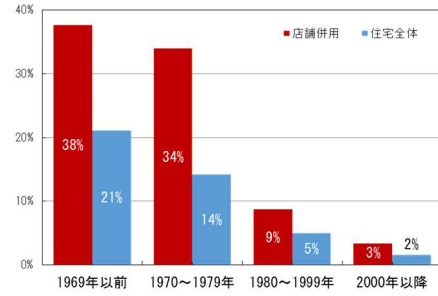


図 2-7 築年と用途毎による全半壊率

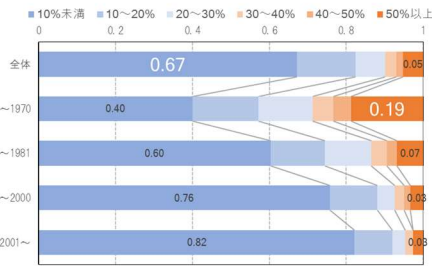


図 2-5 築年ごとの損害割合の分布について  
(3 町合計 割合)

このことから、1970 以前の住宅は耐震補強する場合には、基礎の補強が必要になる可能性が高い。

次に、都市計画区域に含まれる住宅 3,039 件（り災証明が交付されていない住宅は無被害として集計した）の被害率を旧耐震基準と新耐震基準で建設された住宅ごとに集計した結果を図 2-6 に示す。

旧耐震基準の住宅の全半壊率（全壊、大規模半壊、半壊割合の合計）は新耐震基準の住宅の全半壊率の約 4 倍と旧耐震基準の住宅の被害が大きかった。

次に、築年ごとに店舗併用住宅と戸建住宅の全半壊率を図 2-7 に示す。店舗併用住宅は戸建住宅の全半壊率の約 2.6 倍であった。さらに、旧耐震基準の店舗併用住宅の全半壊率が非常に高い。これらの倒壊原因は、建物全体としての壁量が著しく少ないこと、壁の配置のバランスが悪いことがあげられる。道内には、このような古い店舗併用住宅が残っているため、大きな地震が発生した場合、同様な被害が発生すると思われる。

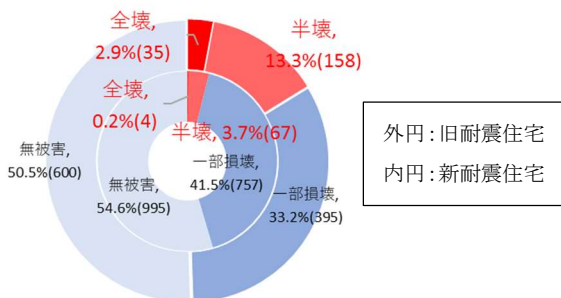


図 2-6 住宅の被害率

#### (4) 被害形態の類型化（第 2 次調査の結果）

被災 3 町が調査した第 1 次調査は、調査項目が少ない為、どの部位がどの程度の被害を受けていたのかが不明である。そこで、第 2 次調査の結果を用いて住宅の部位ごとの被害を把握することとした。第 2 次調査は、外壁の外観目視のみではなく、室内も立ち入り調査し、屋根、柱、床、外壁、内壁、天井、建具、基礎、設備の 9 項目について、損傷の程度と損傷部位の割合を調査し、総合的に損害割合を算出している。

損傷程度は、わずかなひび割れ程度の損傷度 I から脱落・破損の損傷 V まで区分されている。設備は、個別の設備の損壊に応じて（例えば、浴室設備については 30% の範囲内で損傷率を判定する。使用できない場合は 30%）判定される。

ここでは、明らかに大きく破損している損傷度 IV（脱落・割れ・破損）と V の発生件数について調査した結果を図 2-8 に示す。

1 階の外壁、建具、内壁の被害が多いことがわかる。このことから、1 階は玄関や掃き出し窓が多く壁量が少なく 2 階と比較すると耐震性が低く被害が多くなっている。1 階壁への損傷がより大きくなると、1 階部分の変形が進み倒壊に繋がるため、耐震改修時には壁の補強が重要である。このことから、復旧・耐震改修技術の開発では、低コストで施工が簡易な耐力壁の開発に取り組むこととした。

また、1 階床の被害も多く、古い建物では束基礎が使われていることが原因と推測される。束基礎から大引が外れたり、束が傾斜、不同沈下したりすることで、1 階の床が傾斜していると考えられる。床の傾きが 3/1000 から 6/1000 になるとめまい・頭痛等の健康被害により生活に支障をきたすようになるため、床の復旧・補修は優先度の高い工事となる。しかし、1 階の床を事前に補強しても上部構造評点の向上に直接繋がらない。そのため、断熱改修工

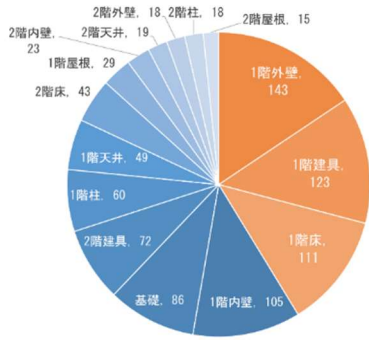
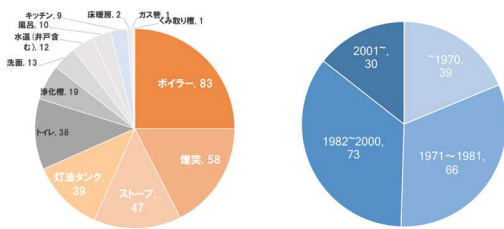


図 2-8 損傷度Ⅳ以上の被害部位 (延べ件数)



(a) 被害件数 (延べ件数) (b) 築年による被害件数

図 2-9 設備機器の被害

事等と同時に基礎の布基礎化、鋼製・プラスチック製の束を追加、土台の腐朽部の取り替え、腐朽対策等の1階床の補強を実施することで、地震後の被害が低減でき自宅避難が可能になる。

次に、第2次調査をもとに設備等についての調査結果を図2-9(a)に示す。ボイラー(給湯器含む)、煙突、ストーブ(ペチカ含む)、灯油タンクなど、冬場に使用する暖房関係の設備の被害報告が多い。

また、築年ごとに設備の被害件数を調べた結果を図2-9(b)に示す。築年によらず設備機器の被害が発生している。最近の住宅では、背の高い給湯器などが多く、それらが壁や床への固定が不十分であった為に揺れで移動、転倒したと思われる。

外部にある灯油タンクの傾き、転倒も散見された(写真2-1)。灯油タンクの転倒は、灯油が使用できず暖房が使えなくなるばかりではなく、油の流出による火災を誘発するために非常に危険である。タンクの柱脚がコンクリート束基礎に固定されていないものも多いため、束基礎等への固定を徹底することで転倒がなくなり火災の防止に繋がる。

外部の集合煙突の被害も数多く確認されている(写真2-1)。古い集合煙突は、鉄筋が配筋されていないものも多いため、屋根から突出していることから途中で折れたり、外壁から剥がれたりすることで、周辺の人や建物に危害を及ぼすことがある。集合煙



写真 2-1 灯油タンクと集合煙突の被害

突の補強は、薄い鉄板で巻きたても効果は少なく、鉄製のフレームで建物本体に固定することができれば補強効果はある。鉄製フレームと屋根や壁面との雨仕舞いの難しさや、高所での作業のため費用が掛かることが想定される。使用していないなら解体することが安全で経済的である。

真冬に地震が発生した場合、建物に被害がなくても暖房関係の設備機器が被害を受けた場合、採暖のため避難所に行かざるを得ない。本道では設備機器の耐震対策は非常に重要であり、事前対策の実施によって自宅避難が可能になる。

#### (5) 住宅の応急修理について

地震など住宅に被害が認められたとき、災害救助法では被災した住宅を応急的に修理すれば居住可能になりかつ、その者の資力が乏しい場合に自治体が必要最低限度の修理を行う制度がある(当時、1世帯当たりの補助限度額が58万4千円)。この制度の対象は、①原則、半壊または大規模半壊の被害を受けたこと②修理した住宅で生活が可能になると見込まれることとされている。また、応急修理の対象範囲は、屋根、壁、柱、床、基礎等のほか日常生活に必要欠くことができない部分であって、より緊急を要する箇所とされている。

むかわ町の協力を得て、応急修理によってどの部位に修理費が発生したかを調査した結果を図2-10に示す(全壊2棟、半壊37棟)。

応急修理に要した修理費は50万円~100万円の

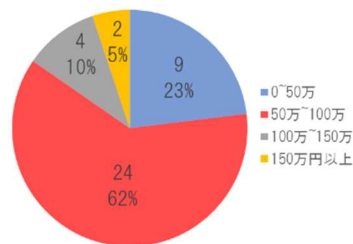


図 2-10 応急修理費用 (税込み) の分布 (棟数)

62%と多く、100万円未満の修理が85%であり、平均が723,303円(税込み)であった。



次に、部位毎の応急修理費の平均費用（税抜き）を図 2-11 示す。外壁と床の修理費用が多いことがわかる。なお、地震の被害調査の結果と同様の結果であり、壁や床の被害が多かったことがわかる。

大規模災害時には施工業者が不足し応急修理が滞ると、避難生活が長期化する。自治体で、発災時に施工業者を確保するため、事前に施工業者団体等と協定を締結しておくこと等の事前対策を提案する。

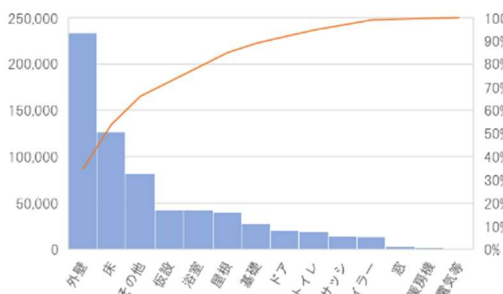


図 2-11 部位ごとの応急修理平均費用

(6) 被災家屋等解体（公費解体）についての調査

公費解体は廃棄物処理法に基づき、災害より損壊した被災家屋等について、生活環境保全上及び二次災害の防止のため、国の補助を受け市町村が業者に発注して解体工事を実施する制度である。一方、自費解体制度とは事業者の選定から支払いまで自分で、費用の償還を求めるものである。

胆振東部地震で被害を受けた被災家屋等解体業務について調査した結果を表 2-5 に示す。

また、むかわ町と厚真町役場において住宅の解体状況を調査した結果を図 2-12 に示す。解体された住宅のうち旧耐震基準の住宅が 79%であった。さらに、1970 年以前（築 50 年以上）の建物が約 49%であった。半壊判定の住宅で解体された住宅の築年も旧耐震基準の住宅が 77%であった。古い建物は、修理すれば継続使用ができる可能性があるが、他の理由によって解体されていたことがわかる。また、住民に耐震性性能や修復可能性が十分に理解されていなかった可能性も考えられる。

表 2-5 被災 3 町 被災家屋等解体業務<sup>6)</sup>

町名	公費・自費	全壊	大規模半壊	半壊	計
厚真町	公費解体	148 棟	14 棟	46 棟	208 棟
	自費解体	3 棟	0 棟	3 棟	6 棟
安平町	公費解体	69 棟	20 棟	50 棟	139 棟
	自費解体	11 棟	8 棟	16 棟	35 棟
むかわ町	公費解体	144 棟	21 棟	144 棟	309 棟
	自費解体	16 棟	1 棟	0 棟	17 棟
3 町合計	公費解体	361 棟	55 棟	240 棟	656 棟
	自費解体	30 棟	9 棟	19 棟	58 棟
	合計	391 棟	64 棟	259 棟	714 棟

