

富山県農林水産総合技術センター 木材研究所研究報告

2009. 3. No. 1

富山県におけるスギ材利用の現状	中谷 浩、坂井正孝、 長谷川益夫、柴 和宏	1
平成19年(2007年)中越沖地震における木造住宅の被害調査	園田里見、中谷 浩、 長谷川益夫、柴 和宏、 秦 正徳	6
ロシアカラマツを用いた高耐久外装材の開発	長谷川益夫、中谷 浩、 島崎 鶴雄	18
15年経過した木製歩道橋の劣化調査事例	栗崎 宏、中谷 浩	29
木材液化技術による建築廃材の利用 (第1報) - C C A 処理廃材利用の検討 -	鈴木 聡、藤澤泰士、 中谷 浩、高橋理平	38

富山県におけるスギ材利用の現状

中谷 浩、坂井正孝、長谷川益夫、柴 和宏

Current Use of Sugi Timber in Toyama Prefecture

Hiroshi NAKATANI, Tadayuki SAKAI, Masuo HASEGAWA, Kazuhiro SHIBA

県産スギ材の利用を促進するための体制を構築するには、現状の県産スギ、県外スギあるいは建築部材の利用状況を的確に把握することが必要である。そこで、県産スギの供給実態、製材実態、プレカット加工の現況を調査した。県産スギ材の供給力は、他県との比較の中で、現状の2～3倍の素材生産量に耐え得る蓄積量がある。現況の県産スギ材の利用は、地域の大工・工務店に供給する地域の小規模製材工場に依拠することが多く、野地板や垂木などの小割材、一部に梁類の製材が認められた。一方、住宅メーカーあるいはプレカット工場では、県外のスギ柱材の使用が多いことが明らかになった。これは、県外材の乾燥度、寸法精度など品質面での信頼性や価格に依拠するところが大きいと考えられる。県産材の使用は、主として野地板等に認められた。住宅メーカーからは、県産スギ材利用に対する新たな要望もあり、品質面の信頼性と安定的な供給が必要と考えられた。

1. はじめに

県産スギ材は、平成17年次で3.9万 m^3 の素材生産量だが、今後の蓄積の増大に伴い、県産材全体で約10万 m^3 の素材生産量が予想されている。しかし、その増加量に対応した供給体制や需要に対する体制は未整備である。地球環境問題における二酸化炭素発生の抑制や森林の持つ多面的な機能を維持していくためには、地域の森林資源を積極的に活用していくことが重要と考えられる。そのためには森林を適性に維持、管理していくことが必要であり、山間部からの収入の基盤を有し、山村が振興することが必要である。

県産スギ材を利用していく体制を構築するためには、富山県の実情、特長に適した方法を探る必要がある。そのため、県産スギの利用や流通の実情を明らかにすることが必要と考え、製材工場、集成材工場、プレカット工場、地域住宅メーカー等における県産材やスギ材の利用状況の調査を行った結果について報告する。

2. 調査方法

調査にあたっては、県産スギ材の蓄積、素材生産量、製材工場、プレカット工場等の全体概要を既報の文献、資料で整理した^{1,2)}。

製材工場については、それぞれの特徴がつかめるよう、生産規模、形態が異なるように配慮して、県産スギ素材を扱っている5工場を選択した。生産規模、県産スギ取扱量、製品材種、乾燥設備、コスト等について聞き取り調査を行った。

プレカット工場については、住宅メーカー所属のプレカット工場、賃加工プレカット工場を含めて5工場を選択し、使用部材と材種、スギ材使用量、県外スギ使用量、今後の県産スギの使用可能性などについて、調査した。

なお、調査は平成19年度に行ったものである。

3. 調査結果

3.1 県産スギの蓄積と素材生産量

県産スギ材の蓄積の状況¹⁾を図1に示す。富山県全体では9齢級(45年生)がピークとなっており、量的にはタテヤマスギが多いが、齢級のピークはタテヤマスギが8齢級に対して、ボカスギは10齢級と

本稿の一部は、平成19年度林業技術センター試験研究成果発表会で発表した。

*1: 木材研究所、*2: 森林政策課

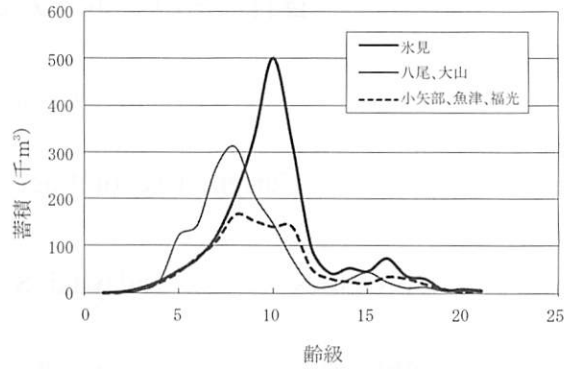
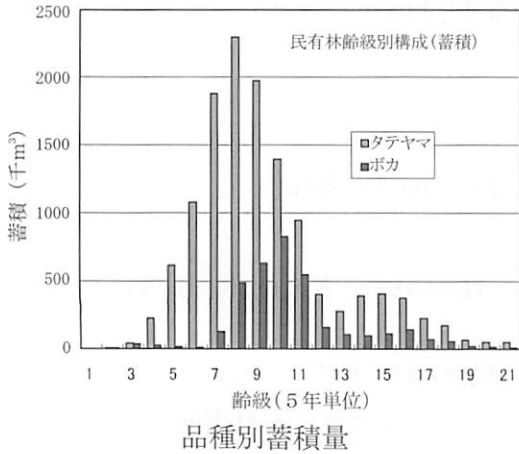


図1 県産スギの蓄積

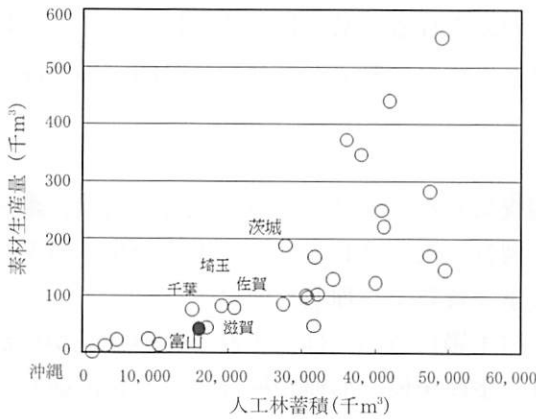


図2 蓄積と素材生産量

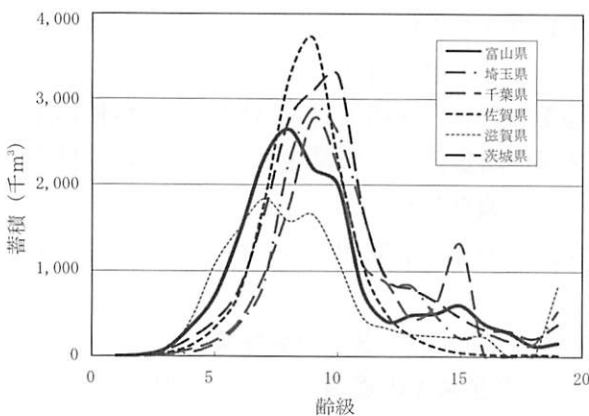


図3 各県の令級と蓄積分布

品種による違いが認められる。また地域的な違いもあり、量的には氷見や八尾、大山地区が多く、とくに氷見市はボカスギが多いことから、林齢も高く、供給能力の高い地域となっている。

図2は、各県における素材生産量と蓄積の関係³⁾

を示したものである(宮崎県等の大生産地は省略)。蓄積の大きい県の素材生産量は大きくなっているが、蓄積1,500万 m^3 の富山県と近い蓄積量の県と比較すると、滋賀県の素材生産量は同等だが、千葉県、埼玉県、佐賀県では2倍近い8万 m^3 の素材生産量を示している。また、茨城県は蓄積量が富山県の2倍だが、素材生産量は4倍以上を示している。各県の資源状況は、戦後の拡大造林施策の関連から、ピークに1~2令級の違いがあるもののほぼ同様の蓄積傾向を示している³⁾(図3)。スギの蓄積に対するスギ素材生量の割合を利用率とすると富山県や滋賀県は0.16%だが、埼玉、佐賀、千葉で0.3~0.4%、茨城県は0.7%を示している。県による違いには、山林の状態や加工体制、消費地の大きさなど、様々な要因が関わっていると考えられるが、他県の状況と比べると、富山県には8~10万 m^3 の素材生産能力はあるものと考えられる。

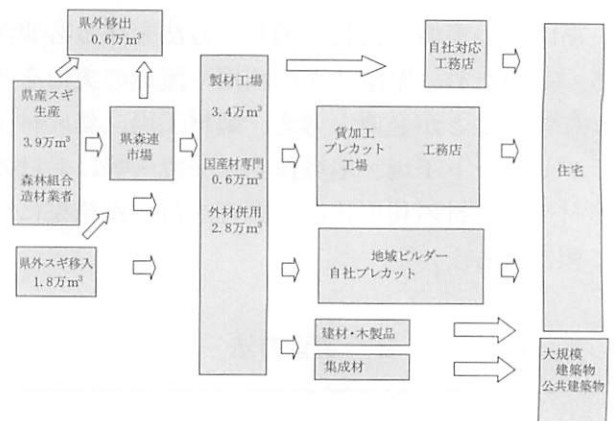


図4 県産スギ建築部材の流通

注) 素材材積はH17年次

表1 国産材専門・外材併用製材工場

	工場数	従業員数 人/1社	国産材入荷量 m ³	素材入荷量 m ³ /1社	外材入荷量 m ³ /1社	国産材比率 %
700kW	1	36	3,120	27,280	24,160	11
458kW	1	20	20	13,424	13,404	0
150~300kW	8	9	4,033	1,744	9,916	29
75~150kW	19	7	8,989	1,840	25,967	26
37.5~75kW	15	4	2,619	624	6,747	28
~37.5kW	14	3	4,088	542	3,501	54

(北陸農政局H17資料から)

表2 国産材製材工場の現状

	従業員	出力 kW	素材取扱量 m ³	国産材 m ³	外材 m ³	丸太購入先	出荷先	製品	原木価格 円/m ³	製品価格 円/m ³
A製材	6	25	1,017	1,017	0	県森連 県外	地場工務店 プレカット工場 地域ビルダー他	板類	18,000~19,000 (中目) 25,000~100,000 (元木)	53,400
B製材	19	100	5,900	1,500	4,400	県森連80% 森林組合 県外	地場工務店 プレカット工場 地域ビルダー	板類	8,000~18,000	59,000~63,000 乾燥材+15,000
C製材	6	200	1,296	1,296	0	森林組合	地場工務店 直営建築資材	梁桁	14,000~15,000	57,000 乾燥材+14,500
D製材	9	250	1,808	958	850	県森連 地場山元	建具屋 建材店	板類	14,000~16,000	57,600~64,800
E製材	36	700	27,280	3,120	24,160	県森連 県外市場	プレカット工場 地域ビルダー		10,000~15,000	33,000~48,000

3.2 建築用材料としての県産スギ材の流通

建築用材としての県産スギ材の一般的な流れを図4に示す。丸太、製材以外は細かな統計数値がないため、量的な詳細は不明だが、県産スギ素材生産量は、平成17年次で3.9万m³、これらは森林組合や造材業者によって生産されている。森林組合連合会の市場に素材の1万m³が出荷されており、他は製材工場（森林組合の工場含む）に直接納入されている。県外からの丸太が、市場あるいは製材工場に1.8万m³移入し、逆に県外に出荷される丸太が合板用も含めて0.6万m³となっている。

製材用としての素材材積は3.4万m³となっている。多くは製材工場から工務店に直接出荷されている。量的に少ないが、賃プレカット工場や地域住宅ビルダーにも出荷されている。また、内装材やフローリングとしての利用は、モルダを備える木工・加工所を通して製品化され供給されている。

集成材としての利用は、柱や梁材としての恒常的な生産はなく、公共の大規模建築物等の物件に応じて、製材所からラミナが集成材メーカーに納入され大断面の県産スギ集成材が製造されているのが現状である。

3.3 県産スギ材の製材

平成17年次の富山県の製材工場は144社⁴⁾となっているが、港湾型製材工場による北洋材の加工基地

として特長づけられており、製材動力1,000kW以上の大型工場6社は、1社で年間約7万m³の素材を扱っている。一方、国産材専門工場は23社、外材との併用工場が84社で、全工場数の7割を占めている⁵⁾。