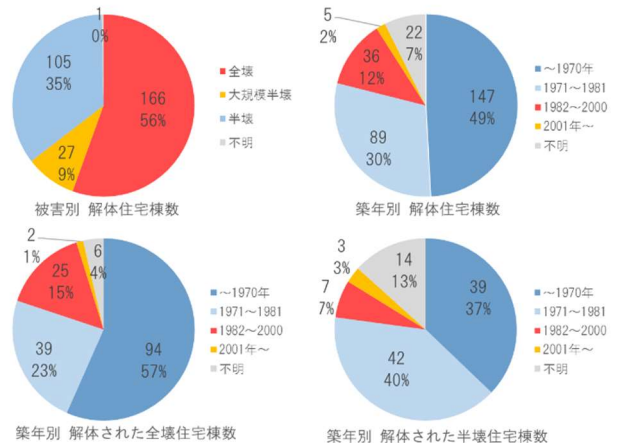


図 2-12 公費解体された住宅棟数 (厚真町+むかわ町)

(7) 住宅の劣化調査

胆振東部地震の被害報告では、被害を受けた住宅の一部に腐朽した部位が散見された（写真 2-2）。柱や土台が腐朽すると耐震性が低下するため、地震による住宅の被害を拡大させる。耐震診断においても、劣化を考慮して計算することになっているため、劣化状況の把握は必要かつ重要である。

また、既往の文献<sup>7)</sup>では、既存ストックの有効活用という側面から 103 棟（すべて道外）の木造住宅の現況調査と視認できたすべての構造躯体の劣化調査をした報告がある。

そこで、道内の住宅と道外の住宅を比較して腐朽が発生する部位や程度に相違があるのかを把握すること、また耐震診断時の現地調査において重点的に



(a) 柱の腐朽と虫害 (b) 木摺りの腐朽

写真 2-2 腐朽部位

確認すべき部位を把握することを目的として、旭川市内の解体予定の 4 棟の住宅を現地調査した。表 2-6 に建物概要を示す。C 棟と D 棟はほぼ同じプランの建物で、約 50m 離れている。これらの現地調査は、建築研究所と共同で実施した。

調査方法は、「中古住宅流通促進・ストック再生に向けた既存住宅等の性能評価技術の開発<sup>8)</sup>」に準じて行った。調査時点における現況の状態（家具、什器は撤去済み）で目視・打診調査により材料及び構

表 2-6 建物概要一覧

名称	住所	工法	築年
A 棟	旭川市旭町	木造軸組工法	1966 年
B 棟	旭川市永山	木質パネル工法	1980 年
C 棟	旭川市大町	木造軸組工法	1970 年
D 棟	旭川市大町	木造軸組工法	1970 年

法の調査と変状（水浸みの痕、仕上げ材の変色、ひび割れ等）の有無と範囲を調査した。

その後、内部下地材の撤去後に、目視・触診・打診を行い生物劣化（腐朽・虫害）の発生状況を把握した。同時に、外壁の一部を解体し躯体を露出させ劣化の有無を調査した。住宅の各階の床組・壁・小屋組の各部位を水平・鉛直方向に概ね 90cm 程度のユニットに分割し、ユニット毎に躯体の劣化の有無、仕上げ面の変状の有無を記録しデータベース化した。

次に、現地調査において確認された変状と劣化状況について示す。内部結露により内壁にカビが発生し仕上げが剥離していきっている（写真 2-3 (a)）が、仕上げを解体し躯体を調査すると腐朽の発生はなかった（写真 2-3 (b)）。また、台所のシンク下の大引と土台に激しい腐朽、A 棟と B 棟の玄関部の壁の柱脚部と木摺り材の激しい腐朽が存在した。また、現場施工タイル風呂においては、変状調査では目立った変状は見当たらないが、仕上げ解体後の調査で土台や木摺りに著しい腐朽が認められた（写真 2-4）。

調査結果一覧を表 2-7 に示す。現況調査で変状と劣化が認められ件数は、834 件で約 38%、実際に生物劣化が認められたものは 133 件で約 6%であった。全体の約 94%は生物劣化が存在していない結果であった。また、現況調査で変状が無いにもかかわらず、躯体に生物劣化が生じているものは約 2.4%であった。表 2-8 で示したように生物劣化が認められる部位は、1 階に多くまた外周部での発生が多い。



(a) A 棟変状調査



(b) A 棟劣化調査

写真 2-3 変状・劣化状況

文献<sup>7)</sup>より道外の建物と比較すると、変状または劣化が認められた件数の割合が高いことがわかる。

これは、文献<sup>7)</sup>の調査では約 60%が築年 40 年未満



(a) B 棟 風除室



(b) C 棟 浴室土台

写真 2-4 腐朽部位

表 2-7 調査結果一覧

名称	総ユニット	変状件数	劣化件数
A 棟	537	219(40.8%)	32(6.0%)
B 棟	591	171(30.5%)	10(1.8%)
C 棟	537	193(35.9%)	47(8.8%)
D 棟	537	251(46.7%)	44(8.2%)
合計	2,202	834(37.8%)	133(6.0%)
文献 <sup>1)</sup>	約 65,000	5667(8.7%)	1421(2.1%)

表 2-8 階ごとの劣化件数

名称	1 階劣化件数	2 階劣化件数
A 棟	30(5.6%)	2(0.4%)
B 棟	8(1.4%)	2(0.3%)
C 棟	43(8.0%)	4(0.7%)
D 棟	43(8.0%)	1(0.2%)

であり、本調査における住宅の築年が古い影響が考えられる。また、D 棟については基礎の不同沈下による広範囲の 1 階床の傾斜による変状数が多いこと、すべて住宅で小屋裏の野地板にカビや変色の変状数が多いことが影響したと思われる。さらに、冬季間に雪が常時堆積する壁面では雪が凍結融解を繰り返し壁面に水が侵入することで 1 階土台部の腐朽が多くなっていると考えられるが、調査件数が 4 棟と少ないことから今後の検討課題である。

以上より、耐震診断・改修またはリニューアル工事前の現地調査では、1 階土台部と水回り部を重点的に調査し腐朽部が発見された場合、耐震性の低下を防ぐため改修工事中に部材を取り替えることを推奨する。

## (8) 被災 3 町の住宅の補修・再建状況調査

### 1) 調査方法

本節においては、復興技術の開発の基本情報となるデータ収集を目的に、建物の再建状況について調査分析を実施したものである<sup>9)</sup>。住宅の補修再建に関する調査は、2019 年 12 月 10 日～11 日の 2 日間、2020 年 9 月 24 日～25 日、10 月 7 日の 3 日間と地震発生から 1 年毎の実施により調査結果を更新した。本報告は、地震発生 2 年後の 2020 年 10 月 7 日時点の結果をまとめたものである。

被災 3 町の全壊・半壊住宅のうち全世帯アンケート<sup>10)</sup>により場所の特定できた 277 棟について再建過

程調査を実施した。

## 2) 復興過程調査

### A. 被災3町の住宅復旧状況

3町における住宅再建・補修に関する外観目視調査<sup>9)</sup>を実施した。結果を図2-13に示す。町ごとに、建替え・更地・補修・未補修の存在比と、該当棟数を示している。半壊以上を対象としているため、未補修は少なく、60%~70%を補修が占める。加えて、各町10%を超える更地が発生しており、住宅再建は道半ばであり地震前の姿には戻っていない。補修率、解体率、再建率については、図2-14のように算出した。

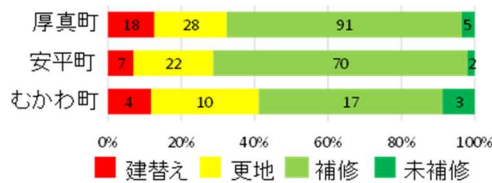


図2-13 被災3町の補修・再建・解体率<sup>4)</sup>

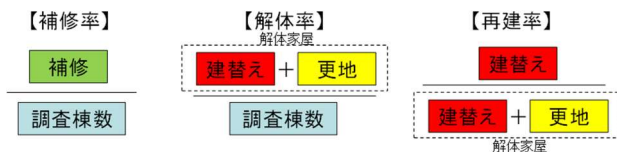


図2-14 補修・解体・再建率の算出手法

### B. 住宅再建・補修状況と建物被害の関係

り災証明の被害認定別の補修・再建・補修状況を表2-9に示す。3町ともに被災程度の大きな全壊家屋は解体せざるを得ない状況にあり、約60%の住宅が解体されている。一方で、半壊家屋の解体率は厚真町・安平町の80%からむかわ町の60%とほとんどの世帯は補修で対応している。

次に再建率をみていくと、厚真町・安平町では半壊の再建率が高い。全壊に比べると被災程度が小さい半壊家屋を解体する場合は建替えを前提として行われているため、世帯状況によって補修と建替えの判断が分かれることが考えられる。

表2-9 被害別再建・補修状況<sup>9)</sup>

調査地区	罹災証明	補修率	解体率	再建率
厚真町	全壊	33%	62%	34%
	大規模半壊	93%	7%	0%
	半壊	80%	17%	54%
安平町	全壊	44%	56%	11%
	大規模半壊	43%	50%	14%
	半壊	80%	18%	38%
むかわ町	全壊	20%	60%	33%
	大規模半壊	0%	50%	0%
	半壊	59%	37%	30%

## 3) 構造被害と解体率

り災証明の被害認定は、住宅の構造的な被害とは必ずしも一致しない。そこで、調査世帯のり災証明

と構造的な被害の比較を行う。構造被害の指標として、岡田ら提案のダメージレベルを用いた(図2-15)。

図2-16に調査世帯のり災証明別のダメージレベルの存在比と該当棟数を示す。ダメージレベルD4以上の割合は、り災証明の半壊に比べて全壊の方が高いものの、り災証明結果と構造的被害にはばらつきがあることが分かる。

表2-10に解体率を示す。り災証明ごとのダメージレベル別の解体率をみていくと、半壊家屋はD4が、全壊家屋はD3以上の解体率が高く、全壊だけでなく半壊家屋においても損傷度の高い建物が解体されている傾向にある。り災証明における同一被害でも構造被害が小さいと解体は選択されていないことがわかる。一方で、構造的被害のほとんどないD1・D2の建物においても、り災証明で全壊・半壊と判定され解体されている。全壊や半壊とされた住宅のうち構造被害が小さく解体後の再建が難しい世帯については、補修を選択できるような支援が必要である。

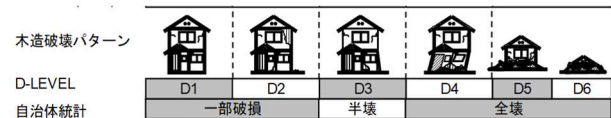


図2-15 ダメージレベル<sup>11)</sup>



図2-16 り災証明と構造被害の関係

表2-10 り災証明と構造被害による解体率

解体率	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
全壊	33%	44%	33%	78%	72%	0%	100%
半壊	0%	11%	25%	27%	44%		

## 4) 住宅再建・補修状況と世帯生計との関係

家屋の再建が進んでいないのはどのような世帯かを把握するため、被災3町の世帯生計別の住宅再建・補修状況の調査結果を表2-11に示す。

半壊家屋の再建率は、農業・畜産業86%、給与42%、自営業該当なし、年金のみ25%である。全壊家屋の再建率は、農業・畜産業38%、給与45%、自営業100%、年金のみ14%である。半壊家屋及び全壊家屋ともに再建率は年金のみの世帯が最も低い。一方で、農業・畜産業に従事する世帯は半



壊家屋の再建率は高いものの、全壊家屋は給与世帯と同程度である。

表 2-11 世帯生計別の補修・解体・再建率<sup>9)</sup>

世帯主生計	罹災証明	補修率	解体率	再建率
農業・畜産業	全壊	18%	76%	38%
	半壊	81%	19%	86%
給与	全壊	45%	50%	45%
	半壊	69%	24%	42%
自営業	全壊	0%	50%	100%
	半壊	100%	0%	
年金のみ	全壊	39%	61%	14%
	半壊	79%	19%	25%

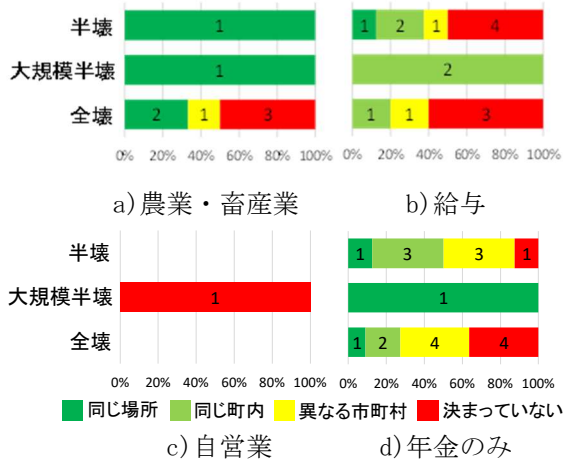


図 2-17 更地の世帯の今後の生活場所 (世帯生計別)

図 2-17 に解体によって更地になっている場合の世帯生計別の今後生活する場所を示す。年金のみの世帯において、半壊及び全壊家屋ともに今後生活する場所について「異なる市町村」の世帯の割合が3分の1以上を占めており、この地震を機に他市町村の移動を考えている。全壊世帯においては、決まっていない世帯が多数おり、全壊により解体を選択せざるを得なかった世帯の支援が重要である。

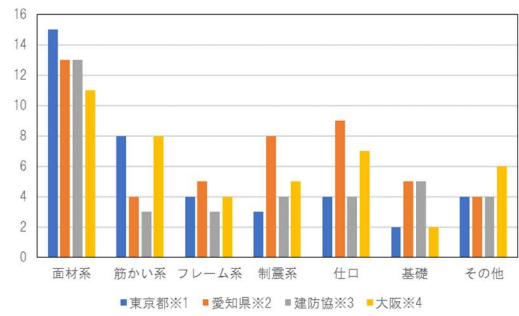
### 5) まとめ

復旧・再建状況調査により、胆振東部地震における補修を前提とした住宅復旧が行われた事が明らかになった。加えて、り災証明で全壊と判定され構造被害が小さくても解体が行われている例も存在した。住居は今後の居住地が決まってない場合においても解体されており、他地域への移住につながる。町の過疎化・高齢化を防ぐためにも解体家屋を出さないような対策が重要となろう。

## 3. 復旧・耐震改修技術の開発

### (1) 既存の耐震改修技術について

耐震改修技術は、多種多様な工法が開発・提案されている。従来から用いられている在来工法に加え、新しい発想に基づき提案され実用化されている。



※1: 安価で信頼できる木造住宅の「耐震改修工法・装置」の事例紹介 東京都都市整備局

※2: 木造住宅 低コスト 耐震補強の手引き 愛知県建築地震災害低減システム研究協議会 2021 年度版

※3: 木造住宅の耐震補強技術のご紹介 (一財)日本建築防災協会

※4: 木造住宅耐震補強工法の紹介 令和元年11月更新 大阪府住宅まちづくり部 建築防災課

図 3-1 耐震補強工法の調査

様々なタイプがあることは住まい手の要望に合わせた改修案を複数提案できるため、耐震改修工事への意欲を向上させることができる。

復旧・耐震改修技術の開発にあたり、公開されている既製の耐震補強技術の情報をホームページなどで調査し分類した結果を図 3-1 に示す。先端技術の制震壁等の様々な工法があるが、面材系の補強工法が多い。また、面材系の補強は外側からと内壁側からの補強があるが、内壁側からの補強が多いこと、改修コストを抑えるために、天井・床を解体しない工法が多いことがわかった。但し、一般材料だけで可能な工法が少ないこともわかった。

### (2) 開発のコンセプト

耐震改修が思うように進まない背景には、旧耐震基準の住宅の世帯主は高齢者が多く、費用負担や工事による生活への負担が大きいことが理由である。そこで、低コストで工期が短くかつ住みながら工事が可能な工法の開発を目標とした。

また、新築では筋かいまたは構造用合板を柱、土台、横架材に釘で打ち付けるが、耐震改修では天井・床を撤去して復旧をする必要があるため合理的な工事が出来ない。

耐震改修工事では、解体箇所は少なくすることが低コスト工事に繋がることから、壁による補強とし、解体部位・施工手間を出来るだけ減らし、一般材で特別な技術も必要としない地域の工務店が施工できる補強工法の提案を目的とする。

なお、適用範囲は既存の在来軸組工法とし(一財)日本建築防災協会 2012 年版 木造住宅の耐震診断と補強方法<sup>12)</sup>の適用が可能な住宅とする。また、躯体の劣化については、一概に定量化ができない



め劣化が無いまたは劣化部位については部材を取り替え改修がされていることを前提とする。

### (3) 加力実験方法

(一財)日本建築防災協会 木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2017年版)<sup>13)</sup>に準拠した面内せん断試験で、現在最も多くよく使われている柱脚固定式で行った(図3-2)。

試験体の加力方法は、見せかけせん断変形角で1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50radに相当する変位で正負交番3回しとした。試験体の浮き上がりを防止するため柱と梁の緊結にはホールダウン金物で直接反力フレームに緊結している。また、最大荷重に達した後80%の荷重に低下するまで加力するか、変形角が1/15rad以上に達するまで加力することとした。ただし、試験体によっては、加力装置、計測装置の不具合により加力を中止したもの、破壊が進み危険と判断した場合は、その時点で加力を中止している。また、評価方法についても(一財)日本建築防災協会 木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2017年版)に準拠して短期基準せん断耐力を求めることとした。

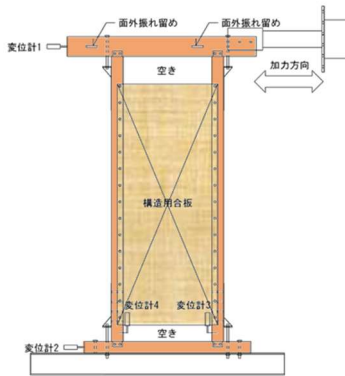


図3-2 試験体概要と加力図

### (4) 加力試験体の概要と結果

開発のコンセプトに基づき、天井と床の解体をせずに天井と床の間で施工する工法として、柱のみに釘で打ちつける工法の可能性を探るために、9mmと12mmの構造用合板を用いて、上下に空きがあり極力受け材や栈木を使用しない様々なタイプのスクリーニング加力実験を行った。表3-1に試験体一覧と表3-2に実験結果一覧に示す。比較実験のために、壁の無いフレーム、構造用合板の4辺に釘打ちをした在来架構および石膏ボードに釘打ちした架構の実験も行った。

#### 1) 合板による補強壁

はじめに、9mmの構造用合板の実験を行ったが頭抜け破壊で耐力が決まり(写真3-1(a))、頭抜け後

表3-1 試験体一覧

試験体No	幅	板厚	固定辺	きぎ種類	ピッチ	その他仕様
No1	910	9	4	C N50	150	
No2	910	9	4	C N50	150	
No3	910	9	4	C N50	150	仕上げ金物使用
No4	910	9	4	C N50	150	仕上げ金物使用
No5	910	9	2	C N50	150	
No6	910	9	2	C N50	150	
No7	910	9	2	C N50	150	1枚版
No8	910	9	2	KS-4041	150	1枚版
No9	910	9	2	CN50	100	1枚版
No10	910	9	2	CN50	150	ボンド使用
No11	910	9	2	CN50	150	ボンド使用
No12	910	9	2	CN50	150	ボンド使用
No13	910	9	2	CN50	150	白ボンド使用
No14	910	12	4	C N50	150	
No15	910	12	4	C N50	150	ボンド使用
No16	910	12	4	C N50	150	仕上げ金物使用
No17	910	12	4	C N50	150	仕上げ金物使用
No18	910	12	2	C N50	150	
No19	910	12	2	C N50	150	
No20	910	12	2	C N50	150	端部増し打ち
No21	910	12	2	C N50	150	合板3枚貼り
No22	910	12	2	C N50	150	釘45° 打ち
No23	910	12	2	C N50	150	真壁使用
No24	910	12	2	C N50	150	仕上げ金物使用
No25	910	12	2	C N50	150	中央開口+仕上げ金物
No26	910	12	2	C N50	150	中央開口
No27	910	12	2	C N50	150	仕上げ金物使用
No28	910	12	2	C N50	100	真壁使用
No29	910	12	2	C N50	75	
No30	910	12	2	C N50	150	1枚版
No31	910	12	2	C N50	100	1枚版
No32	910	12	2	C N50	90~220	1枚版
No33	910	12	2	C N50	90~220	1枚版
No34	910	12	2	C N50	100	1枚版、真壁仕様
No35	910	12	2	C N50	100	1枚版
No36	910	12	2	C N50	100	1枚版
No37	910	12	2	C N50	100	1枚版
No38	910	12.5	2	C N50	100	クロス下地合板、横受け材
No39	910	12.5	2	C N50	100	クロス下地合板、横受け材
No40	910	12.5	2	C N50	100	クロス下地合板、横受け材
No41	910	PB9.5	2	KS-4041	150	耐力壁ビス
No42	910	PB9.5	2	RS39320C	150	石膏ボードビス
No43	910	PB9.5	2	C N50	100	
No44	910	PB9.5	2	C N50	100	めり込み軽減釘
No45	910	PB9.5	2	C N50	150	
No46	910	PB9.5	2	TSB-3825	100	石膏ボードビス
No47	910	PB12.5	2	NZ50	150	GB-R-H(硬質)
No48	910	PB12.5	2	KS-4041	150	GB-R-H+耐力壁ビス
No49	910	PB9.5	2	C N50	200	ボンド使用
No50	910	-	-	C N50		フレームのみ
No51	910	-	-	C N50		フレームのみ
No52	910	12		C N50	50	四隅補強
No53	910	12		C N50	50	上辺補強
No54	910			C N50		木摺り
No55	910	合板2.5		C N50		100
No100	1820	12	木摺			
No101	1820	12	木摺	P5×80II+	200	ビス補強
No102	1820	12	木摺			
No103	1820	12	木摺	P5×80II+	200	No102+ビス補強

※ボンド：セメダイン木質床材用接着剤 UM600

※白ボンド：セメダイン 木工用接着剤 605

※仕上げ金物：ダンドリビス 下地一発(亜鉛鋼板)

の耐力低下が大きいため(図3-4(青))、12mmの合板を使用した耐力壁で上下空きタイプの実験(図3-4(赤))を主に実施した(上:200mm、下:150mmの空きを標準)。