製材工場の大きさは動力数で表すのが一般的であり、300kW未満の工場が大半で、取扱い量も年間2,000m³以下であり、国産材の比率が高いほど規模が小さくなっている（表1）。

県産スギを扱う代表的な工場に聞き取り調査した結果を表2に示す。工場の形態は、軽便自動送材車つきの製材機を1基と関連機械を備えたものが大半で、丸太の入手先は主に県内・県外市場、出荷先は地域の工務店というのが一般的となっている。乾燥機の導入は、国産材を扱う107社のうち28工場に導入されている。工場により扱い製品に違いがあるため一概には言えないが、原木価格は10,000円から中目の板類用で14,000円~18,000円/m³、とみられ、製品価格は生材で概ね60,000円近く乾燥材では70,000円に達している。県外産のスギ柱材ではKD材でも60,000円以下、貫等の生材で42,000円程度であり、製品価格的には厳しい状態となっている。これらの工場は、量産型の製品生産ではなく、スギ、ベイマツ、北洋材など様々な樹種、特殊な寸法、品質の材を地場工務店の注文に細かく対応することで工場の基盤を築いている。300kW以下の併用工場4社

表3 プレカット工場の使用材種

部材	A社(自社プレカット)	B社(自社プレカット)	C社(賃加工プレカット)
柱	ベイヒバ集成材 4割 ヒノキKD 4割 スギKD 2割(四国、九州)	スギ 7割(九州他) ヒノキ・ヒバ 3割 KDとG 各5割	RW集成材 8割、 WW集成材 1割、 スギKD 1割(中国地方)
梁	RW集成材 8割 ベイマツKD 2割(スギ)	ベイマツKD	ベイマツKD
大引	ベイマツ	ヒノキ・ヒバ	集成材、カラマツG
母屋	RW集成材、ベイマツ	ベイマツKD	集成材、カラマツG
土台	ヒノキ	ヒノキ・ヒバ	カラマツG
筋違い	ベイマツKD	ベイマツ、ヒノキ	ベイマツ、ホワイトウッド
間柱	ベイマツKD、合板間柱、 ベイヒバ	ベイマツ、ヒノキ	FJ材
床根太	根太レス 8割 カラマツG、2FベイマツKD	根太レス	根太レス 8割 ベイマツKD
屋根タルキ	ベイマツ (G可能)	ベイマツKD	ベイマツ、カラマツG
野路板	エゾマツ、(スギ)	合板	スギG、ベニマツG
胴縁	エゾマツ	スギ(九州、四国)	北洋材

RWは、レッドウッド、WWはホワイトウッド、FJはフィンガージョイント材
KDは人工乾燥材、Gは未乾燥材

表4 スギ柱材の使用状況

部材	柱	加工戸数 棟/年	柱材積 m ³	スギ柱材積 m ³	スギ割合 %	県内出荷の割合
A社(自社P)	ベイヒバ集成材 4割 ヒノキKD 4割 スギKD 2割(四国、九州)	360	1,548	310	20	富山8割
B社(自社P)	スギ 7割(九州他) ヒノキ・ヒバ 3割 KD材 5割	300	1,290	903	70	富山6割
C社(賃加工P)	RW集成材 8割 WW集成材 1割 スギKD 1割(中国)	1,200	5,160	516	10	富山6割
D社(賃加工P)	スギKD 6割(近畿、九州、関東) ヒノキ 1割 RW集成材 3割 長柱(スギ県産)	300	1,290	839	65	富山10割
E社(賃加工P)	スギ 5割 集成材 5割	450	1,935	968	50	富山6割
	合計(8700坪/月)	2,610	11,223	3,535	31	
	富山県内住宅	1,758	7,559	2,518		

棟数は、加工坪数から1棟40坪として計算、柱は40坪で4.3m³(12x12x300cm 約100本相当)として計算
P:プレカット、KD:人工乾燥、RW:レッドウッド

の聞き取り調査によると、国産材原木の購入は、県内・県外の原木市場であり、主力は破風板や板壁等の板板と梁や桁類で、垂木等の小割り類や屋根下地になる12mmの野地板も量的には多い。

年間3万m³の素材を製材する700kWの大型工場が、国産材を扱い始め、1社で3,000m³の国産材を製材している。ここでは、生産規模の違いもあり、生材では50,000円以下の製品が可能になっているが、県外の大型国産工場からの製品との競合は厳しい状態となっている。一部には、プレカット工場やビルダーへの納入も認められ、野地板やプレカットメーカーからの長柱など特殊寸法材に対応している。

3.4 プレカット工場におけるスギ材使用の現況

プレカット工場は、富山県内に19工場あり、年間4,200棟の加工を行っているとは推定される。これらの工場は、県内に限らず、近県にも出荷している。全国的には木材加工におけるプレカット利用率は8割から9割と言われている。富山県における新設住宅は7,600戸で木造が5,500戸(木造率72%)であり、中でも在来工法が木造の8割程度を占めると思われるが、これらは、自社のプレカット工場を持つ地域ビルダー、賃加工プレカット工場に依頼している工務店、それ以外には小規模な加工機械により自社加工を行う工務店やフランチャイズに加入し部材供給を受ける工務店、さらには大手の全国ビルダー等によって建築されている。

プレカット工場における部材の使用状況を表3、スギ柱材の使用状況を表4に示す。全国調査では集成材の柱が60%を超えているが、県内では工場によって様々であり、集成材が8割を占める工場から、スギ製材が7割を占めるところまで、特徴的になっている。柱に関して整理した結果では、スギの使用量は、調査工場(2,600戸相当)で約3,500m³のスギ製材を使用し、県内の住宅相当分で2,500m³使用していた。この割合を全県的に適用するなら、7,000m³、素材換算で14,000m³相当のスギ材が移入されていると考えられる。スギ柱には大きな需要を持つ地域といえる。梁類は、母屋等も含めてベイマツ乾燥材と集成材の競合、筋交いや間柱、根太、タルキ等の羽柄材はベイマツや北洋材他にいくつかの樹種となっている。県産スギ材の使用は、野地板と一部に柱や梁、貫等の使用が認められたのみであった。

4. おわりに

現在の県産材を含むスギ材の流通状況を調査し、外材や県外材の移入の大きさが確認された。

今後、県産スギ材の利用を促進していく必要がある。一般の構造材としては乾燥材や強度等級区分材いわゆるJAS材と同等の品質を持つこと、さらには安定的な供給量とさらには価格に対する対応が必要になる。大規模な製材工場の展開が進む中で県産スギ材の蓄積での大規模製材工場の展開は困難な状況

と思われる。

しかし、現在利用されているように、県産スギ材も現状の製材工場、工務店という仕組みの中で一定量が流通している実態が認められた。また、調査のなかで、住宅メーカーには地域のスギ材を使いたいという意識も存在していることが確認された。地域材を地域で木造住宅として使用することに、地球環境問題への取り組みや地域の森林を守るという一つのブランド性あるいは社会性を持つものと考えられる。このような、地域材を使いたいという住宅メーカーに、安全で安心して使ってもらえるような品質の製品を安定して供給していく体制が求められていると考えられる。

引用文献

- 1) 平成17年度富山県林業統計書、富山県農林水産部、H19年3月刊行、30-36.
- 2) 森林政策課内部資料.
- 3) 農林業センサス累年統計書、都道府県別統計森林蓄積量、H17年次、農林水産省HP統計情報.
- 4) 木材需給と木材工業の動向、富山県森林政策課、H19年3月刊行、14-15.
- 5) 北陸農政局内部資料.

Summary

To construct a system to promote the use of Sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don) planted in Toyama prefecture, it is important to analyze the state of the Sugi lumber used as a building component. We investigated the supply situation, production of lumber and pre-cut factories for housing construction using Sugi planted in Toyama. Judging from the supply situation in other prefectures, the supply of the log suitable for the forest accumulation of Toyama seems to be two or three times of the current supply. The Sugi logs planted in Toyama were sawed up in small factories in the region, and supplied to carpenters or construction companies. The kinds of lumber were small sectional lumber such as roofing boards and rafters, and beam timbers.

On the other hand, it was clarified that there was a lot of use of Sugi pillars from other prefectures in large house builders or at large pre-cut factories for house construction. It seems that this situation was dominated by low price and high reliability for quality, like dry level and the size accuracy of the lumber from other prefectures.

The Sugi trees planted in Toyama prefecture were chiefly used as roofing boards. It was thought that improvement in the reliability of quality and stable supply were necessary, because that there was a new demand for the lumber of trees planted in Toyama prefecture from the house builders.

平成19年(2007年)中越沖地震による木造住宅の被害調査

園田里見, 中谷浩, 長谷川益夫, 柴和宏, 秦正徳*

Damage to Wooden Houses by the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007

Satomi SONODA, Hiroshi NAKATANI, Masuo HASEGAWA,
Kazuhiro SHIBA, Masanori HATA*

平成19年(2007年)中越沖地震で被害の大きかった柏崎市を中心に木造住宅等の被害調査を行なった。また、柏崎市内の一部地域で建物被害の悉皆調査を行った。被害と建物の特徴との因果関係は能登半島地震をはじめとする既往の知見と概ね一致した。古い家屋や土蔵に被害が多くみられたが、新しい建物や補強に配慮された建物の被害は少なかった。現行の耐震基準で概ね木造住宅の耐震性が確保できることが示唆された。また、随所で著しい腐朽・蟻害がみられ、北陸地域における維持管理・補修の重要性が再認識された。臨海地域で脆弱な地盤であったことから被害地域内に多くの地盤被害がみられた。石造の塀等や2次部材の被害がみられ、安全対策の必要性が再認識された。高齢者世帯の耐震対策の促進の重要性が示唆された。

1. 緒言

2007年3月25日の平成19年能登半島地震から間もない同年7月16日に死者と多くの被災者を出した平成19年(2007年)新潟県中越沖地震(以下、中越沖地震と略す)の本震が発生した。震源から最も近い人口密集地である柏崎市を中心に家屋、社寺、工場、公共施設、原子力発電所などの建築物、工作物、付帯設備に大きな被害が発生し、多数の家屋が倒壊した。また、地盤被害も著しく、電気、ガス、水道、道路、鉄道などの社会基盤に大きな損傷を与えた。北陸地域における地震対策の重要性和課題が浮き彫りとなった。この地震では能登半島地震に続き、富山県においても広い範囲で震度3を、一部地域で震度4を観測した。短い調査期間ではあったが、同震災の被害調査の機会を得たのでここに報告する。

2. 中越沖地震の概要

中越沖地震の本震の概要を表1に示す。本震の規模や最大震度、発生時刻、地方市街に隣接した沿岸

での発生、木造家屋に被害を与えやすい周期帯に大きい振幅を持つ点など能登半島地震とは共通点が多い。地震動の詳細や被害統計については、本稿執筆時点で速報や報告¹⁻³⁾が出されているので割愛する。

表2に示すように、旧柏崎市では昭和56年(1981年)の新耐震基準適用前に建築された住宅の割合(45%)が同県内の大都市である旧新潟市(36%)と比べて多い。能登半島地震の被害地である旧輪島市や旧七尾市と比べるとこの割合は低いものの、震源に近かった柏崎市街は住宅戸数が多く、住宅密度が比較的高いため、被害規模が大きくなったものと予想される。ちなみに、旧柏崎市の築年代構成は旧富山市と同程度である。

能登半島地震の被害⁴⁾と同様に、地震動の大きかった地域は概して(剛性の低い建物が共振しやすい)軟弱な地盤にある上、劣化とともに、建築計画時の耐震性の低さが「古い木造住宅の被害が多い」という特徴を生む要因となったと推察される。なお、柏崎市における建物の築年代と被害程度の関係につい

*富山大学芸術文化学部

ては、全悉皆調査データを元に岡田²⁾がより詳細な分析を報告している。本稿でも6章で考察した。

表1 中越沖地震本震の概要¹⁾

発生時刻	2007年7月16日10時13分
発生場所	新潟県上中越沖(37°33.4'N 138°36.5'E) 深さ17kmの地点
地震規模	マグニチュード6.8
最大震度	震度6強 ^{*1} (新潟県 長岡市小国町法坂, 柏崎市中央町, 柏崎市西山町池浦, 刈羽村割町新田, 長野県飯綱町芋川) (富山県内は舟橋村, 氷見市で震度4)
最大加速度	1018.9gal ^{*2} (柏崎市西山町池浦)