9mm, 12mmともに、3×6版の合板を使用した場合は(図3-3(a))、合板の継部に栈木がないタイプは継部でのずれが大きくなり(写真3-2)、3×6版の

表 3-2 試験結果一覧

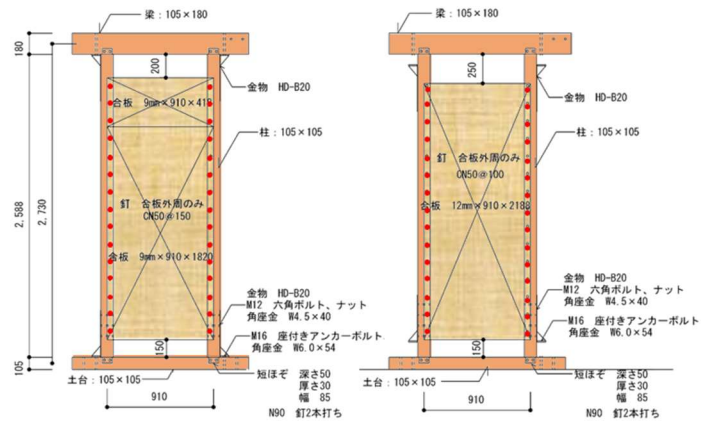
No	Pu	$\mu$	Pmax	Py	$Pu \cdot 0.2/Ds$	2/3 · Pmax	P120	Pmin	壁基準耐力
No1	8.18	3.17	9.62	5.29	3.78	6.42	3.79	3.78	3.74
No2	6.12	5.14	7.23	3.92	3.73	4.82	5.28	3.73	3.69
No3	10.70	3.60	12.02	7.00	5.32	8.01	7.01	5.32	5.27
No4	6.91	2.24	7.49	3.02	2.58	4.99	3.55	2.58	2.55
No5	5.25	3.13	5.92	3.42	2.41	3.95	2.52	2.41	2.38
No6	5.18	3.41	5.83	3.26	2.50	3.89	3.92	2.50	2.47
No7	6.47	2.38	7.11	4.17	2.51	4.74	3.15	2.51	2.48
No8	7.34	3.33	8.56	4.17	3.49	5.71	4.43	3.49	3.46
No9	9.21	2.70	10.17	5.66	3.86	6.78	4.55	3.86	3.82
No10	8.53	1.33	8.90	5.07	2.20	5.93	6.85	2.20	2.18
No11	10.25	1.32	10.65	8.53	2.63	7.10	5.21	2.63	2.60
No12	9.50	1.72	10.21	4.10	2.97	6.81	5.78	2.97	2.93
No13	9.60	1.68	10.15	6.48	2.95	6.77	6.58	2.95	2.91
No14	8.69	3.44	10.11	7.62	4.21	6.74	4.54	4.21	4.17
No15	16.83	3.74	19.46	11.21	8.57	12.98	11.69	8.57	8.48
No16	10.88	6.94	12.40	7.46	7.81	8.27	8.07	7.46	7.38
No17	14.54	5.25	17.20	9.63	8.96	11.46	10.06	8.96	8.86
No18	7.83	4.43	9.30	5.78	4.39	6.20	4.26	4.26	4.21
No19	6.65	4.61	7.86	4.06	3.81	5.24	3.94	3.81	3.77
No20	9.26	4.11	10.58	5.53	4.98	7.05	5.30	4.98	4.92
No21	4.78	3.32	6.19	2.81	2.27	4.13	2.58	2.27	2.24
No22	5.29	4.56	6.32	3.53	3.01	4.22	3.16	3.01	2.98
No23	7.62	4.17	9.00	5.29	4.13	6.00	5.75	4.13	4.08
No24	11.87	2.45	13.59	6.80	4.69	9.06	5.60	4.69	4.64
No25	計測不良	計測不良	計測不良	計測不良	計測不良	計測不良	計測不良	計測不良	計測不良
No26	6.26	2.83	7.27	4.06	2.70	4.84	2.83	2.70	2.67
No27	8.74	3.30	9.38	6.04	4.13	6.25	5.21	4.13	4.09
No28	計測不良	計測不良	計測不良	計測不良	計測不良	計測不良	計測不良	計測不良	計測不良
No29	12.36	2.67	13.50	7.39	5.15	9.00	4.53	4.53	4.48
No30	8.31	5.50	9.50	5.00	5.26	6.33	5.18	5.00	4.95
No31	10.84	3.04	11.61	6.39	4.89	7.74	4.91	4.89	4.84
No32	6.79	4.24	7.70	4.12	3.71	5.13	4.55	3.71	3.67
No33	7.64	3.65	8.57	4.73	3.83	5.71	4.91	3.83	3.79
No34	6.26	3.64	6.94	4.21	3.14	4.63	3.42	3.14	3.10
No35	9.60	3.90	10.77	6.04	5.01	7.18	5.04	5.01	4.95
No36	8.31	3.10	8.80	5.29	3.79	5.86	4.15	3.79	3.75
No37	9.17	2.87	10.07	6.26	3.99	6.71	3.71	3.71	3.67
No38	10.04	3.47	11.33	5.83	4.89	7.56	4.82	4.82	4.77
No39	11.55	4.25	13.20	9.71	6.32	8.80	6.06	6.06	5.99
No40	10.10	2.63	11.06	7.01	4.17	7.37	4.62	4.17	4.12
No41	1.94	15.29	2.01	1.27	2.11	1.34	1.80	1.27	1.26
No42	1.94	8.54	2.52	1.71	1.56	1.68	1.73	1.56	1.54
No43	3.63	12.35	4.13	2.41	3.53	2.75	3.07	2.41	2.38
No44	2.15	3.67	2.43	1.29	1.08	1.62	2.02	1.08	1.07
No45	2.05	3.88	2.20	1.49	1.07	1.46	1.92	1.07	1.05
No46	2.22	1.64	2.36	1.63	0.67	1.57	2.13	0.67	0.66
No47	3.94	1.58	4.30	2.87	1.16	2.86	2.94	1.16	1.15
No48	5.57	3.20	5.78	3.26	2.59	3.85	5.04	2.59	2.56
No49	評価不可	評価不可	評価不可	評価不可	評価不可	評価不可	評価不可	評価不可	評価不可
No50	2.27	3.00	3.23	1.29	1.02	2.15	1.09	1.02	1.00
No51	2.11	1.23	2.60	1.44	0.51	1.73	0.42	0.42	0.42
No52	2.88	1.41	3.50	1.72	0.78	2.33	0.96	0.78	0.77
No53	0.00	評価不可	3.71	評価不可	評価不可	2.47	0.67	評価不可	評価不可
No54	2.79	1.59	3.23	1.78	0.82	2.15	0.71	0.71	0.70
No55	1.77	9.80	2.04	1.19	1.53	1.36	1.80	1.19	1.18
No100	6.20	0.87	6.88	5.50	1.07	4.59	4.83	1.07	0.53
No101	15.18	2.85	17.06	9.77	6.60	11.37	15.12	6.60	3.26
No102	7.16	1.66	7.60	5.77	2.15	5.06	6.93	2.15	1.06
No103	11.96	2.07	14.48	19.89	4.24	9.65	10.25	4.24	2.10



(a) 頭抜け (No2) (b) 引き抜け破壊 (No14)  
写真 3-1 釘の破壊形状



写真 3-2 継部のずれ (左 No2、右 No18)



(a) No19 (3×6 版) (b) No30 (3×9 版)

図 3-3 試験体図一例

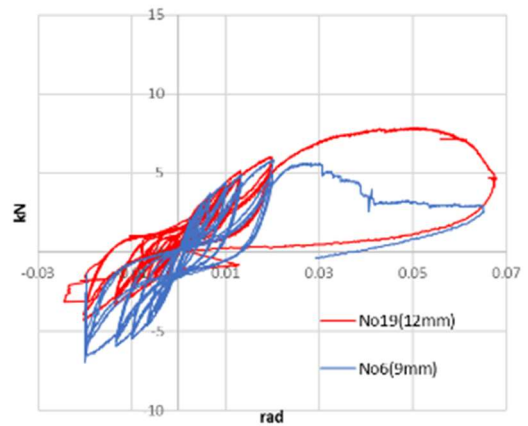
Pu : 終局耐力、 $\mu$  : 塑性率、Pmax : 最大荷重、Py : 降伏荷重  
Ds : 構造特性係数 ( $Ds=1/\sqrt{2\mu-1}$ )

壁基準耐力 : 実験により決定された短期基準せん断耐力 (ばらつき係数は 0.9 とした) を壁長で除した値

壁基準耐力 = Pmin × 0.9 (ばらつき係数) ÷ 壁長さ 0.91or1.82)

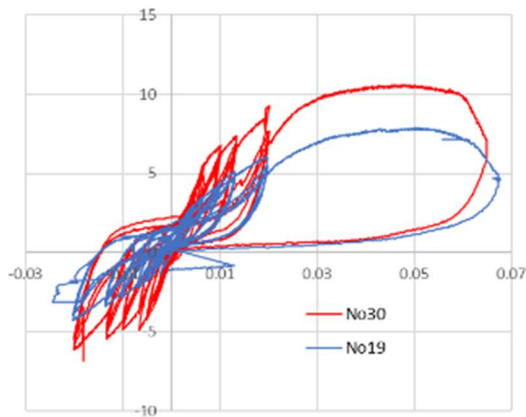
四隅の釘に大きな力が掛かり釘ぬけや頭抜けで耐力が決定された。

ずれの発生は地震時にクロスに寄れや亀裂を発生させてしまう恐れがあることから、3×8 版の合板 1 枚で柱に釘打ちすることとし、受材や栈木材を省略する試験体 (図 3-3(b)) を作成し実験を行った。継部があるタイプ (栈木無し) と 1 枚版で継部が



(No6 (青 9mm)、No19 (赤 12mm))

図 3-4 加力試験結果



(No19 (青 継部有)、No30 (赤 1枚版))

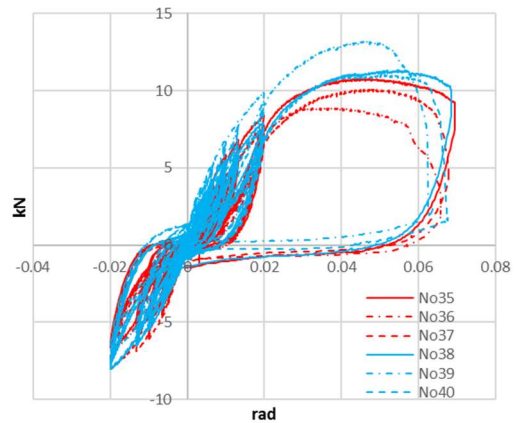
図 3-5 加力試験結果

ないタイプを比較した結果、1枚版の方が耐力・靱性が高いことが確認できた(図 3-5 赤線)。

また、施工者へのヒアリングから、上部空き寸法が 200mm では不足することがわかり、上部空き寸法 250mm、下部空き 150mm、構造用合板 12mm、CN50 で 100mm 間隔とした。空き寸法を 250mm に変更したことで耐力の低下が考えられたため釘の間隔を 150mm から 100mm へ変更したタイプを、開発仕様の試験体(図 3-3 (b))として 3 体 (No35、36、37) 実験をした。その結果を図 3-6 (赤線) に示す。非常に靱性のある安定した加力曲線となり壁基準耐力で 3.67~4.95 kN/m となった。構造用合板 3×9 版を使った工法は、45×90 の片筋かいと同等以上の耐力が見込め解体箇所も少なく施工手間も少ない有効な耐震改修工法と言える。

上記の試験体の構造用合板の代わりに、クロス下地合板に代えたタイプでも実験を行った (No38、39、40)。(クロス下地合板：ライナー紙を表面に貼り付け直接仕上げ材を貼り付けることができる合板)。3×9 版のクロス下地合板が入手出来なかった為、3×6 版を使用し、継ぎ部には 45×90 材の桟木を使用した。その結果、構造用合板 3×9 版 CN50 @100 (No35~37) とクロス下地合板 3×6 版 CN50 @100 (No38~40) はほぼ同等の耐力であることがわかった (図 3-6 青線)。

上記とは別に、四隅の釘に応力が集中するため下地板取付用の施工補助金具(写真 3-3)を利用して合板の四隅を補強するタイプを実験した。耐力向上効果が認められるが、耐震補強用の金具では無いため、実用化には専用の金具の開発が必要であり、今後の検討課題とし開発を断念した。



赤 (No35, 36, 37), 青 (No38, 39, 40)

図 3-6 加力試験結果 (No35, 36, 37, 38, 39, 40)

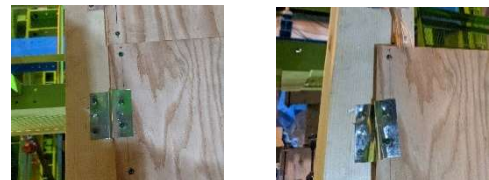
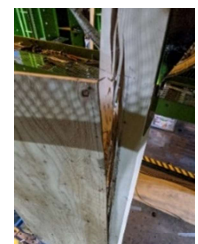
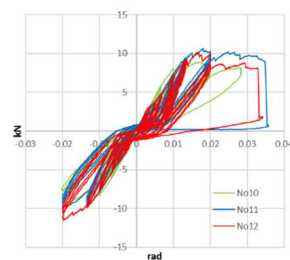


写真 3-3 下地板取付用の施工補助金具

さらに、釘が抜け出し合板が柱からずれ耐力が低下することから、合板のずれを防止できれば耐力向上が期待できると考え、木質床材用接着材で合板と柱を接着させた試験体を作成し耐力の確認をした。

実験結果(図 3-7)では、初期剛性が非常に高いことがわかった。しかし、最終破壊形式が柱を割裂させ、耐力の急激に低下するため、接着剤で接着する工法は不相当と判断をした。さらに、一般用木工用ボンドで接着した試験体 (No13) も、同様の結果となった。



(a) No10, 11, 12 の荷重曲線 (b) No19 の柱の破壊

図 3-7 加力試験結果

## 2) モルタル壁の補強法

昭和 40 年代から 50 年代の旧耐震住宅の外壁は一般的にモルタル壁が多いこと、地震時にはモルタル壁のひび割れ被害などが多いことから、既存モルタル壁用の復旧・耐震改修工法を検討した。



過去に建築研究本部では、A工法（耐力壁頂部と脚部の気流止め+接合部補強）とB工法（既存モルタル外装材を活用した壁耐力の向上+付加断熱）を提案している<sup>14,15)</sup>。断熱改修等を併用した合理的な工法だが、同時施工が前提のため改修費が高額になる。そこで、既存外壁をそのまま利用した耐震補強を提案するために実験を行った。

試験体は、木摺り（12×100）をN38釘で柱（105×105mm）30mmの目透しとした。試験体図を図3-8に示す。木摺り上に防水シートをステープル（肩幅10mm）@500で貼り、さらに、ひし形ラス金網（φ0.9 網目32mm）をステープル@150程度で固定しモルタル（セメント：砂=1：3）を施工した。本来なら、下塗り、中塗り、上塗りとするのが一般的であるが、製作の都合上1回塗りとし厚さを30mmとした試験体を3体製作した。

No100の補強無しで木摺りモルタル壁の実験した結果、目視上は加力後にほとんどひび割れが発生しなかった。ステープルが外れて層間変形角1/150程度で下地からモルタル壁全体が剥がれた。

（写真3-4(a)）。地震後にひび割れがない場合でも、剥離し落下する危険性があり、打診検査で確認する必要があることを啓発・普及する必要がある。

次に、モルタル壁に構造用ビス（パネリドP5×80Ⅱ<sup>+</sup>）で柱に200間隔で留めた試験体No101を加力した。補強後のNo101は、1/200でひび割れが発生し、1/75でせん断亀裂が試験体を縦断した（写真3-4(b)）が早期の壁の剥離が防止でき、耐力が最大荷重で2倍以上向上（3.26kN/m相当）したことが確認できた（図3-9 赤線）。

本研究では、補強前（No100）と補強後（No101）の各1体の実験であること、実際のモルタル厚が試験体よりも薄いことやモルタルの強度や施工的なばらつきなどを考慮し、今後さらに様々な条件で実験を重ねる必要がある。

さらに、被災後のモルタル壁の復旧改修を想定し、補強前の試験体（No102）を外壁が剥落・落下しない程度まで一度加力（1/75相当）した後に、構造用ビスを柱に200間隔で打ち補強した試験体（No103）を再加力した。その結果を図3-10に示す。No102は、No100と同様にモルタルの剥離は発生したがひび割れはほとんど見られなかった。加力後のNo102の試験体を構造用ビスで補強した試験体No103を再加力した。1/100程度から割れが発生し1/50では大きな亀裂に進展した、加力前の状態よ

りも耐力が最大荷重で2倍程度向上することがわかった（2.10kN/m相当）。

これらの実験より、斜めひび割れがない等健全な既存モルタル壁に構造ビスを打ち込むだけで耐力向上が期待できることが判った。また、地震で一度被災した木摺りモルタル壁を、被災後に構造用ビスで留めると被災前の耐力よりも向上する可能性があり、被災後の応急修理などに非常に有効な工法であると考えられる。今後、モルタル壁厚やひび割れや劣化程度の影響について検討する必要がある。

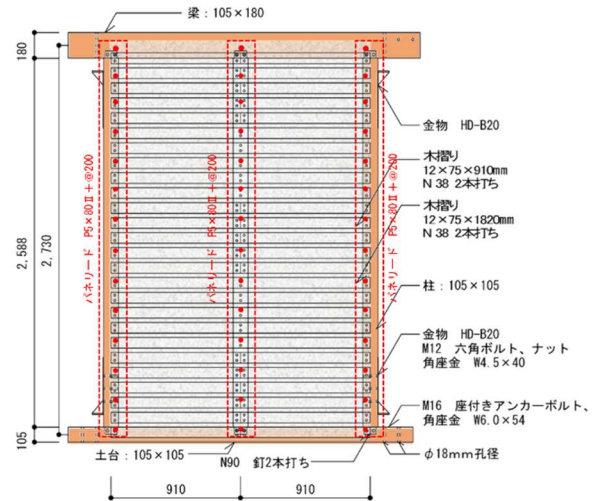
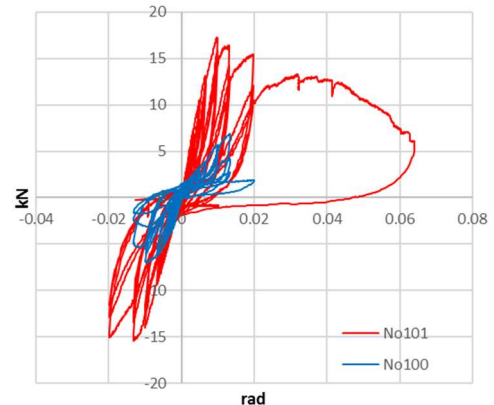


図3-8 モルタル壁試験体図



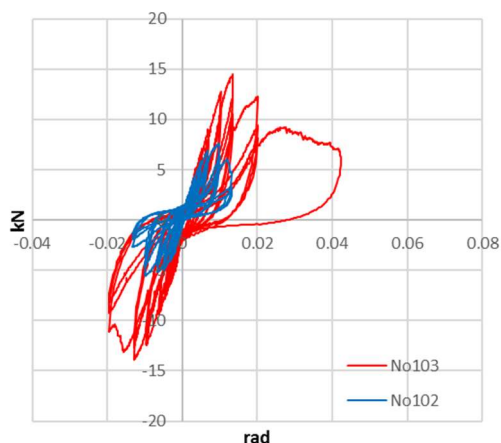
(a) No100のモルタル剥離 (b) No101の亀裂

写真3-4 加力後の破壊状況



補強無 No100 (青) と補強有 No101 (赤)

図3-9 モルタル壁の加力実験結果



補強前 No102 (青) と補強後 No103 (赤)

図 3-10 モルタル壁の加力実験結果

### 3) 本研究で開発した工法

低コストで工期が短くかつ住みながら工事が可能な工法として、構造用合板 12mm (1 枚板)、上側 250mm、下側 150mm の空き有り CN50@100 を柱に打ち込みタイプを開発した (図 3-3(b))。既存のモルタル壁をそのまま利用した復旧・耐震改修技術としてモルタル壁上から構造ビス (パネリード P5×80 II+) @200 柱に打ち込みタイプを開発した (図 3-8)。

#### (5) 店舗併用住宅の補強法

1 階の倒壊が目立った店舗併用住宅の倒壊原因は壁量不足である。1 階の店舗部分は用途上壁を設けることができずプラン上建物全体としての壁量が著しく少ないこと、さらに店舗の後方に住宅部があり壁が後方に偏った配置で著しくバランスが悪いことがあげられる。また、開放的な空間にするために、柱の本数を少なくし横架材のスパンは長く (3640~5460mm 等)、横架材には軽量鉄骨材が使われていることもある。店舗併用住宅の評点は著しく低く (0.1~0.3 程度)、1 階に変形が集中し倒壊したと考えられる。道内には、古い店舗併用住宅が残っているため、大地震時に同様な被害が発生すると思われる。

古い店舗併用住宅の耐震改修は、特に 1 階に集中して耐力要素を配置し耐震性を上げる必要がある。

戸建住宅は既存の壁を補強することで低コストな耐震改修が実現できるが、併用住宅のように壁が少ない場合には耐震壁を新設する必要がある。また、店舗前面にはシャッターやファサードなどが設けられており、そこに耐震壁を新設するとそれらの復旧工事も必要になり工事費が高額になる。さらに、耐力不足が著しいため幅の狭い袖壁補強だけでは倒壊を防止できないこともわかった。耐力壁の新設は間

取りの変更を伴い、柱の新設、基礎の新設を含むなど大掛かりな工事になることから、用途変更や間取り変更を同時に行うリノベーションまたはフルリフォーム工事と同時に行うことが合理的である。

なお、耐震改修またはリフォーム工事において、極力開口部を閉塞せずに改修する工法の可能性について既製品を含めて検討した。室内側には、間仕切り壁がなく仕上げ材が少ないため、室内側からの門型フレームを既存フレームに添える工法が適切と考えた (図 3-11)。

既製品の門型フレームには、鉄骨製または木質系の門型フレームがある。これらを内側または外側から配置することで、開口部を閉塞せずに耐震性を向上させられる。また、評点が 1.0 以上に耐力を向上させるには、補強フレームの枚数を調整することで対応できると考える。

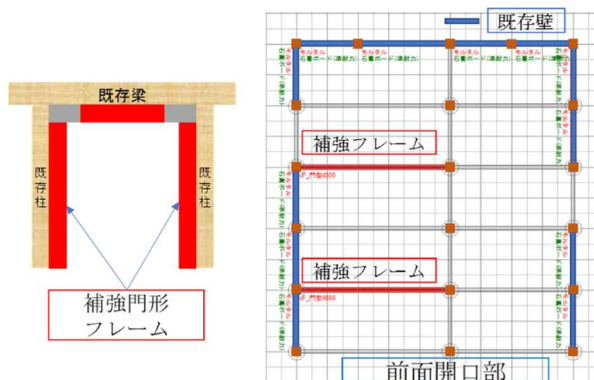


図 3-11 店舗併用住宅補強イメージ

#### (6) 開発した工法 (合板) のコストについて

##### 1) コスト比較

(4) で開発した (合板 12mm 上下空き) 工法のコストについて検討する。開発した工法は、既存壁を室内側からの補強する工法であり、耐力壁を新設する工法ではない。その為、既存間仕切り壁が少ない場合には、この工法だけの補強は難しいと想定される。また、一般的に耐震改修の事例を調査しても、複数の工法を使い補強していることから、一概に耐震改修コストの比較は難しい。

ここでは、開発した工法と同等の耐力の 45×90 の片筋かい (基準耐力 3.2kN/m) を使い天井床を解体復旧したケースとの比較を実施した (補強壁 1 階と 2 階で 27 カ所 図 3-12)。工務店と積算事務所に概算見積を依頼した結果を表 3-3 に示す。単価の差があり、総工事費は各社で差があるが、天井床を解体しない合板補強の方が 1 割~3 割程度コストが下がっている。これらより、通常の床と天井の解体を伴