※1 柏崎刈羽原発内では震度7が観測された。

※2 最大加速度は3成分合成値

表2 被害地域の木造住宅の築年代

築年代	柏崎市	新潟市	富山市	輪島市	七尾市
住宅のうち木造の割合	91%	75%	67%	91%	87%
木造住宅の総戸数	26,380	153,730	78,700	8,000	13,760
S35以前					
S36~45					
S46~55					
S56~60					
S61~H2					
H3~7					
H8~12					
H13~15.9月					
S55以前の割合	45%	36%	50%	71%	53%
改修済み割合 [*]	2.6%	2.5%	2.0%	3.0%	2.1%

※Sは昭和(年)、Hは平成(年)。
 ※平成15年土地家屋統計に基づく(市名は当時の区分)。
 ※ここでいう木造住宅は、木造と防火木造の合計。
 ※改修済み割合は持ち家木造に対する耐震工事を行った住宅の割合。

3. 調査の方法

本震発生直後より一般報道のほか、インターネット上で様々な速報が公開された。これらの情報を元に、図1に示すように、本震発生から約2週間後の平成19年7月31日に柏崎市中心市街を、翌8月1日に同市街、柏崎市北部、刈羽村を主として木造家屋を中心に被害調査を行なった。

調査は建物外部から観察できる範囲に留まったが、一部で居住者の好意により、聴き取りや内部の被害状況の観察を行なったものもあった。

また、日本建築学会の悉皆調査の一部として、古い住宅街である柏崎市東本町の一部地域で被害建物の悉皆調査を行なった。この調査については後述する。



図1 調査地域

※国土地理院作成災害概況図(速報5)の一部に調査地を記入。

4. 調査結果

4.1 被害の概要

今回の地震では震源から最も近い人口密集地である柏崎市を中心に家屋、社寺、工場、公共施設、原子力発電所などの建築物・工作物に大きな被害が発生し、多数の家屋が倒壊した。また、地盤被害も著しく、電気、ガス、水道、道路、鉄道などの社会基盤に大きな損傷を与えた。

被害の概要は以下の通りであった。

- 能登半島地震⁴⁾ほどではないが、地域的に古い家屋・土蔵が多く、被害が著しい。特に柏崎市街では、土蔵を転用もしくはこれに類似した土蔵造りと呼ばれる古い木造家屋が多い。
- 外観を改装しているものの、躯体が古いままの家屋・店舗が散在し、被害を受けている。
- 間口開口が広く、偏心と壁量不足が顕著な店舗に被害が著しい。
- 海岸に近い砂丘地帯であり、シロアリ被害がみられる。
- 新しい建物は被害が極めて少ない。
- 被害家屋のなかには、平成16年中越地震被害による改修歴のある建物がみられる。
- 外観上は被害軽微ながら、建物内に入ると躯体接合部に被害が及んでいる建物がみられる。
- 地盤が軟弱な砂丘地帯が多く、地盤被害が多い。

4.2 伝統的な木造構法の被害

伝統的な木造構法としては、土蔵、土蔵造り住宅、2階部が吹き抜けで2階に居室がほとんどないサンヅクリ^{2,3)}、社寺建築、農村の民家などがみられた。また、積雪時の利便性のためか、複数の建物を道路側から桁行き方向に接続した（構造的には必ずしも接続されていない）細長い連棟的な町屋が市街に散見された。

外装を金属サイディングなどにより更新したものの、躯体には十分な補強・補修を行っていない家屋が多くみられた。外観だけでは（躯体接合部の木部のめり込み抵抗と土塗壁に水平耐力を依存する）伝統的構法なのか、（筋かいなどの耐力壁に水平耐力を依存する）木造軸組構法なのかは判別し難かった。ここでは、外観意匠から判別できたもの、土塗壁が確認できたもの、木造の社寺建築等を伝統的な木造構法とした。この中では土塗壁による判別が最も多かった。被害が集中した理由は、以下のように推察される。

- ① 耐震性の低い旧基準に従って建造された。
- ② 耐力要素となる壁が少なく、開口部が多い。
- ③ 築年代が古く、シロアリ被害・褐色腐朽が著しい（メンテナンスが不十分）。

4.2.1 漆喰・塗り土の亀裂・剥落・脱落

サイディング外装が多く、漆喰塗りの外装をあまり見受けなかったため、漆喰外壁の被害は能登半島地震⁴⁾に比べ目立たない。郊外の民家で漆喰外壁の被害がみられた（図2）。

サイディング被覆により、土塗壁か否か判断し難い建物が多いが、外装や塗土が脱落すると内部が露出する。土塗壁は耐力要素なので、脱落した建物の残留変形は大きい（図3）。また、シロアリの食害痕や褐色腐朽が見つかることから、生物劣化による塗土の付着能力の低下が懸念される。



図2 漆喰の剥落（刈羽村）



図3 振動や塀への衝突による塗土の脱落（柏崎市）

4.2.2 大変形ならびに転倒・倒壊

伝統的な構法は、概して変形能が大きく、水平剛性が低いという特徴がある。前述のように土塗り壁を用いた古い被害住宅では大きな残留変形が散見された（図4）。

一方、社寺建築は転倒が多く見られた（図5、6）。今回の地震では柏崎市中心部にある社寺の本殿・本堂の6割が応急危険度判定で「危険」と判定された⁵⁾。このような建物は壁量が少ない上に、小屋重量が大きく、柱-横架材、柱脚-土台・基礎の緊結がないため、大変形後にP- δ 効果により転倒もしくは倒壊に至ったと推察される。

柏崎市内の由緒有る酒造会社の敷地内には、大正から昭和初期に建造された酒蔵などの土蔵造り建築が多く使われていた。建築史的にも貴重なこれらの建築の多くが倒壊・大破した（図7）。写真左下の大きな建物は昭和12年築の西蔵（長さ36間×巾10間の木造瓦葺の土蔵造り）で、震災後に鉄骨造で再興されている⁶⁾。



図4 土塗壁家屋の大きな残留変形（柏崎市）



ア) 本堂の倒壊 イ) 鐘楼堂の倒壊

図5 聞光寺の被害（柏崎市西本町）

※本堂は中越地震で屋根を葺き替えていた。



ア) 本殿の倒壊 イ) 拝殿は変形・脚部移動
図6 柏崎神社の被害(柏崎市西本町)



図7 酒造工場の伝統的な建築群の被害(柏崎市)

著しく不足するものに顕著な残留変形や倒壊がみられた。1階頂部の柱折れや接合部の損傷もみられる(図10)。

刈羽村などの郊外の納屋や車庫は、同一敷地内の母屋に比べ被害が大きくなる傾向がみられた(図11)。利便性のために開口を採りすぎ、壁量が不足したと推察される。

図12の木材加工場は、聴き取りによると昭和初期に建設されたもので、部分的に頬杖によるラーメン的な補強がみられたが、全体として水平耐力不足で倒壊した。なお、被災時には製材会社が既に閉鎖され、加工場は操業していなかった。



図8 店舗併用住宅の被害(柏崎市東本町)

4.3 開口部の過多や壁量不足の家屋・建物

柏崎市街では、表通りに面した店舗併用住宅の被害が多くみられた。いわゆる町屋である。杉山⁷⁾は鳥取地震(1943年)の被害を例に、町屋の被害原因として、次の3点を挙げている。

- ① 軟弱な地盤
- ② 建物の耐震計画の不十分さ(過大な全面開口など)
- ③ 柱脚の腐朽

これまでの地震でも同様の被害が多数報告されてきたが、先の能登半島地震⁴⁾や今回の地震も例外なくこれらの被害原因が確認された。また、納屋・車庫・倉庫なども構造的に同様の危険性があり、被害も多くみられた。図8の店舗併用住宅は桁行き(奥行き)が深く、後部構造の耐力で倒壊を免れた。基礎は布石式で、構法や築年代はかなり古いと思われる。前面を改装しているが、開口脇が腐朽し、耐久対策や維持管理が十分とはいえない。

図9の店舗も図8の併用住宅と同様だが、分担できる耐力要素に乏しく、倒壊した。隣接する建物との間の通気が悪く、生物劣化が著しい。

専用住宅においても開口過多で特定方向の壁量が



図9 店舗の被害(柏崎市閻魔堂通り商店街)



図10 開口過多や壁量不足の専用住宅の被害(柏崎市)



図11 納屋や車庫の被害（刈羽村、西山町）



図12 木材加工場（柏崎市）

4.4 部分的な破壊

4.4.1 下屋などの破壊

積雪時の利便性の為か、2階建て住宅に離れや車庫を下屋的に連結させた例が多く見られた。このような構造は、本体と下屋の高さが異なるため、固有周期が異なり、両者の境界で破断しやすくなる⁸⁾。下屋部分と本体の水平構面の一体化が必要だが、被害住宅ではこのような措置は見られなかった。さらに、下屋部分の開口部が多く、接合部も簡易なため、水平耐力はかなり小さいようであった。結果、下屋のみが倒壊している事例が刈羽村や西山町の郊外で散見された（図13）。



図13 下屋部分の倒壊（西山町、刈羽村）

4.4.2 小屋組みの崩壊

木造住宅の被害では、1階や開口部周辺の被害が一

般的であるが、希に小屋組みに集中的な被害がみられる。本調査では刈羽村内でこのような事例がみられた（図14）。同様の被害例は中越地震⁹⁾や能登半島地震⁴⁾でもみられ、次のような共通点がある。

- ① 比較的古い構法（和小屋組とおもわれる）。
- ② 瓦葺きで屋根重量がある。
- ③ 当地の震度や加速度が大きい。

破壊原因は、小屋梁接合部の崩壊や小屋束の踏み外しにより、小屋組が部分的に損傷し、重い屋根面が陥没したものと推察される。



図14 小屋組みの崩壊（刈羽村）

4.5 腐朽とシロアリによる被害

能登半島地震⁴⁾と同様に今回の調査でも、多くの被災住宅に褐色腐朽とシロアリの食害痕がみられた。雨水が浸入しやすい隅角部（図8、9、15）や柱脚（図16）に特に生物劣化被害が多い。町屋の店舗では間口の両脇の外装をタイル貼りなどに行っているが、劣化対策が不十分なため、雨水が滞留しやすく、顕著な生物劣化がしばしば観察された。

調査地域は顕著な被害をもたらすイエシロアリの分布北限を超え、主にヤマトシロアリの被害地域とされている¹⁰⁾。本調査ではシロアリ自体はみられなかったが、食害痕の特徴からヤマトシロアリによる被害と判断した。また、木材の強度を著しく低下させる褐色腐朽が、シロアリの食害痕と同時にみられるケースが多かった。これらの生物劣化被害の要因は次のように推察される。

- 調査地域が日本海に近い低地にあり、年間を通して湿潤で、気温が氷点下を下回りにくい。
- 調査地域は砂丘地盤で、マツ類が自生しやすく、シロアリの被害を受けやすい。
- 築年代が古く、劣化にさらされた期間が長い。
- メンテナンスが十分に行われていない。
 - ・定期的な防腐・防蟻処理がなされていない。
 - ・雨樋などの管理が不十分で、日常的な水がかりがある。

●耐久計画が不十分。

- ・ 通風が悪く、水分が滞留する。十分な防湿措置がとられていない。
- ・ 防腐・防蟻処理がされていない。



図15 店舗の隅角部の褐色腐朽とシロアリの食害痕（柏崎市）

※左側写真が外観。右がその劣化部。



図16 隅角部柱脚の腐朽・蟻害痕（柏崎市）

※左側写真が外観。右がその劣化部。

4.6 被害が軽微だった建物

今回の地震は震度6強という強い揺れが観測され、調査地域内では倒壊家屋も少なくなかった。一方で、前報⁴⁾、前々報⁹⁾と同様に、このような地域の中に構造的に無被害もしくは被害軽微な建物もみられた。被害差の原因については、局所的な地盤の影響の差を十分に検討する必要もあるが、被害軽微な建物は、概して築年代が新しく、構造計画上の耐震基準の高さが被害抑制に大きく影響したと考えられる。