う工法より工事費は、1～2割程度抑えられると考える。

表 3-3 コスト比較表

	筋かい補強	合板補強
積算事務所	1,243 千円	1,144 千円
工務店	820 千円	572 千円

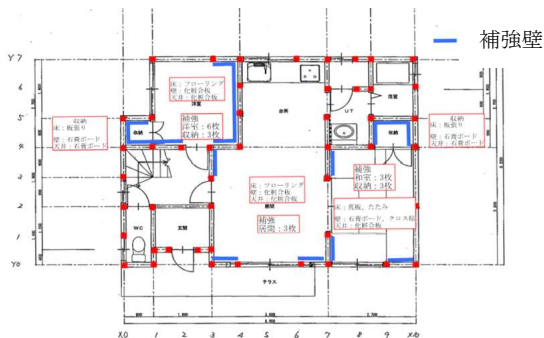


図 3-12 コスト算出用プラン (1階)

## 2) 耐震補強できる構造評点の下限値について

既存壁を利用した補強は、壁枚数が限られることから補強できる評点の下限値がある。そこで、補強ができる評点の下限値について推測する。まず、既往文献<sup>15,16,17,18)</sup>より、1階の床面積 (m<sup>2</sup>) 当たりの壁枚数を算出する。その結果を表 3-4 に示す。壁枚数は、幅 910mm を 1 枚 (1P) とした。平均で 0.27 枚/m<sup>2</sup> となった。

表 3-4 1 m<sup>2</sup> 当たりの壁枚数

壁枚数：910mmを1Pの壁として、1枚とする。(1820の壁は2Pなので2枚とする)

1階面積	80.00	56.70	60.45	49.68	92.26	74.45	65.61	66.25
X方向壁枚数	20	19	21	16	20	19	16	19
Y方向壁枚数	14	17	18	15	22	16	19	14
X方向m <sup>2</sup> 当たりの壁枚	0.25	0.34	0.35	0.32	0.22	0.26	0.24	0.29
Y方向m <sup>2</sup> 当たりの壁枚	0.18	0.30	0.30	0.30	0.24	0.21	0.29	0.21
平均m <sup>2</sup> 当たりの壁枚数	0.27							

上記の結果を利用し、新たに平均的な住宅の1階の床面積を 80 m<sup>2</sup>、2階床面積を 40 m<sup>2</sup>と想定すると1階にある壁枚数は (80×0.27) 約 21 枚になる。また、1階の必要耐力を算出すると (積雪荷重 140cm 考慮) 63 kN となる。水廻りや浴室など用途上補強が不可能な壁もあることから3割が補強不可能として

(21×0.7) 14 枚が補強可能な壁になる。開発した工法以外の既存工法も併用し壁 1 枚当たりの平均耐力上昇 (既存壁の耐力差) を 3 kN と仮定すると全体で 3×0.9 (耐力低減係数) × 0.9 (劣化低減係数) × 14 = 34 kN となる。必要耐力が 63 kN なので保有耐力は 63-34=29 kN ある住宅までが補強可能と推定される。よって評点は 29/63=0.46 程度となる。おおよそ評点が 0.4 程度以上あれば、低コスト工法での耐震改修ができる可能性が高くなると推定できる。

## 4. 北海道想定地震を対象とした被害低減効果の分析

### (1) 目的

3章の調査結果を用いて、人口が集中する道央圏や長大な活断層を有する十勝圏の想定地震を対象に、住宅用途別・建築年代別に被害を推計し、提案する耐震改修技術による費用と被害の低減効果を明らかにする。

### (2) 想定地震による被害量の推計

#### 1) 胆振東部地震の被害データの作成

北総研で所有している都市計画基礎調査データを用いて、被災した住宅の位置を地図上で特定し、被害分布を作成した。

各町の被害分布を図 4-1~3 に示す。都市計画基礎調査内の住宅総数と用途別被害棟数を表 4-1 に示す。

建築年代別の住宅全体と戸建住宅、共同住宅の被害率を図 4-4 に示す。戸建と住宅全体はほぼ同じ被害率となった。共同住宅は被害の絶対数が少ないため傾向は把握できなかった。

建築年代別の住宅全体と併用住宅の被害率を図 4-5 に示す。1980 年代以前では、併用住宅と住宅全体の比が 2~3 倍となった。

#### 2) 木造住宅の被害率関数の作成

胆振東部地震の被害データを利用し、住宅用途別の被害率関数を作成した。

戸建住宅の被害率関数は、既往研究で提案した北海道の標準的な地震被害率関数<sup>19)</sup>を元に、胆振東部地震の被害傾向を利用したペイズ更新を行うことで作成した<sup>20)</sup>。

併用住宅は、今回調査した胆振東部地震における震度と被害率の実態調査結果から、被害率関数を作成した。今回調査で被害の傾向が把握できなかった共同住宅は、戸建住宅と同じと仮定した。

作成した被害率関数を図 4-6 に示す。図は、地域に想定される震度に対して、建物の何%が全半壊となるかを、住宅の建築年代別に示している。

表 4-1 都市計画基礎調査内の用途別被害棟数

	全壊	半壊	基礎調査内
戸建住	24	150	2,509
共同住	0	7	179
併用住	16	68	351
計	40	225	3,039



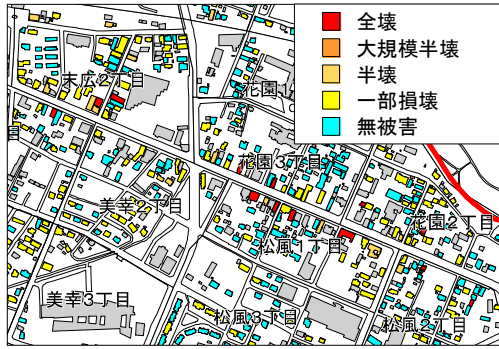


図 4-1 むかわ町の胆振東部地震の被害分布

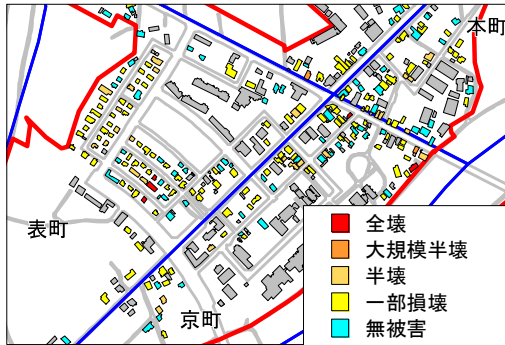


図 4-2 厚真町の胆振東部地震の被害分布

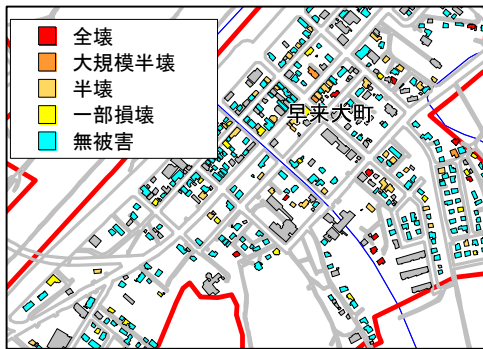


図 4-3 安平町の胆振東部地震の被害分布

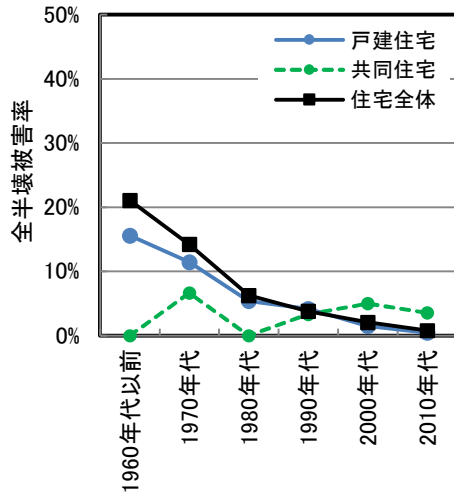


図 4-4 戸建・共同住宅の胆振東部地震の被害率

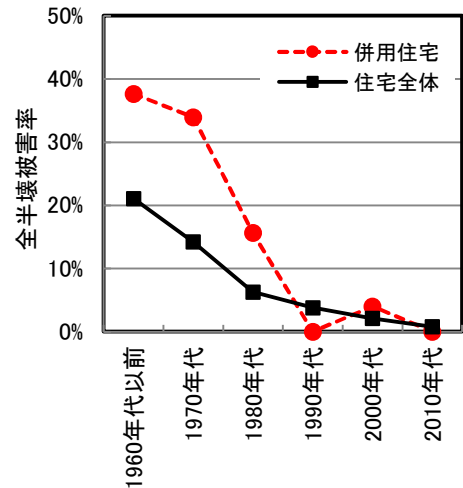
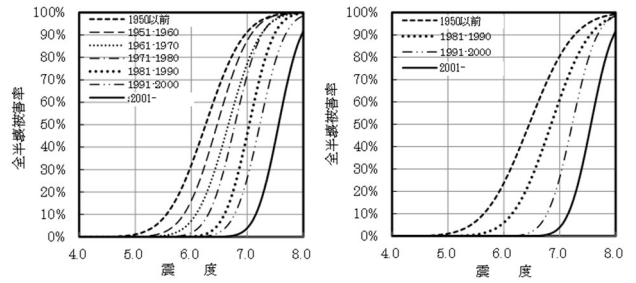


図 4-5 併用住宅の胆振東部地震の被害率



(a) 戸建・共同住宅 (b) 併用住宅  
図 4-6 被害率関数

### 3) 北海道想定地震の被害量の推計

作成した木造住宅の被害率関数をもとに住宅用途別、建築年代毎に被害量を推計する。

被害量を推計する対象地震は、道央圏に大きな被害が予想される月寒背斜に関する断層の地震(以下、「月寒背斜」という)( $M_w$ : 6.76)と、十勝圏に大きな被害が予想される十勝平野断層帯主部の地震(以下、「十勝平野」という)( $M_w$ : 7.4)とした。

北海道地震被害想定における震度分布<sup>21)</sup>を図 4-7、8 に示す。いずれも断層直上で震度 7 が想定される大規模地震である。

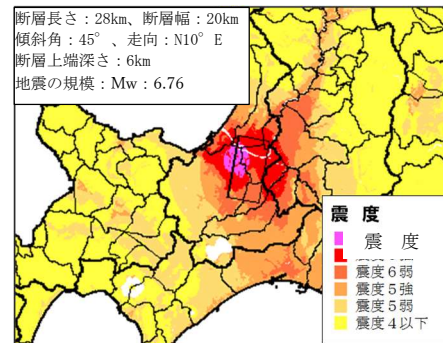


図 4-7 震度分布(月寒背斜)

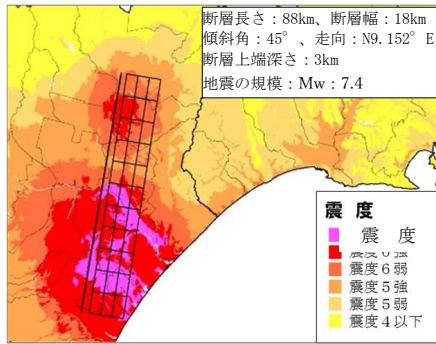


図 4-8 震度分布(十勝平野)

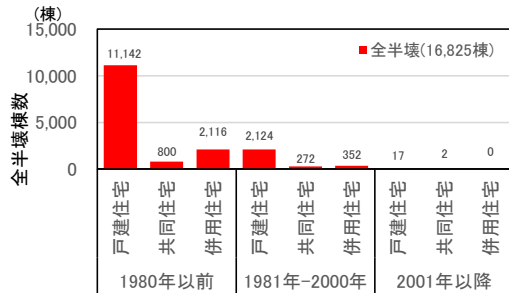


図 4-9 木造住宅の年代別被害状況  
(月寒背斜)

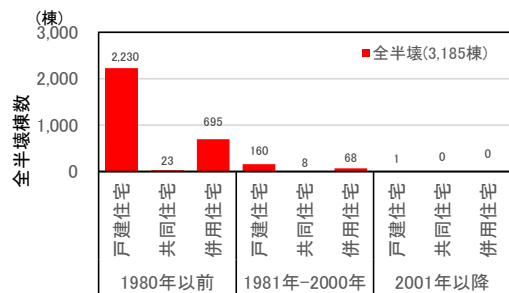


図 4-10 木造住宅の年代別被害状況  
(十勝平野)

木造住宅の年代別被害結果を図 4-9、10 に示す。月寒背斜の地震では道央圏を中心に木造住宅の全半壊被害が 16,825 棟、十勝平野の地震では十勝圏を中心に 3,185 棟が予測された。

### (3) 提案工法による被害低減効果の分析

#### 1) 住宅の被害額の算出

想定地震で予測された木造住宅の全半壊による被害額を試算する。試算方法は、2021 年に中央防災会議が日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の被害想定手法<sup>22)</sup>で示した経済的被害額の計算方法を適用する。式 4-1 に計算式を示す。

直接被害額＝

(全壊棟数+半壊棟数×0.5)

×(床面積当りの工事予定額)×(延床面積)…式 4-1)

これは被害を受けた住宅について、復旧・再建に要する費用の総額を被害額と考えたものである。床面積当りの工事予定額は物価調査会の建築統計の年間動向<sup>23)</sup>から、延床面積は住宅・土地統計調査<sup>24)</sup>から推計した。被害額は、月寒背斜の地震で 2,564 億円、十勝平野の地震で 479 億円と試算された。

#### 2) 住宅の耐震化費用の算出

提案した耐震改修工法等を用いて、事前に耐震化を実施した場合の費用と被害額を試算する。

##### A. 耐震化費用

提案した工法は、概ね評点 0.4 以上の戸建住宅に適用できるとされている。そのため試算では評点 0.4 以上の戸建住宅への適用を想定する。評点 0.4 未満の戸建住宅は、構造的に補強が困難なものも多いことから、耐震シェルターや耐震ベッドの適用を想定する。共同住宅や併用住宅は、一般的な改修工法の適用を想定する。

耐震改修費用として、一般的な改修工法の費用は、建築防災協会で示された計算式<sup>25)</sup>を用いて算出する(式 4-2)。提案工法の費用は、建防協会の改修費用の 1~2 割減であり、ここでは 2 割減と設定した。

耐震シェルター・ベッドの費用は、東京都の耐震改修工法・装置の事例紹介<sup>26)</sup>の平均費用である 65 万円と設定した。

改修費用＝

$$(17.4 \times ((\text{改修後の評点} - \text{改修前の評点}) \times (\text{延床面積}))^{0.53} \dots \text{式 4-2})$$

以上から、全半壊棟数のすべてを耐震化した場合の費用は、月寒背斜の地震で 175 億円、十勝平野の地震で 34 億円と試算された。

また令和 3 年度に改訂された北海道耐震改修促進計画では、耐震性不十分な住宅の約 126 千戸のうち、42 千戸の耐震化が必要であると掲げられている。耐震性が不十分な住宅の 33% (=42/126) を耐震化する計画であることから、ここでは全半壊の 3 割を耐震化したケースについても取り扱う。

全半壊棟数の 3 割を耐震化した場合の費用は、月寒背斜の地震で 53 億円、十勝平野の地震で 10 億円と試算される。

##### B. 耐震化後の被害額

全半壊棟数のすべてを耐震化した場合では、評点 0.4 未満の戸建住宅は耐震シェルター・耐震ベッドのため、住宅被害が発生する。月寒背斜の地震で全半壊 1,932 棟、十勝平野の地震で 606 棟の被害が発生する。



そのため、すべて耐震化後の被害額は、月寒背斜の地震で273億円、十勝平野の地震で88億円と試算される。

全半壊棟数の3割を耐震化した場合では、評点0.4未満の戸建住宅の被害に加えて、評点0.4以上の戸建住宅や共同住宅・併用住宅の7割が被害を受ける。月寒背斜の地震で全半壊12,357棟、十勝平野の地震で2,412棟の被害が発生する。

3割耐震化後の被害額は、月寒背斜の地震で1,877億円、十勝平野の地震で362億円と試算される。

### 3) 提案工法の導入による被害と費用の低減効果

#### A. 月寒背斜に関する断層の地震

現況では、木造住宅が16,825棟の全半壊被害を受け、被害額は2,564億円と予測される。

##### a. すべてを耐震化した場合

全半壊棟数を全て耐震化することによって、月寒背斜の地震による木造住宅の全半壊被害は1,932棟に低減する。現況の被害(16,825棟)が89%低減する。

耐震化の導入費用は175億円と試算される。耐震化後の被害額273億円であり、被害軽減額は2,291億円(=2,564-273)となった(図4-11)。

耐震化費用と耐震化後の被害額を合わせた費用は448億円となり、現況の被害額(2,564億円)と比べて17%となる。

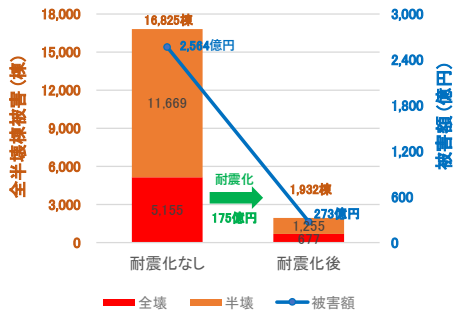


図4-11 耐震化による被害と費用の低減 (月寒背斜)

##### b. 3割を耐震化した場合

全半壊棟数の3割を耐震化することによって、木造住宅の全半壊被害は12,357棟に低減する。現況の被害(16,825棟)に比べて27%低減する。

耐震化の導入費用は53億円と試算される。耐震化後の被害額1,877億円であり、被害軽減額は687億円(=1,877-2,564)となった(図4-12)。

耐震化費用と耐震化後の被害額を合わせた費用は1,929億円となり、現況の被害額(2,564億円)と比べて75%となる。

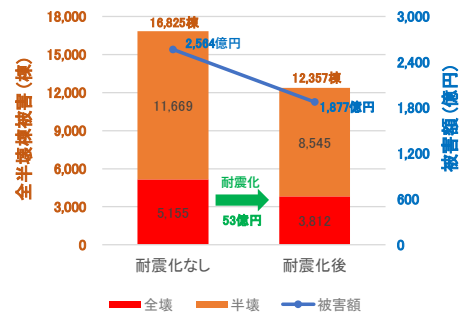


図4-12 3割耐震化による被害と費用の低減 (月寒背斜)

#### B. 十勝平野断層帯主部の地震

現況では、木造住宅が3,185棟の全半壊被害を受け、被害額は479億円と予測される。

##### a. すべてを耐震化した場合

全半壊棟数を全て耐震化することによって、十勝平野の地震による木造住宅の全半壊被害は606棟に低減する。現況の被害(3,185棟)が81%低減する。

耐震化の導入費用は34億円と試算される。耐震化後の被害額88億円であり、被害軽減額は391億円(=479-88)となった(図4-13)。

耐震化費用と耐震化後の被害額を合わせた費用は122億円となり、現況の被害額(479億円)と比べて25%となる。

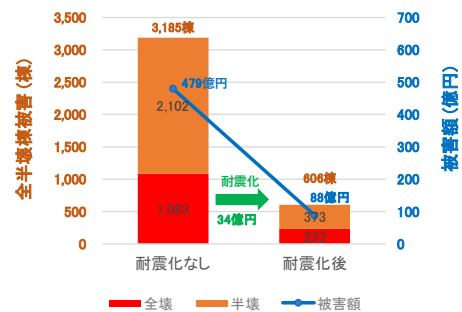


図4-13 耐震化による被害と費用の低減 (十勝平野)

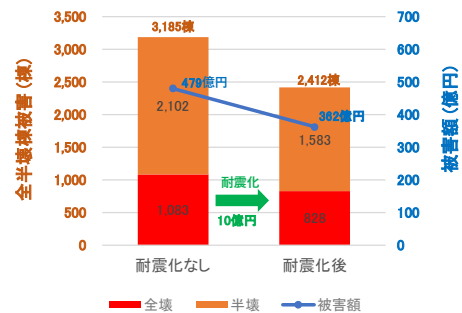


図4-14 3割耐震化による被害と費用の低減 (十勝平野)

### b. 3割を耐震化した場合

全半壊棟数の3割を耐震化することによって、木造住宅の全半壊被害は2,412棟に低減する。現況の被害(3,185棟)に比べて24%低減する。

耐震化の導入費用は10億円と試算される。耐震化後の被害額362億円であり、被害軽減額は117億円(=479-362)となった(図4-14)。

耐震化費用と耐震化後の被害額を合わせた費用は122億円となり、現況の被害額(479億円)と比べて78%となる。

## 5. 技術の普及展開方策の提案

### (1) マニュアル作成とセミナーの開催について

耐震改修を促進させるために、技術者向けのマニュアルを作成した。研究成果の一部、開発した工法の紹介と耐震改修を促進するため耐震改修工事をあまり行っていない技術者に配慮した内容とした。

また、本研究の成果の一部を技術者および一般向けのセミナーを開催し、胆振東部地震の被害や耐震補強の必要性、耐震診断・耐震補強の工法について普及・啓発を行った。

2021年12月10日 北海道住宅リフォーム推進協議会主催の消費者向けセミナー「住まいの安全性と防災対策」でリアル講習会を実施し、動画も配信した。2022年2月1日 新型コロナウイルス感染拡大防止のためWEBセミナーで開催になった(一財)北海道建築指導センター主催の北方型住宅技術講習会において「地震による木造住宅の被害想定と低コストな耐震改修方法について」を実施し、動画も配信している。加えて、函館市住宅都市施設公社主催のセミナーに代えて動画配信として「あなたの住んでいる家は大丈夫」で動画配信を行った。

これらとは別に、復旧支援の一環として2019年4月25日厚真町、6月12日むかわ町、6月14日安平町において北海道主催による復旧工事における注意事項について講習会を開催した(計16名参加)。

さらに、技術者向けの耐震診断・改修技術についての啓発と普及のためのセミナーを2020年2月3日(別海町 19名)、一般市民向けの耐震セミナーを2月21日(函館市 36名)に先行して開催した。

### (2) 自治体等への支援について

#### 1) 耐震改修補助制度について

既存の住宅の耐震化は居住者の防災意識の低さや費用負担の問題等からあまり進んでおらず、現状の自治体の耐震改修助成の利用率も低い。

そこで、戸建住宅の耐震診断・改修に対する自治

体の耐震改修支援制度の現状を調査した。

道内市町村では、52市町村(全市町村の約30%)が耐震診断に関する補助制度を、107市町村(全市町村の約60%)が耐震改修に対する補助制度を整備している(令和2年4月1日現在)。

このうち道内主要都市と道外の都市について、耐震改修の補助制度について調査した結果(令和4年2月 自治体ホームページによる)を表4-2に示す。

道内主要都市8市について調査した結果、補助率0.3未満が多数であり、補助限度額は30~120万円であった。

表4-2 道内・道外都市の耐震改修補助制度

市町村名	耐震改修	
	補助率	補助限度額(万円)
札幌市	0.8	120
旭川市	0.23	82.2
函館市	0.2	40
釧路市	0.23	45
帯広市	※	30
苫小牧市	0.3	60
北見市	※	70
江別市	0.23	82.2
青森市	0.2	100.4
盛岡市	0.8	100
仙台市	0.8	125
江東区	0.5	150
千葉市	0.8	100
松本市	0.5	100
名古屋市	0.8	100
新潟市	0.7	120
福井市	0.8	120
金沢市	1.0	200
大阪市	0.5	100
高知市	0.8	100
南国市	1.0	100
松山市	0.8	100
福岡市	0.5	90