以下に示した建物は、近隣で被害顕著もしくは倒壊した建物がみられたが、被害軽微もしくは無被害であった建物である。

図17は被害軽微もしくは無被害の戸建住宅で、築年代が新しい。図18は外観上、被害がありそうな建物であったが、内部に構造的な補強がなされており、被害軽微であった店舗である。図19は前出の酒造会社の工場敷地内の建物で、他の建物と同様に木骨に土塗り壁をした土蔵造りである。築年代は古いが、内部のトラスや頬杖などの耐力要素が多く、躯体に緊結されていると思われる屋内の大型機械装置も耐力に寄与したようである。土壁の一部に亀裂や剥落などがみられたが、同敷地内の他の建物に比べ、被害が著しく小さい。

参考として、鉄骨造は被害が少なかったが、規模や築年代からみて、構造方法の差というよりは構造計画の綿密さの違いといえる。図20は被害軽微もしくは無被害の鉄骨ラーメン構造で、築年代は比較的新しい。ピロティを含むものもあるが、ピロティに配慮した構造計画がなされたものと思われる。

外観上は被害軽微とみられる建物でも内部の躯体に破損や残留変形があり、建具や造作材に支障が現われた家屋は前報⁴⁾と同様にみられた。このようなケースはかなり多いと思われる。

また、このような建物でも免震・制振構造で無い限り、建物内部に伝わる振動を抑える効果は期待できないので、家具の転倒などの内部被害が起きたことは十分予想される。

外観被害調査に基づく耐震技術の検討は、人身の安全確保の点から極めて重要であるものの、近年指摘されているように、被災者の生活再建を主眼とした経済的被害を検討する上では、建物内部の被害調査も必要である。



図17 無被害・被害軽微な新しい住宅（柏崎市、刈羽村）



図18 補強により被害軽微な店舗（柏崎市）



図19 被害軽微な酒蔵（柏崎市）



図20 無被害・被害軽微な鉄骨造（柏崎市）

4.7 基礎の被害

柏崎市や周辺地域は砂地盤などの軟弱な地盤で、

基礎被害が多くみられた。また、古い簡易な基礎も散見された。能登半島地震に比べ基礎被害が多い印象を受けた。

図21に示すように、基礎被害の多くは、地盤亀裂からの伸展による基礎の亀裂であったが、ブロック基礎や無筋石造基礎などの簡易な基礎は概して被害が顕著で、ブロック基礎が脱落し、上屋の支持ができなくなるものも見受けられた。

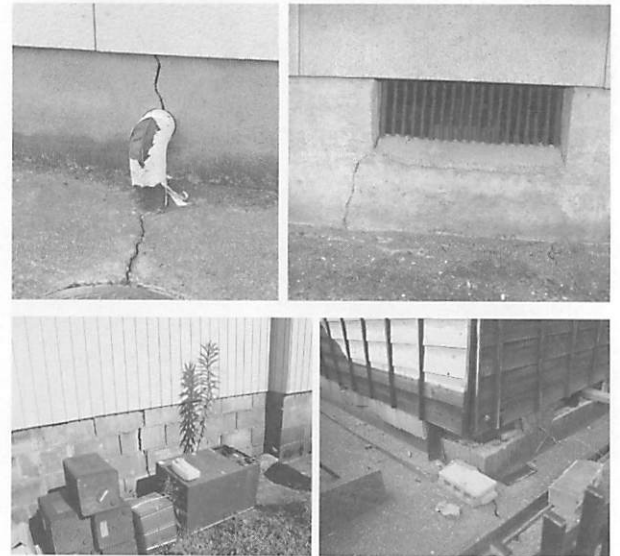


図21 基礎の被害（柏崎市、刈羽村）

4.8 地盤・斜面の被害

原因はやや異なるが、中越地震⁹⁾と同様に地盤被害が顕著であった。被害地域は砂丘や沖積層などの軟弱地盤で液状化しやすく、また、急峻な海岸が多いため、斜面被害が起きやすい地形である。

市街では、屋内土間の亀裂(図22)、宅地内の亀裂、道路の亀裂、沈下・陥没、噴砂などが随所にみられた(図23~25)。水道、鉄道、電力などの社会基盤にも随所で被害が及んだ(図26)。海岸沿いや斜面では、落石・土砂崩れによる道路の寸断が発生した。震源付近では加速度が大きかったためか、石造ベンチの座板の飛躍跡がみられた(図27)。海岸や河川周辺では顕著な地盤被害がみられた(図28)。特に、鯖石川改修記念公園では、地割れ、噴砂などの大規模な被害があった(図29)。同公園は柏崎市内の砂丘地帯を蛇行する鯖石川の中洲にある。液状化が多発し、随所に大規模な地割れ、噴砂痕がみられた。並行する地割れの間隔は周期的にもみられた。

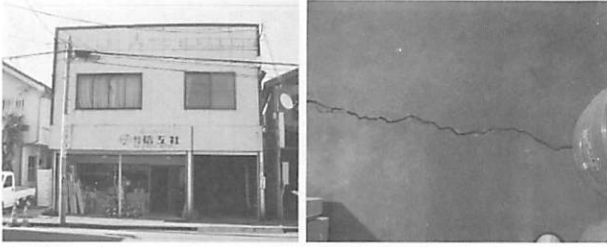


図22 屋内土間に現われた地盤被害（柏崎市）



図23 宅地に現われた亀裂や噴砂痕（柏崎市）



図24 住宅地の道路の亀裂、陥没（柏崎市）



図25 商業ビルの基礎・地盤被害（柏崎市）

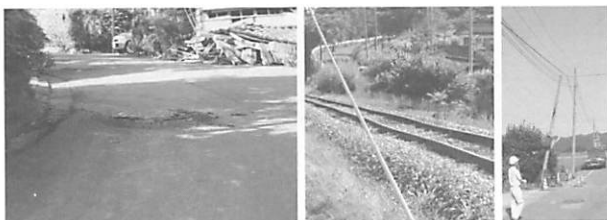


図26 マンホールの隆起、鉄道レールの褶曲、電柱の傾斜（刈羽村）



図27 コンクリートベンチ座板の飛躍、斜面崩壊による道路寸断（震源付近の灯台）

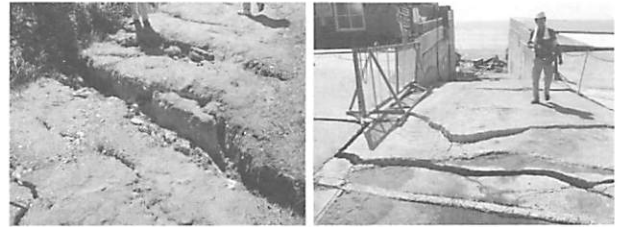


図28 アスファルト道の亀裂、砂地の亀裂、擁壁の崩壊、コンクリート構造物の沈下による曲げ破壊など（柏崎刈羽原発北辺の海岸）

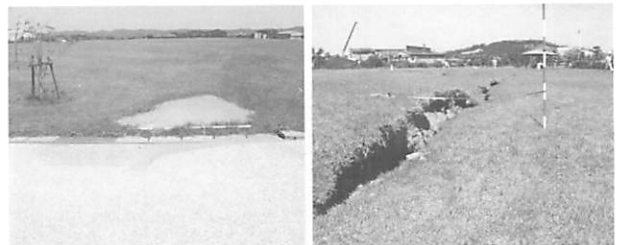
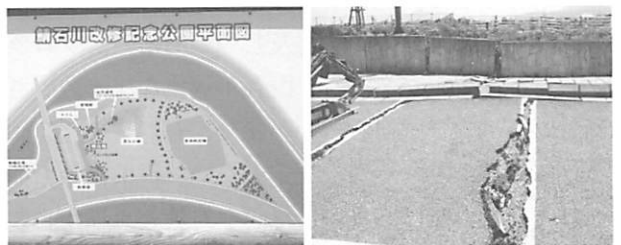


図29 鯖石川改修記念公園の著しい地盤被害

4.9 石造構造物や2次部材の落下・転倒

これまでの地震被害でたびたび報告されてきたよ

うに、ブロック塀、石塀、墓石、石灯笼などの転倒、瓦・外装材・看板・エアコン室外機などの落下、ガラスの破損など建物本体以外に地震時に危険な物は多く、今回の地震もその例外ではなかった²⁾(図30、31)。

調査中の聴き取りでは、平成16年の中越地震の経験からブロック塀の補強や外壁の補修をしていたという住民もいた(図32)。本報の調査地域では、今回の地震発生前に、中越地震の教訓から被害を受けやすい部分を積極的に撤去・補修していた可能性がある。そのためか、ブロック塀の転倒や外壁の落下は中越地震⁹⁾や能登半島地震⁴⁾に比べ、やや少ない印象を受けた。

一方、石造の塀、石灯笼の転倒は多くみられた。特に寺社内の石造構造物は転倒が著しかった(図30)。被害の著しい石造構造物には配筋がみられず、モルタルなどで接着した痕がみられたものもあるが、重量が極めて大きく、モルタル接着程度では転倒力には耐えられない(図33)。

以上のような部材の落下・転倒は、人的被害を生むほか、路上の障害物となり、消火や救助・支援活動の妨げとなる。瓦については業界団体が耐震工法を研究開発し、全国的に普及しつつある¹¹⁾。ブロック塀は配筋規定があるが、既存不適格なまま放置されている例は全国に数多い。また、石灯笼や記念碑などには統一された安全規定がない。従前から指摘されてきた点ではあるが、早急な対策と点検が必要である。



図30 石造物の転倒被害(柏崎市、刈羽村)

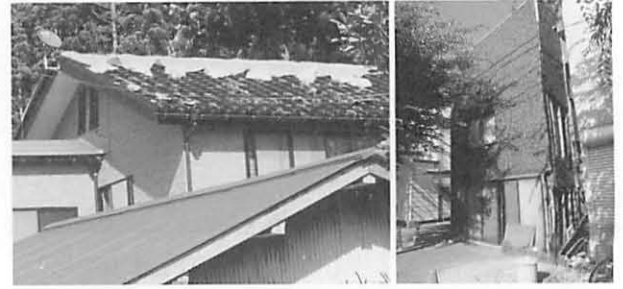


図31 落下の危険がある非構造物材(西山町、柏崎市、刈羽村)



ア) 配筋で転倒を免れたブロック塀

イ) 中越地震後に配筋補強したブロック塀

図32 補強により転倒を免れたブロック塀(柏崎市)



図33 無筋石造の塀柵の転倒(柏崎市)

6. 悉皆調査による統計的傾向

6.1 調査方法の概要

これまでに述べた被害調査に伴い、地域を限定した悉皆調査も行った。この調査は日本建築学会の悉皆調査の一部として行った。調査方法の詳細は災害調査速報²⁾を参照されたい。本稿では、調査建物の被害程度(破壊等級)に図34のD-LEVELを用いた。本悉皆調査での構造や築年数の判別は、主に建物外観による調査者の視覚的な判定であり、建物個別の実情を厳密に確認したものではないことを断ってお

く。調査日時は2007年7月31日火曜日の午前中、調査地域は柏崎市東本町3丁目2,4,5,9の地域、調査棟数は80棟（倒壊・撤去を含む）であった。

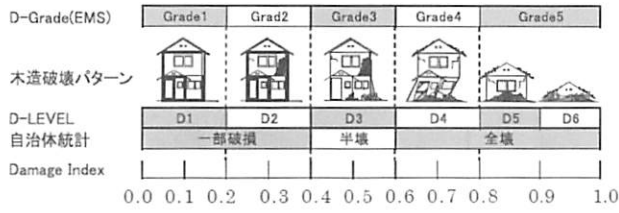


図34 各種被害尺度と対応関係

※岡田の報告²⁾より転載。

6.2 調査対象の概要

調査地は柏崎市役所に近い住宅街で、商用ビルや店舗併用住宅もあるが、調査建物の8割以上は木造で(表3)、築年数が表2の柏崎市全体より概ね古い。

不明1棟は聴取によれば、昭和30年築の木造と築30年の鉄骨造を連結した建物で、破壊等級1であった。なお、新耐震基準導入の昭和56年は築年数10～30年にあたる。

建築学会の悉皆調査は木造構法を細分しているが(表4)、本調査ではセガイツクリなどの伝統構法と判別できたものの他、土蔵造りや蔵を伝統構法や準伝統構法と判断した。壁式1棟は、聴取から木質パネルプレハブの戸建住宅で無被害であった。なお、在来には新潟県に特有な1層目RC造上に木造を載せた混構造的な3層2階建て構造¹²⁾を含んでいる。

表3 調査対象の築年数と構造

築年数	構造				合計
	木造	鉄骨造	RC造	その他	
30年以上	45	2		1	48
10～30年	16	6	1		23
10年以下	6	2			8
合計	67	10	1	1	79

※築年数・構造とも不明の1棟を除く

表4 調査対象の木造の内訳

築年数	構法				合計
	伝統	準伝統	在来	壁式	
30年以上	7	11	27		45
10～30年			15	1	16
10年以下			6		6
合計	7	11	48	1	67

6.3 被害程度の傾向

鉄骨造10棟は全て無被害、RC造1棟は破壊等級1であった。但し、RC造は宅地の変状が著しく、応急危険度判定で要注意宅地に判定されていた。

木造の被害程度と築年数の関係を表4に示す。概して無被害および全壊の割合が高いものの、築年数が大きくなるにつれ、被害程度の大きな建物の出現割合が増加する傾向がみられる。本データを含む全悉皆調査結果を対象とした岡田の報告²⁾では、築年代と被害程度により明確な相関関係がみられる。また、両者共通の傾向として、築年代によらず無被害の割合がある程度みられる。

これらの特徴の背景には、築年代が新しくなるほど建築時の構造規定の厳格に(設計耐震強度の平均値が高くなり、バラツキが小さく)なっている点、ならびに、建築後の管理状態の影響が古いものほど大きい(耐震強度を減じる劣化度の平均値が高くなり、バラツキが大きくなる)点が考えられる。鉄骨造、RC造、築10年以下の木造の被害程度が統計的に極めて小さいことは、この裏づけの一つといえる。

表5に築30年以上の木造の構法別内訳を示す。在来に比べ、準伝統・伝統は被害程度がやや大きくなる傾向がみられる。これは、伝統構法の残留変形が大きいことや、土蔵造りの被害が視覚的に顕著であったことに起因するとおもわれる。調査対象には築60年を超える木造も数件含まれているが、築100年程度の伝統構法の住宅で被害程度が小さいものもあった。30年以上の築年数での被害程度と築年数の関係は明確ではない。

本章の結論として、筆者らが行った地域の悉皆調査からは、概ね次のような傾向がみられた。なお、これらの傾向は過去の地震被害調査¹³⁾¹⁴⁾で報告されている傾向とも一致する。

- 築年数が増加すると、被害建物の出現率が増加する。
- 築年数に関係なく、被害の小さい建物の割合がある程度存在する。
- 設計時の耐震計画が十分な建物は、統計的に無被害もしくは被害軽微である。

表4 木造建物の被害程度の分布

破壊等級	築年数	10年以下	10～30年	30年以上
全壊	6			22% ██████████
	5			2%
	4		13%	9%
半壊	3			2%
	2		6%	7%
一部損壊	1	17%	19%	16% ██████
	0	83% ██████████	63% ██████████	42% ██████████
棟数		6	16	45

※%値は各築年数の棟数を分母とする。

表5 表4における築30年以上の内訳

破壊等級	構法	在来	準伝統	伝統
全壊	6	19% █████	27%	29%
	5		9%	
	4	4%	9%	29%
半壊	3	4%		
	2	4%		29%
一部損壊	1	15%	18%	14%
	0	56% ██████████	36% █████	
棟数		27	11	7

※%値は各築年数の棟数を分母とする。

7. 今後の社会的な課題

阪神淡路大震災以降、地震災害対策が急速に進み、災害時の対応も高度化しつつある。今回の地震でもその成果は、新しい建物の被害の小ささや災害対策の迅速・適切さに現われた。新潟地震（1964年）や近年の中越地震の経験もあり、今回の地震発生前の新潟県内の耐震対策は全国的にみて、遅れているとは言い難い状況にあった。

しかしながら、今回の地震でも多くの建物が倒壊し、死者も少なくなかった。死者15名のうち9名の死亡原因は建物の下敷きによるもので、いずれも70歳以上の高齢者が犠牲となった。本調査では、築年数が古く、メンテナンスが不十分な住宅に顕著な被害がみられたことを述べたが、このような住宅の住まい手の多くが高齢者であったことが予想される。

耐震的に既存不適格な住宅は、防災面で、適切な更新や改修が必要である。しかしながら、核家族化・高齢化が進む現代は、高齢者単独世帯の一層の増加が見込まれ、自発的な住宅更新や改修が期待できない。特に地方では今回の地震にみるように、この問題は一層深刻である。大都市に比べ、北陸地方などの地方地域は、高齢化の割合も地震で被害を受けやすい旧耐震基準の住宅の割合も高い（図35）。

地震災害を抑制するためには、地方地域において、高齢者世帯を対象とした耐震対策の促進が今後の重要な課題の一つと言える。

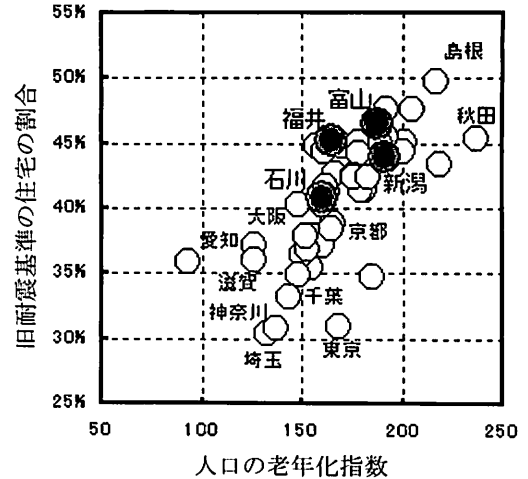


図35 旧耐震基準の住宅の割合と人口の老化指数の関係

※ ●は、広義の北陸地域。

※ 縦軸は、平成17年土地家屋統計調査における建築の時期が1980年以前の住宅の割合。横軸は、平成15年国勢調査による。

老化指数 = (65歳以上人口) / (0～14歳人口) × 100

8. まとめ

限定された条件下であったが、平成19年（2007年）中越沖地震の被災地を調査し、木造住宅の被害、宅地や道路などの地盤被害、石造構造物の転倒などを確認した。また、特定地域において建物の地震被害の悉皆調査を行った。

本調査で観察した木造住宅の被害特徴や推定原因は、既知の範疇にあった。特に、能登半島地震の調査⁴⁾による知見と概ね一致した。すなわち、耐震計画の水準が高い建物や補強十分な建物は概ね被害軽微であり、被害建物は概ねこの範疇を逸脱していた。本調査の範囲では現在の耐震基準で概ね木造住宅の耐震性を確保できると言える。

前報⁴⁾同様、被害建物の多くに顕著な褐色腐朽とシロアリの食害痕がみられ、上中越・北陸の臨海地域における維持管理・補修の重要性が確認された。

石垣、石碑、灯籠、看板、外壁などの地震時の転倒・落下対策の必要性が前報と同様に示唆された。安全基準の整備と普及が望まれる。

悉皆調査による統計的傾向は以下のとおり。

① 築年数が増加すると、被害顕著な建物が出現

する割合が増加する。

- ② 築年数に関係なく、被害の小さな建物の割合が一定量存在する。
- ③ 設計時の耐震計画が十分な建物は無被害もしくは被害軽微である。

更に、今後の社会的な問題点として、高齢者世帯の地震安全対策の促進が必要であることを述べた。

謝辞

中越沖地震で亡くなられた方のご冥福をお祈りし、被災された方々にお見舞い申し上げます。一日も早い復興を祈念致します。

調査の実施にあたり、ご助力賜りました日本建築学会富山支所に御礼申し上げます。調査全般にご協力頂きました河原一成建築計画研究所の河原様、悉皆調査にご協力頂きましたタカノホーム株式会社の鋤田様に御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 気象庁：“災害時地震・津波速報 平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震”，災害時自然現象報告書 2007 年第 3 号。
- 2) 建築学会災害委員会，他編：“2007 年 7 月 16 日新潟県中越沖地震の災害調査速報”，建築学会北陸支部，金沢，2007。
- 3) 国土技術政策総合研究所，建築研究所編：“平成

19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震建築物被害新潟県中越沖地震建築物被害調査報告”，国総研資料 No.430，建築研究資料 No.109，2007.12。

- 4) 園田里見，他：富山県林業技術センター研究報告 No.21，pp.42-51(2008)。
- 5) 新潟日報，2007 年 7 月 26 日記事。
- 6) 原酒造株式会社ホームページ，<http://www.harashuzou.com/new/index.html>。
- 7) 杉山英男：“地震と木造住宅”，丸善，東京，1996，pp.108-119。
- 8) 杉山英男：“地震と木造住宅”，丸善，東京，1996，pp.262。
- 9) 園田里見，栗崎宏，柴和宏：富山県林業技術センター研究報告 No.19，40-58(2006)。
- 10) 富山県林業技術センター振興協議会編：“とやまの木材と利用技術”，富山県林業技術センター振興協議会，富山，2007，p.72。
- 11) 例えば，全陶連ホームページ，http://www.zentouren.or.jp/content02/content02_2.html。
- 12) 建築学会編：“2004 年 10 月 23 日新潟県中越地震災害調査報告”，丸善，東京，2006，p.71。
- 13) 坂本功監：“阪神大震災にみる木造住宅と地震”，鹿島出版，東京，1997，p.161。
- 14) 建築学会編：“2004 年 10 月 23 日新潟県中越地震災害調査報告”，丸善，東京，2006，p.58。

Summary

This paper reports on a field investigation of the damage to wooden houses caused by the Niigataken Chuetsu-okiearthquake in 2007. Previous knowledge of the relationship between the structural damage and characteristics of buildings was confirmed by the observed relationship in this field investigation. Some important problems about safety measures were observed again.

Old houses and traditional fireproof-storehouses(dozo) suffered serious structural damage. Contemporary-built houses and reinforced old houses suffered little. It was suggested that the current design standard is sufficient to protect wooden houses from earthquakes. Remarkable brown-rot and termite damage were often observed in wooden frames of the seismic damaged houses. It is considered that such biological degradations affected the seismic damage of house. It is one of important problem in the Hokuriku area with wet climate. A complete enumeration of the seismic damage to houses showed that old wooden houses statistically had a high ratio of damage. It was realized again that poor maintenance and lack of strengthening of old houses are important problems in the area.

The damaged area was on the seafront and had soft ground and many seismic ground failures were observed in the area. Masonry fences, stone construction and external facings were often fallen or overturning. The necessity for safety measures against these kinds of damage was again confirmed. Most seismic victims were senior citizens and promotion of earthquake safety measure for senior citizen households is also one of the important future problems.

ロシアカラマツを用いた高耐久外装材の開発

長谷川 益夫, 中谷 浩, 島崎 鶴雄

Development of Highly Durable Wooden Cladding from Russian *Larix* sp.

Masuo HASEGAWA, Hiroshi NAKATANI, Tsuruo SHIMAZAKI

ここ 10 年来、富山県は北洋材輸入量が国内最大の県である。ロシアカラマツは、主な用途が土台角や土木材に限られるため、その樹種別輸入量に占める割合はロシア極東地域の樹種別蓄積量比とくらべて小さくなっている。最近の住宅着工数と公共土木工事量の減少から、この傾向が現在も進んでおり、ロシアカラマツの新たな用途開拓が求められている。そこで、県内で根強い需要のある外装材としてロシアカラマツを利用する可能性について検討した。木製外装材に求められる基本的な性能は、1) 塗装耐候性（長い塗装寿命）で、防火指定地域では 2) 耐火性能がある。また、需要を確保するための利点となる性能として、材の高強度を活かした 3) 耐震性（壁せん断耐力）への貢献がその候補になると考えた。

そこでまず、屋外暴露試験によって自然塗料、従来型塗料などの塗装寿命を調べて、その中から長寿命の塗料を選択した。つぎに、各種の耐火性壁下地材にロシアカラマツ外装材を張った壁体の耐火性能を評価して、推奨できる壁体構成を決定した。さらに、この推奨壁体構成でロシアカラマツ外装材の壁せん断耐力向上への寄与分を調べた。これらの結果は、以下のように要約される。