※印の補助率は、工事額によって変動する

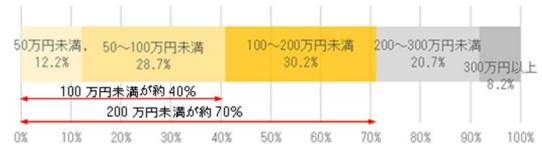
他府県の例では、補助率は0.8程度、補助金限度額も100万円前後が多いことがわかった。

次に、耐震改修を実施しない理由について調査した。国土交通省で実施したアンケート<sup>27)</sup>で耐震診断を行った木造戸建て住宅所有者への調査の結果を図4-15に示す。住まい手が一番不安に思っていることは耐震改修にかかる工事費用であることがわかった。

#### 2) 耐震改修工事費用について

上記より、耐震改修工事にかかる費用について調査した。他県の事例によると、愛知県の耐震改修工事費の平均は182万円<sup>28)</sup>、長岡市では285万円<sup>29)</sup>、

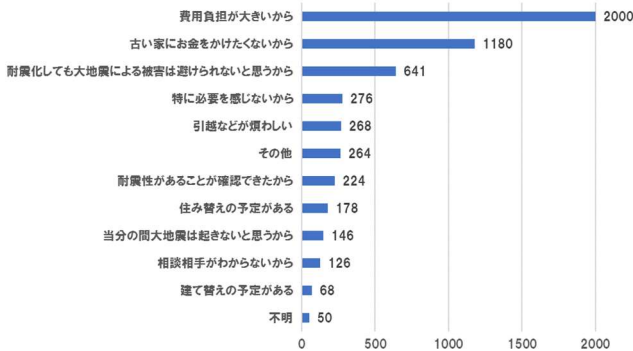
金沢市が平成 19 年度に実施した金沢市木造住宅建築物耐震化促進調査の 30 棟（1 期工事と 2 期工事を実施した 1 棟は除く）の平均工事費は約 295 万円、耐震改修工事が非常に多く実施されている高知県<sup>30, 31)</sup>にヒアリングした結果では、令和 2 年度に 1480 棟実施され平均工事費が約 155 万円となっている。



出展：プレスリリース「木耐協調査データ令和元年10月発表」より

図 4-16 耐震補強の予算感（旧耐震住宅）

耐震改修の予定がない世帯の耐震改修をしない理由



出典：国土交通省住宅局建築指導課防災対策室「住宅の耐震化に関するアンケート調査」令和元年10月～11月

図 4-15 耐震改修をしない理由

さらに、日本木造住宅耐震補強事業者共同組合（以下、木耐協）が平成 25 年の「木耐協 耐震診断 調査データ」<sup>32)</sup>によると築 40 年以上で 1 階床面積が 60～80 m<sup>2</sup>未満の住宅で約 200 万円、1 階床面積が 80 m<sup>2</sup>以上で約 250 万円となっている。

また、（一財）日本建築防災協会では耐震改修工事費の目安を表 4-2 のように公開している。

表 4-2 耐震改修工事費の目安（木造 2 階）<sup>25)</sup>

住宅の延べ面積	75 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	125 m <sup>2</sup>
耐震改修工事費	150 万円	180 万円	200 万円

出展：耐震改修工事費の目安（一財）日本建築防災協会より

このように改修工事費用については様々なデータがあるが概ね 150～200 万円であることがわかる。

一方で、住まい手の耐震改修工事にかかる自己負担額についても調査した。

木耐協が実施した、耐震補強工事の検討者に聞いた「耐震補強工事の予算感」のアンケート結果（令和元年の 10 月に実施した耐震診断実施者アンケート）を図 4-16 に示す。耐震改修工事にかかる予算は、旧耐震住宅の場合は 100 万円未満が約 40%、200 万円未満が約 70%となっている。

また、兵庫県が実施した耐震改修工事における自己負担の限度額について住宅所有者アンケートを実施した結果（平成 30 年簡易耐震診断を受けた方 188 名）から、住宅所有者の 43%が 100 万円未満の自己負担であれば工事実施の意向があることがわかる。

100 万円未満の工事の提案であれば、住まい手が受け入れやすいことがわかる。

これらから、補助金額設定値を 100 万円程度にすると、住まい手の自己負担費用を 100 万円以下に抑えることができる。

### 3) 高知県の事例について

さらに、先進事例として年間 1000 件以上の耐震改修工事補助実績のある高知県の取り組み事例について調査（2019 年 8 月 19～21 日高知県での現地調査、2022 年 2 月電話ヒアリング）した結果を以下に示す。

- ① 補助金額 補助率が 8/10、限度額 100 万円
- ② 代理受領制度の導入
- ③ 戸別訪問の実施
- ④ 県が各種の技術講習会や勉強会を開催
- ⑤ 耐震改修業務を実施できる建築士と工務店の登録制度

上記項目を複合的に活用していることがわかった。

### 4) まとめ

1)～3) より、耐震改修促進のためには、道内自治体の補助制度の更なる充実が望まれる。これらの情報に関しては「令和 3 年度 全道住宅建築部耐震改修促進会議」の資料として情報提供を行った。なお、北海道や旭川市の耐震改修促進計画の改定の際にも情報提供した。

### 6. まとめ

- ・被害調査の結果、旧耐震基準の住宅の全半壊率は新耐震基準の住宅の約 4 倍、店舗併用住宅の全半壊率は住宅の約 2.6 倍であることを明らかにした。
- ・設備機器の被害は建築年代にかかわらず発生しており、本道では冬季の被災を想定すると対策が重要であることを確認した。
- ・住宅の劣化調査より、診断・改修工事前の調査により確認が重要な部分を明らかにした。
- ・構造被害が小さくても解体が行われている例もあった。町の過疎化・高齢化を防ぐためにも解体住宅を出さないような対策が重要となる。
- ・低廉で工期が短かつ住みながら工事が可能な、天井・床の解体を無くし、壁の上下に空きがある

構造用合板による耐震改修工法と旧耐震住宅に一般的な使用となっている木摺モルタル外壁に構造用ビスを壁上から柱に直接留める工法を開発した。

- ・店舗併用住宅の特徴を踏まえ、木質門形フレーム鉄骨フレームによる耐震改修工法を提案した。
- ・道央圏や十勝圏に想定される大規模地震を対象に、提案した耐震改修工法を用いて事前に木造住宅を耐震化した場合の導入費用や、耐震化による被害額の低減効果を明らかにした。
- ・調査結果や新たに開発した工法の紹介等を内容とする耐震改修マニュアルを作成し、技術者及び一般向けの耐震改修セミナーを開催した。
- ・耐震改修補助制度について道主催の道内市町村担当国会議を通じ情報提供した。

なお、開発した工法は即時的・付加的な耐震性の向上であるが、耐震評点を満たす評価や認定の取得までには至っていない。今後、建築関係団体や企業と意見交換を積み重ね、仕様の検討・追加や改良を行い認定取得などのニーズに応じ技術支援を行っていく。また、既存住宅の改修については、断熱改修等さまざまであり、一体的に行った方が効率的な場合が多いため、成果の活用に当たっては他の改修等と耐震改修工事をセットで普及する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 平成30年胆振東部地震による被害状況等(第10報) 平成30年9月7日 北海道対策局危機対策課
- 2) 災害時地震報告 平成30年北海道胆振東部地震 平成31年2月28日 気象庁
- 3) 平成30年胆振東部地震による被害状況等(第123報) 令和3年8月1日 北海道対策局危機対策課
- 4) 災害に係る住家の被害認定基準運用指針 平成30年3月 内閣府(防災担当)
- 5) 災害に係る住家の被害認定基準運用指針 参考資料(損傷程度の例示) 平成30年3月 内閣府(防災担当)
- 6) 厚真町・安平町・むかわ町平成30年度北海道胆振東部地震記録誌
- 7) 植本敬大、高橋暁、角倉英明、中川貴文、埴加寿雄 既存木造住宅の現況調査と躯体劣化状況の差異に関する検討 建築学会大会学術講演梗概集(九州)2016年8月
- 8) 国土交通省総合技術開発プロジェクト「中古住宅流通促進・ストック再生に向けた既存住宅等の性能評価技術の開発」
- 9) 岩崎祥太郎、中嶋唯貴、岡田成幸:2018年北海道胆振東部地震における住宅再建状況調査-安平町,厚真町,むかわ町を対象として-,日本地震工学会大会,C-1-2,2020
- 10) 西嘉山純一朗,中嶋唯貴,岡田成幸,寺西祐平:2018年北海道胆振東部地震の被害調査-厚真町全世帯アンケート調査の基礎解析-,地域安全学会梗概集, No.45, pp19-22, 2019
- 11) 岡田成幸・高井伸雄: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,524,65-72,1999
- 12) 2012年版 木造住宅の耐震診断と補強方法 (一財)日本建築防災協会
- 13) 木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2017年版)(一財)日本建築防災協会
- 14) 吉野利幸、植松武是、片山大輔、佐々木智和 北海道の木造住宅の耐震改修促進を目的とした耐震診断・補強効果評価手法に関する研究 北海道立北方建築総合研究所 調査研究報告 No246 2009.3
- 15) 住宅の性能向上リフォームマニュアル 耐震・断熱改修方法編 北海道立総合研究機構 建築研究本部
- 16) 北海道、(一社)北海道建築士会、(一財)北海道建築指導センター:地震に強い住まいづくり
- 17) (一財)日本建築防災協会:木造住宅耐震補強の実務
- 18) (一社)北海道建築士事務所協会札幌支部:木造住宅耐震設計と耐震改修工事のポイント
- 19) 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, pp1549-1559, 2018年11月
- 20) 竹内慎一・岡田成幸・中嶋唯貴・森松信雄・宮内淳一・長瀬拓也・齊藤隆典・戸松誠:北海道胆振東部地震の被害を考慮した木造被害率関数の検討-その1 地震被害情報による被害率関数のベイズ更新-,日本建築学会北海道支部研究報告集, No.94, pp450-453, 2021年6月
- 21) 北海道総務部危機対策局危機対策課:平成28年度地震被害想定調査結果報告書, 2018年2月
- 22) 中央防災会議・日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討WG:日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の被害想定項目及び手法の概要, 2021年12月
- 23) (一財)建設物価調査会:令和元年度版建築統計の年間動向, 2019年10月
- 24) 総務省統計局:平成30年住宅・土地統計調査結果
- 25) 国土交通大臣指定 耐震改修支援センター・(一財)日本建築防災協会:一耐震改修ってどのくらいかかるの?一耐震改修工事費の目安, 2020年3月
- 26) 東京都都市整備局:木造住宅の安価で信頼できる「耐震改修工法・装置」の事例紹介, 2021年11月
- 27) 国土交通省住宅局建築指導課防災対策室「住宅の耐震化に関するアンケート調査」令和元年10月~11月
- 28) 愛知県:高齢者に配慮した住宅耐震化マニュアル 平成21年3月
- 29) 長岡市耐震改修促進計画(第二期計画) 令和2年10月一部改訂
- 30) 川端 寛文 他 高知県における既存不適格木造住宅の耐震改修促進に関する調査 日本建築学会技術報告集 他第25巻第59号 pp135-140 2019年2月
- 31) 鍵山 佳秀 高知県における木造住宅の耐震改修促進の取り組み 建築防災 2019.7
- 32) 木耐協 耐震診断 調査データ 日本木造住宅耐震補強事業者共同組合 平成25年8月
- 33) 日本合板工業組合連合会:耐震補強用 合板耐力壁マニュアル
- 34) 愛知県建築地震災害軽減システム研究協議会:木造住宅 低コスト 耐震補強の手引き 2022年版