- 1) ロシアカラマツ心材の塗装寿命は、スギ辺材に比べて短かった。しかし、3 暴露地での評価結果から、自然塗料は、従来型塗料に比べて長寿命であり、使用条件に合った塗料を選ぶことによって、たとえば難燃処理された基材条件で、富山県内の平野部・南面の環境条件で、約 3 年の塗装寿命が得られることが推定できた。
- 2) ロシアカラマツ心材の難燃処理は、注入性がよくないため（減加圧注入で最大 16kg/m³の吸収量）、準不燃級に合格する見込みがなかった。そのため壁全体の耐火性向上をねらって、耐火性のある壁下地材の上にロシアカラマツ外装材を張った 4 種類の壁体（壁下地として 12.5 mm セメントボード、12 mm 難燃処理スギ合板、12 mm 単板難燃処理スギ合板、24 mm スギ合板）を用意した。これらについて 30 分加熱耐火試験（遮熱性）を行った結果、4 種類全てが試験に合格した。
- 3) そこで、壁下地に 24 mm スギ合板を用いた壁体 4 体を準備し、うち 2 体にロシアカラマツ外装材を張り、壁せん断試験を行った。この結果、ロシアカラマツ外装材（厚さ 15 mm）を張ることによって、壁せん断耐力は、壁下地のみ構成より壁倍率で約 0.9 向上して 4.8 になった。
- 4) これらの結果から、ロシアカラマツ材は、使用条件にあった塗料を選択することによって十分長持ちする外装材としうる。さらに壁体構成を考慮することによって、耐火性が高い、建物の耐震性にも貢献できる外装材として利用可能性があることがわかった。

1. はじめに

富山県は、本格的な木材輸入が始まった昭和 30 年代以来の北洋材の大量輸入県で、県内木材需要量

の約 9 割を占めている。シベリア・極東地域での北洋材の蓄積量は、ロシアカラマツ 49%、オウシユウアカマツ 21%、ベニマツ 16%、エゾマツ・ト

ドマツ 14%とされる¹⁾。本県への北洋材輸入の樹種比率(2006年)²⁾は、ロシアカラマツ 8%、オウシュウアカマツ 58%、ベニマツ 1%、エゾマツ・トドマツ 31%と、蓄積比とはかなりの乖離がある。この原因は、県内での樹種別の用途と需要の偏りであり、ロシアカラマツは土台角と土木用材にはほぼ限られ、住宅着工数や公共土木事業量の減少の影響を受けて県内ロシアカラマツ製材専門工場数は減少し、大手1社のみの状況にある。

一方、北欧及び米国ではカラマツ類は外装材³⁾や窓サッシ⁴⁾として利用されており、それなりの塗装耐候性はあると推定される。そこで、ロシアカラマツ材の外装材としての利用可能性について調べることにした。

木製外装材には、基本的性能として塗装耐候性すなわち長い塗装寿命が求められる。また、防火地域(県内42ha)、準防火地域(同2364ha)の住宅に使用する場合、不燃あるいは準不燃認定の外装材が必要になる。設計上、木製外装材には火災時の遮熱性にプラスの効果が認められている。また、外装材としてロシアカラマツが選択されるためにはそれなりの利点が必要であり、その一つとして材の高強度を活かした壁全体の耐力向上が考えられる。現在、設計上は木製外装材の強度貢献は0とされている。これらのことから、木製外装材の基本的な性能である塗装耐候性を確認し、さらに耐火性付与のみならず強度向上をも視野に入れ、ロシアカラマツの利用可能性について検討した。

2. 試験方法

まず、木製外装材の市場性を把握するために、県内住宅の木製外装材の使用実態を調べた。つぎに、外装材としての性能評価を3つの部分に分けて行った。すなわち、1) 各種の塗装を施したロシアカラマツの塗装寿命、2) 外装材あるいは壁体としての耐火性能、3) ロシアカラマツ外装材張り壁体の壁せん断耐力の評価試験を行った。

2.1 木製外装材の市場性

富山県のほぼ全域を対象に、比較的新しい団地

すなわち築約15年未満と思われるもの12団地(全964棟)を選び、1団地あたり最大100棟をめぐりに1棟ごとにその外装材の木製・非木製を目視で判別し、外壁面積に占めるおよその木製外装材の施工面積率(%)を記録し、団地ごとに木製外装材使用棟数率(%)、同施工面積率(%)を集計した。

2.2 塗装ロシアカラマツ外装材の耐候性

試験材は、北洋材にロシアカラマツ、オウシュウアカマツ、比較対照に県産スギ材(タテヤマスギ)、北海道産カラマツを準備した。試験材の木取りは全て板目木取りとし、寸法は厚さ10×幅100×長さ300mm(森林総研法⁵⁾)と厚さ20×幅100×長さ375mm(ISO 16053⁶⁾)の2種類とした。

基材は、無処理を主体に、一部は難燃剤A及びB処理とした。処理条件と難燃剤の吸収量を材種ごとに表1に示す。

塗装は、表2に示すような保護着色塗料を用い、環境負荷低減型の自然塗料(油性)および水性塗料を主体とし、比較対照に従来型塗料を供試し、塗重ね回数は塗装仕様に指定がなければ、一晩以上の乾燥時間をとり、3回とした。

塗装耐候性すなわち塗装寿命を求める試験は、屋外直接暴露法で、0°(水平)暴露を主体に、南面垂直(以下S90°と略す)(繊維方向:水平および垂直)暴露(写真1)とした。

表1 塗装基材の難燃処理条件と吸収量

難燃剤	濃度 (%)	注入方法	基材	吸収量 (kg/m ³)
A:ノンネン W-2-50 (リン酸カルバメート系)	30	60mmHg 1時間 →大気圧 1時間→ 60°C熱風乾燥	ロシアカラマツ心材	2.8
			スギ辺材	54
B:ノンネン984 (リン酸グアニジン系)	30		ロシアカラマツ心材	2.9
			スギ辺材	72
		60mmHg 1時間 →5kgf/cm ² 空気加圧 1時間→60°C熱風乾燥	ロシアカラマツ心材	16
			オウキュウアカマツ心材	18

注) 基材寸法:厚さ10×幅100×長さ375mm (※ポ数は他表の注)と同じ)

表2 供試した保護着色塗料

塗料型	塗料	
	メーカー	記号
従来型塗料 (油性)	ランバーガード	LgT
	日本エンパイロケミカルズ	TeXS
	日本エンパイロケミカルズ	TeXP
自然塗料 (油性)	リボス	LKLg ₁ TBk ₁
	リボス	LTB
	リボス	LTR
	リボス	LTC
	リボス	LTP
水性塗料	エイ・エフ・エム・ジャパン	AfmPws:EsW
	日本フーズリンク:太洋塗料	NfIAg ⁵ :TWscpLo+Sta

注) 記号: メーカー・銘柄・色; 濃度/調合比などの略記。

暴露地は、射水試験地(以下 IMZ) (富山県; 温暖・多湿・多雪・低風速・平野, 東経 137° 06'30" 北緯 36° 42'20" 標高 14m) を主体に、菅平試験地(以下 SGD) (長野県; 寒冷・高日射・多雪・低風速・山岳盆地, 東経 138° 19'35" 北緯 36° 31'40" 標高 1256m), 与那国試験地(以下 YNG) (沖縄県; 高温・多湿・高日射・無雪・高風速・海岸, 東経 123° 00'06" 北緯 24° 26'59" 標高 20m) でも一部の試験を実施した。各試験地の位置を図 1 に、気候条件を表 3 に示す。

塗装面の劣化は、塗装面欠陥率を暴露 3 ヶ月経過ごとに (IMZ では初期 1 ヶ月後も) 塗装面欠陥率を測定した。この結果に基づいて塗装面欠陥率 30% を耐用限界 (森林総研の木口法⁷⁾ では浸透型塗装に対するものにほぼ相当) として、塗装寿命を 0.5 ヶ月単位で求めた。

塗装面欠陥率の測定は、マス目法で、塗装試片暴露表面において、中央部 8×24 cm の矩形範囲について塗膜剥離、割れ、カビ汚染 (塗膜下の著しい変色を含めた) を OHP シートに写し取り、1×1 cm マス目あたりにいずれかの欠陥があればそのマスを欠陥マスとして、欠陥マス数の評価対象領域マス数 (192 マス) に対する比率 (%) を求めた。

2.3 ロシアカラマツ外装材と下地材の耐火性

準防火地域では、一定厚さ以上の土塗りあるいはモルタル塗りなどの不燃壁構造をとれば、木製外装材 (無処理) を張ってもよいと規定されている。

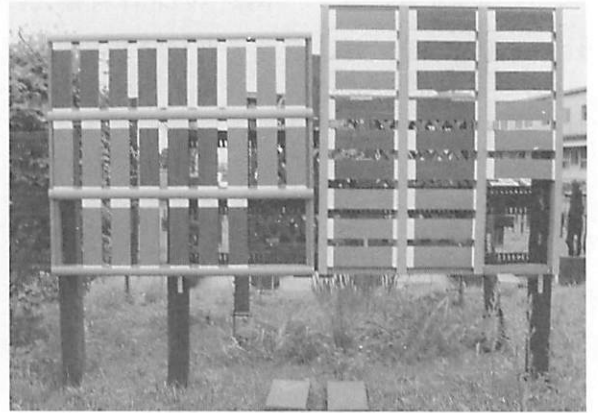


写真1 屋外暴露 (IMZ-S90°) の状況
左側：垂直張り 右側：水平張り

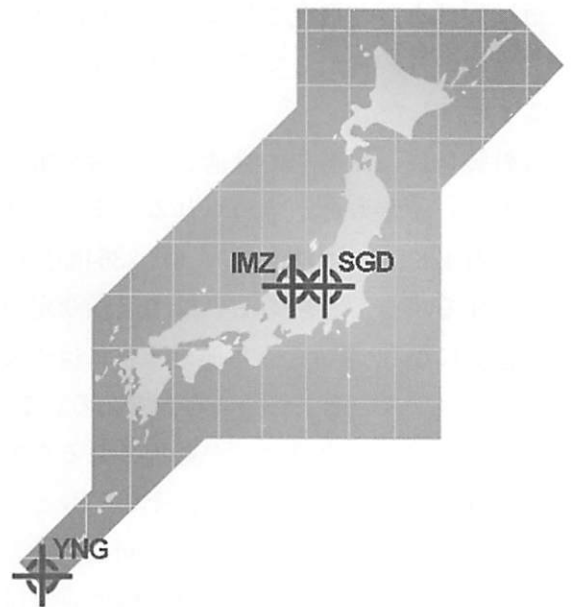


図1 屋外暴露地の位置

表3 暴露地の気候条件 [平年値(1971-2000)]

暴露地	平均気温 (°C)	最高～最低気温 (°C)	年降水量 (mm/年)	降水日数 (≥1mm) (日/年)	全日射量 (MJ/m ²)	木材ウェザリング気候指数 CI'
射水 IMZ	13.7	36.1 ～ -5.8	2245	175	11.9	121
菅平 SGD	6.3	28.0 ～ -24.0	1221	154	14.4	106
与那国 YNG	23.6	33.0 ～ 10.8	2290	152	14.9	131

注) 木材ウェザリング気候指数⁸⁾ CI' は次式によった。

$$CI' = \sum_{1月}^{12月} 0.165 \cdot \text{日最高気温の平均値} + 0.188(\text{降水日数}[\geq 1 \text{ mm}] + 2.5) + 0.029 \cdot \text{日照時間}$$

これは、木材によって壁全体の遮熱性が向上するためと考えられる。

ここでは、塗装ロシアカラマツ外装材の準不燃以上の難燃化と壁下地材の難燃化の両面から検討し、できるだけ廉価な外壁構造の選択へと進んだ。外装材基材（ロシアカラマツ心材）に対して、難燃処理薬液2種（難燃処理剤A、B）を減圧注入した後乾燥し（表1）、自然塗料1種（LTP）を刷毛塗り（3回塗り）、コーンカロリーメータ法（JISA 5404、株東洋精機製コーンカロリーメータ、写真2）で発熱性を評価した。

つぎに、難燃処理剤Bを用いたいずれも12mm厚さの難燃処理スギ合板と単板難燃処理スギ合板を試作し、これらを壁下地として塗装ロシアカラマツ外装材（厚さ15mm×働き幅105mm）を張った2種類の壁体（12Tpw, 12Tv）と、比較対照として12.5mmセメントボードおよび無処理の24mmスギ合板を下地として同じく塗装ロシアカラマツ外装材を張った2種類の壁体（12.5Cb, 24Upw）を合わせ合計4種類の壁体（図2）を作製し、30分加熱耐火試験（遮熱性試験；JIS A 1304）を実施した（写真3）。

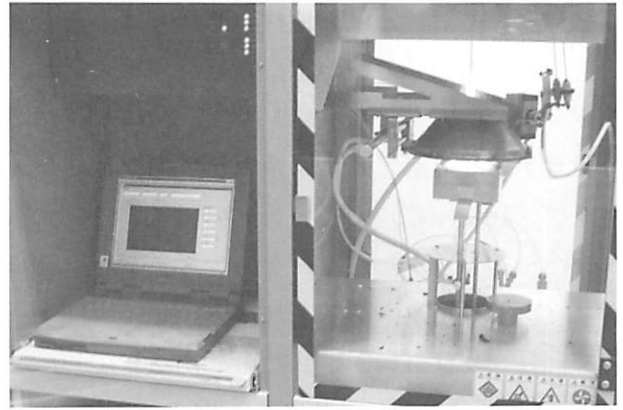


写真2 コーンカロリーメータ（燃焼試験装置）
（産総研中部センター；右：燃焼室 左：データ集録室）

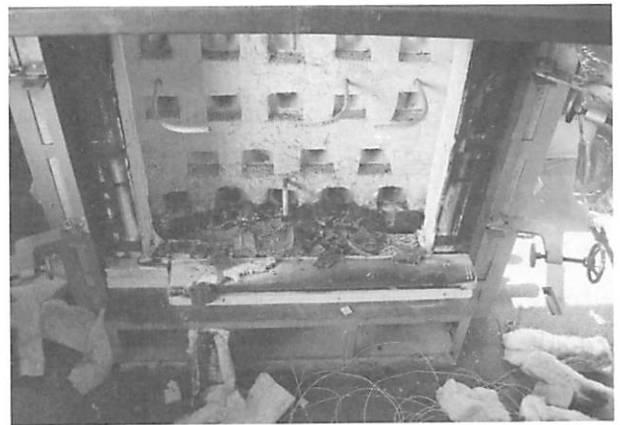
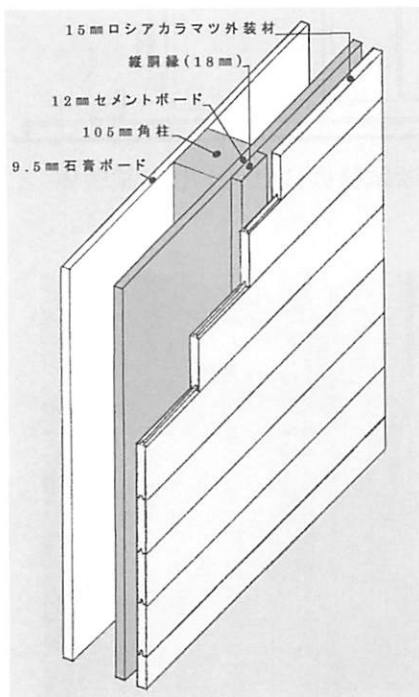
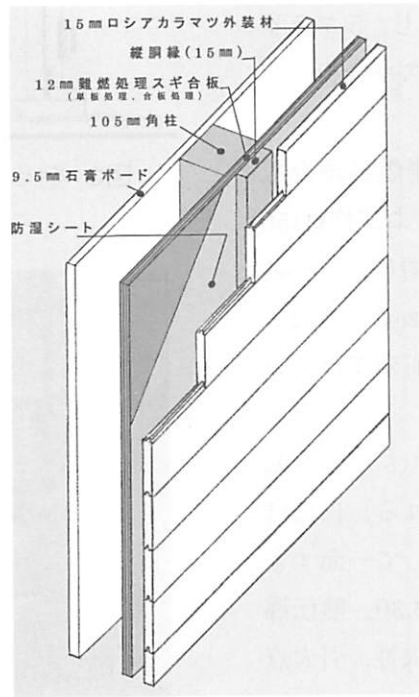


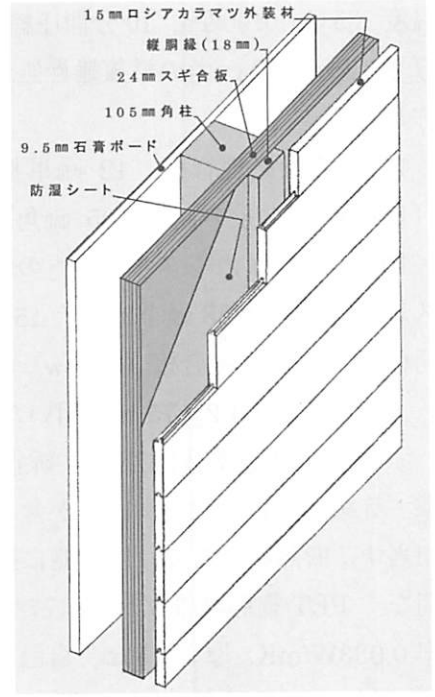
写真3 加熱耐火試験装置（炉体）
（北海道立林産試験場；試験直後の様子）



試験体 12.5Cb



試験体 12Tpw, 12Tv



試験体 24Upw

図2 加熱耐火試験に供した壁体構成（4種類）

試験壁体における壁下地材の貼り方は、全て中央部でつきあわせる田の字型とした。セメントボード（MRC デラクリート(株)製“デラクリート”）には目地テープ（耐アルカリ性ガラス繊維メッシュテープ（100 mm幅）のセメントペースト（ファイバーベースコート）貼り）を施した。また、100 mmピッチで専用ウッドスクリュー（ $\phi 4.5 \times 41$ mm）にて間柱及び枠材に固定した。

12 mmスギ合板はおよび2.5 mm厚のスギ単板は、新潟合板振興(株)製の「越後杉合板」および製造用単板である。これらの合板（60 cm角）およびスギ単板（63 cm角）を処理前に秤量し、25%濃度のリン酸グアニジン系難燃剤（難燃剤B）薬液（液温：約25℃）に浸漬し、それぞれ計算上100kg/m³の吸収量になる重さを目標に含浸処理した（合板：約12日間、単板：3～12日間）。浸漬処理材を乾燥器内で含水率10%以下になるまで乾燥し、屋内で養生した。処理した合板および単板は、乾燥養生後に重さを測定し、難燃剤の吸収量を求めた。

処理単板のうち吸収量大きいものを用いて、フェノール樹脂系接着剤（(株)オーシカ製ディアノールD-117、製糊塗布量40g/尺²）で熱圧接着（熱盤温度135℃、0.90MPa、10分間圧縮）し、5プライ厚さ12 mm×60 cm角の単板難燃処理スギ合板を試作した。

12 mm難燃処理合板、12 mm単板難燃処理合板（12Tp_w, 12Tv）の間柱（105 mm角）および枠材（50×105 mm）（いずれもスギ材）への釘着は、コーススレッド $\phi 3.8 \times 38$ mmをピッチ150 mmで行った。同様に、24 mmスギ合板（24Up_w）の釘着では、コーススレッド $\phi 4.2 \times 75$ mmを用いた。

すべての試験壁体内部は、新省エネルギー基準・等級3・IV地域（富山県が含まれる）にほぼ相当する断熱材として、屋外側に接して一面すき間なくPET樹脂繊維マット（密度0.30、熱伝導率0.033W/mK、厚さ45 mm、自己消火性、引火点410℃、エンデバーハウス(株)製パーフェクトバリア・ボードタイプ）を充填した。

2.4 ロシアカラマツ外装材張り外壁の壁倍率

前項の耐火試験に合格したもののうち最も廉価と考えられる壁下地の24 mmスギ合板（24Up_w）を使った大壁構造（標準仕様）で、15 mm厚ロシアカラマツ外装材を張ったもの（2試験体）と張らないもの（2試験体）に分けて、壁せん断耐力試験を行い、壁倍率を比較した。

試験体の製作と壁せん断試験は、木造軸組工法住宅の許容応力度設計の2章「木造軸組工法住宅の各部要素の試験方法と評価方法」にしたがって行った。せん断試験機へのセット方法を図3に示す。使用した試験機は、(株)鷺宮製作所製壁せん断試験機（写真4）である。

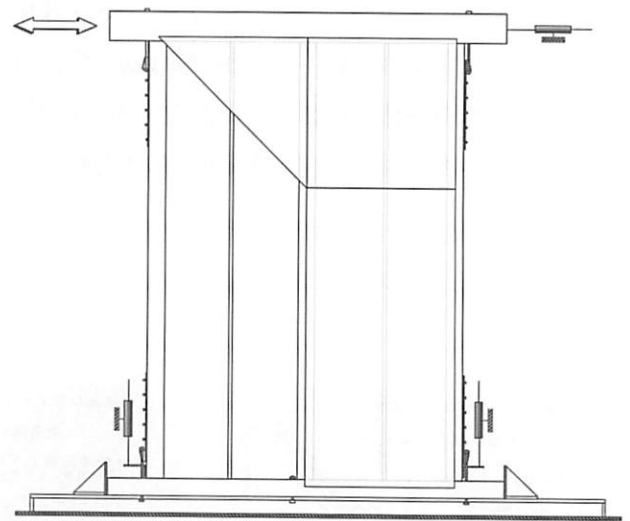


図3 壁せん断試験機にセットした試験体

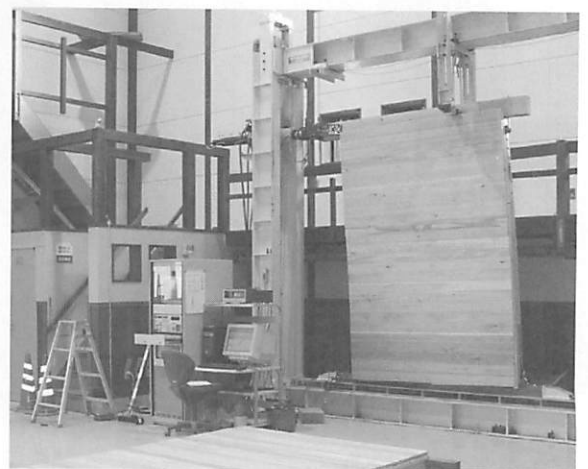


写真4 壁せん断試験機（試験中の様子）

壁下地材（林ベニヤ産業(株)製両側実加工 24 mm 厚構造用スギ合板，JAS 特類，7 プライ 910×1820 mm）の留め付けは，CN75 ピッチ 150 mm とした。なお，合板の縦方向の接合部裏面には，通常横胴縁を入れるが，ここでは低めの耐力（消費者安全側）にするため，あえて配置しなかった。ロシアカラマツ外装材（厚さ 15 mm×働き幅 105 mm，無塗装）の留め付けは，スギ縦胴縁(断面：厚さ 18 mm×幅 90 mm)を 450 mm 間隔に配して CN75 ピッチ 150 mm で止めつけた上に，雄実部に CN45 ピッチ 450 mm で斜め打ちで横張りした。釘打ちにはエア釘打機を使用した。

壁倍率は，許容応力度設計の評価方法に従い，短期基準せん断耐力を求めた。

3. 結果と考察

3.1 木製外装材の市場性

団地別の調査結果を図4に示す。県内住宅の木製外装材使用棟数率（一部使用も含める）は平均約 12.4%（120 棟/964 棟）で，木製外装面積率は 6.7% だった。これらの結果から，わりあい根強い木製外装材の需要があると判断できた。

3.2 塗装ロシアカラマツ外装材の耐候性

ロシアカラマツ心材，比較対照のオウシュウアカマツ心材，カラマツ材，スギ辺材（いずれも板目板木取り，無処理材，0°（水平）暴露条件下）の塗装寿命を表4に示す。まず，無塗装の寿命の違いをみると，IMZ では，ロシアカラマツ心材 2 ヶ月，オウシュウアカマツ辺材 0.5 ヶ月，スギ辺材 10 ヶ月，カラマツ 2 ヶ月と，ロシアカラマツ心材とカラマツには差がなかった。また，山岳地の SGD ではいずれの基材でも割れとカビ汚染が顕著で寿命が短くなり，亜熱帯性の海岸である YNG では，いずれの基材でもカビ汚染があまりみられず，寿命が長くなる傾向がみられた。オウシュウアカマツ辺材は，IMZ において暴露開始直後からカビ汚染と割れが見られ，寿命がかなり短くなった。

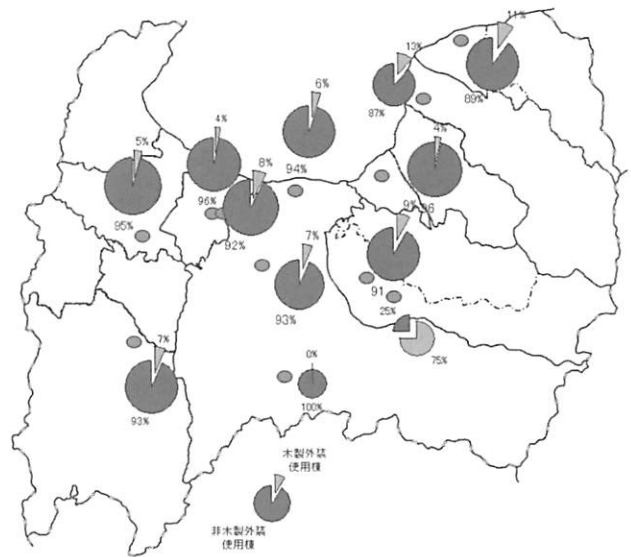


図4 富山県内の木製外装材の使用棟数率(%)
(築約15年以内の団地を調査，2007-2008年)

表4 無処理材の塗装寿命 (0°暴露)

基 材	塗装系*1	塗料型	塗装寿命(月)		
			SGD (山岳)	IMZ (平野)	YNG (海岸)
ロシア カラマツ 心材	LKLg ₄ TBk ₁	自然	2.0	13.0	7.0
	LgT	従来	8.0	7.0	5.0
	LTB	自然	13.0	5.0	7.0
	LTR	自然	10.0	17.0	9.0
	無塗装	—	1.0	2.0	8.0
オウシュウ アカマツ 辺材*2	TeXP	自然	—	2.0	6.5
	LTW	自然	—	12.0	30.0
	無塗装	—	—	0.5	9.0
スギ 辺材	LKLg ₄ TBk ₁	自然	28.0	28.5	20.5
	LgT	従来	12.0	11.0	12.0
	LTB	自然	42.0	24.0	32.5
	LTR	自然	49.0	48.0	>48.0
	無塗装	—	1.0	10.0	16.0
カラマツ*3	TeXS	従来	9.0	11.0	5.0
	LTC	自然	21.0	27.0	11.0
	LTP	自然	25.0	22.0	20.0
	無塗装	—	2.0	2.0	23.0

注) 基材寸法：10×100×300mm *1：3回塗り —：裏塗りなし
*2：20×100×375mm *3：低温燻煙乾燥

塗装試片では，ロシアカラマツ心材やオウシュウアカマツ辺材の塗装寿命は，国産材のスギ辺材やカラマツと比べて短い傾向が認められた。オウシュウアカマツ辺材の塗装寿命(暴露角:0°)は，自然塗料LTWはYNGで30ヶ月と長かったが，IMZでは12ヶ月と，使用地域によって塗装寿命に大きな差があることが認められた。ロシアカラマツ心材は，SGDにおいて自然(油性)塗料型LTBが

13ヶ月の最も長い寿命を示し、IMZとYNGにおいては同型LTRが、それぞれ17ヶ月と9ヶ月の最長寿命を示した。

木製外装材の実際の塗装寿命は、90°あるいはこれに近い角度で壁面に施工されるので、ここで得られた試験結果の寿命より長くなる。これまでの報告⁹⁾や試験結果¹⁰⁾から、軒庇などの庇護がないS90°暴露条件下で塗装寿命は、0°暴露条件下のおよそ2倍が推定できる。S90°暴露条件下では、IMZにおいてロシアカラマツ心材の自然塗料LTRによる塗装寿命は34ヶ月つまり約3年の塗装寿命が推定できることがわかった。

これらのことから、ロシアカラマツ心材の塗装寿命は、スギ辺材に比べて短い、使用地域に応じた塗料選択を行えば、S90°暴露条件下で約3年の寿命になることがわかった。

つぎに、難燃処理した基材での塗装寿命の比較を行った。まず、基材は難燃剤Bで処理したロシアカラマツ心材（吸収量 16kg/m³）とオウシュウアカマツ心材（同 18kg/m³）の計2種、塗料は水性塗料1種と自然(油性)塗料1種の計2種、暴露角はS5°としてIMZおよびYNGにおいて暴露試験した結果を表5に示す。いずれの基材でも、難燃剤の吸収量は難燃レベル（100kg/m³）をはるかに下回ったが、塗膜が接する表層付近は難燃レベルと同等の高濃度であるとの前提で、塗装寿命の比較をすると、難燃処理ロシアカラマツ心材基材の塗装寿命は、自然塗料の方がやや長めであった。

つぎに、難燃処理材の塗装寿命に及ぼす降水の影響をみるために、暴露角をS90°暴露に固定して基材の繊維方向を水平（水平張り）および垂直（垂直張り）にセットして暴露試験を行った。結果を表6に示す。塗装寿命を比較すると、垂直張り>水平張りの関係が認められた。写真5に暴露18ヶ月後の塗膜劣化の状態を示したが、塗膜剥離は水平張りでは全面ほぼ均等に発生しているが、垂直張りでは鉛直下方に多く上方は少なくなる傾向が見られ、降水の滞留の影響が窺える。

表5 難燃処理材の塗装寿命 (S5°暴露)

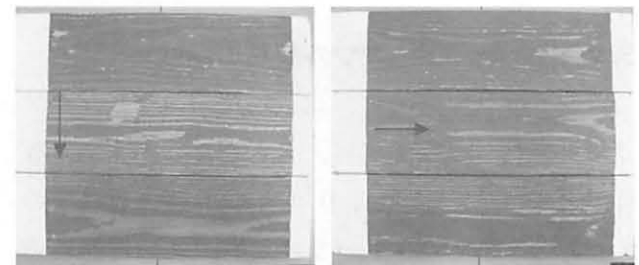
基 材	塗装系 ¹⁾	塗料型	塗装寿命(月)	
			IMZ (平野)	YNG (海岸)
ロシア カラマツ 心材	NfiAg ⁵⁾ TWscplLo+Sta2	水性	4.5	9.0
	LTP	自然	11.0	9.0
オウシュウ アカマツ 心材	NfiAg ⁵⁾ TWscplLo+Sta2	水性	7.0	7.0
	LTP	自然	10.5	8.0

注) 基材寸法は20×100×375mm。難燃処理はノンネン984、吸収量がロシアカラマツ心材16kg/m³、オウシュウアカマツ心材18kg/m³。
*1: 最後尾の整数は塗り回数、無表記は3回塗り、—: 裏塗りなし

表6 難燃処理材の基材繊維方向別の塗装寿命 (IMZ-S90°暴露)

難燃剤	塗 装	塗料型	繊維/ 張り 方向	塗装寿命(月)	
				ロシア カラマツ 心材 ³⁾	スギ 辺材 ⁴⁾
A	AfmPws: EsW2 ¹⁾	水性	水平	5.0	7.5
			垂直	5.5	9.5
	LTP ²⁾	自然	水平	18.5	15.5
			垂直	23.0	29.5
B	AfmPws: EsW2 ¹⁾	水性	水平	7.0	9.5
			垂直	8.5	10.5
	LTP ²⁾	自然	水平	23.0	27.5
			垂直	>33.0	25.0

注) *1: 4回塗り (総塗布量: 245~262g/m²)
*2: 3回塗り (総塗布量: 194~207g/m²) : 裏塗りなし
*3, *4: 難燃剤吸収量(kg/m³)は、ロシアカラマツ心材、スギ辺材の順にA(ノンネンW-2-50)が2.7, 53.6, B(ノンネン984)が3.1, 72.3



(繊維方向:水平)

(繊維方向:垂直)

写真5 難燃処理材の塗装劣化の状態 (IMZ-S90°暴露, 18ヶ月後)

注) ロシアカラマツ心材板目-AfmPws:EsW2塗装
矢印: 暴露時の鉛直方向

また、表6において、難燃剤2種の塗装寿命の比較では、ロシアカラマツ心材基材では、難燃剤Bの方が、水性、油性両塗料ともに難燃剤Aより長寿命であった。さらに、塗料では水性より油性の方がおよそ2~3倍の長寿命を示し、基材繊維方向垂直張りでは約3年の塗装寿命を示した。

これらのことから、ロシアカラマツ心材を基材として難燃処理外装材を施工する場合、塗装寿命を長くするという観点からは、難燃薬剤にはリン酸グアニジン系（難燃剤B）が、塗料には油性の自然塗料が、また、施工の張り方向は水平張りよりも垂直張りがよいことが示唆された。

3.3 ロシアカラマツ外装材と下地材の耐火性

難燃処理と燃焼試験の結果を表7に示す。減圧注入法での30%濃度の難燃薬剤Aと難燃薬剤Bの吸収量は、ロシアカラマツ心材が極めて小さかった。また、比較対照のスギ辺材でも目標の100kg/m³には達しなかった。薬剤の吸収性は、ロシアカラマツ心材では両剤ほぼ同じであったが、スギ辺材では薬剤Bのほうがやや良かった。

発熱性試験の結果、総発熱量は難燃級の合格規定値の8MJ/m²をクリアできず、無処理のロシアカラマツの総発熱量(115MJ/m²)に近かった。また、スギ辺材の72.3 kg/m³吸収量(B)においても31 MJ/m²の発熱量で、難燃級にも合格できなかった。

これらのことから、ロシアカラマツ心材を基材とする外装材の準不燃級の難燃処理は、注入性が劣るため実質的に困難と判断し、壁下地に使用するスギ合板の難燃薬剤Bによる処理と厚物化によって耐火性を付与できないか検討することとした。

4種の壁体構成(12.5Cb, 12Tpw, 12Tv, 24Upw; 図3)での30分加熱耐火試験(屋外側加熱, 裏面[室内側表面]温度260℃以下を合格基準とする遮熱性)を行った。12Tpw(合板処理)および12Tv(単板処理)の難燃化は、壁体製作に使用したそれぞれ合板4枚の吸収量ばらつき範囲は61~84kg/m³と110~138kg/m³(表単板)であった。

加熱耐火試験の結果を表8にその際の裏面温度[室内側石膏ボード表面]の変化を図5に示す。表8に示すように、4種の壁体ともに30分後の裏面温度は260℃を越えず、すべて合格した。LTP塗装15mmロシアカラマツ外装材は、いずれの壁体でも15分前後に焼けて脱落し、図5において、壁体12.5Cbはその頃から室内側表面温度が上昇を始めた様子がみえる。壁体12Tpwと12Tvは20分

表7 難燃処理(減圧注入)と発熱性試験の結果

基 材	難燃薬剤	吸収量 (kg/m ³)	塗装	5分間 総発熱量*2 (MJ/m ²)
ロシアカラマツ心材	A	2.9*1	LTP	98
	B	2.8*1	LTP	100
	無処理	—	無塗装	115
スギ辺材	A	53.6*1	LTP	51
	B	72.3*1	LTP	31

注) 難燃処理前の材寸法: 厚さ20×幅100×長さ375mm

難燃処理剤A: 30%リン酸カルバメート系難燃剤水溶液

難燃処理剤B: 30%リン酸グアニジン系難燃剤水溶液

*1: ウェット減圧注入, -700mmHg 1時間→大気圧 1時間.

*2: 難燃の合格規定値は、加熱5分間で8 MJ/m²未満.

表8 壁体構成と30分加熱耐火試験の結果

試験体	外装	下 地 材	最高温度 (°C)	合否判定
12.5Cb		12.5 mmセメントボード	81.5	合格
12Tpw	塗装 15 mm	12mm 難燃処理 スギ合板	112.5	合格
12Tv	ロシアカラマツ外装材	12mm 単板難燃処理 スギ合板	123.3	合格
24Upw		24mm スギ合板	31.6	合格

頃から温度上昇がはじまり、厚物スギ合板を下地に使用した壁体24Upwは、25分過ぎから温度上昇が認められ、30分後には32℃の温度上昇しか認められず最も良い成績をおさめた。

今回使用したPET樹脂繊維断熱材は、加熱昇温とともに燃焼しはじめ壁体内部の急激な温度上昇として認められること(図5; 試験体12Tpwの壁内右上及び左上のプロット)がわかった。このことから、耐火性を求める場合は、グラスファイバー等の無機系断熱材の方が推奨できることがわかった。

3.4 ロシアカラマツ外装材張り外壁の壁倍率

前項の結果から、24mmスギ合板下地+15mm塗装ロシアカラマツ外装材の構成の壁体(24Upw)は加熱耐火試験に合格し、無処理の外装材が使用できることがわかった。そこで24mmスギ合板下地のみの壁体(24Upw₀)と15mmロシアカラマツ外装材を付加した壁体(24Upw)の壁せん断試験を行い、ロシアカラマツ外装材の耐力向上への寄与を調べた。

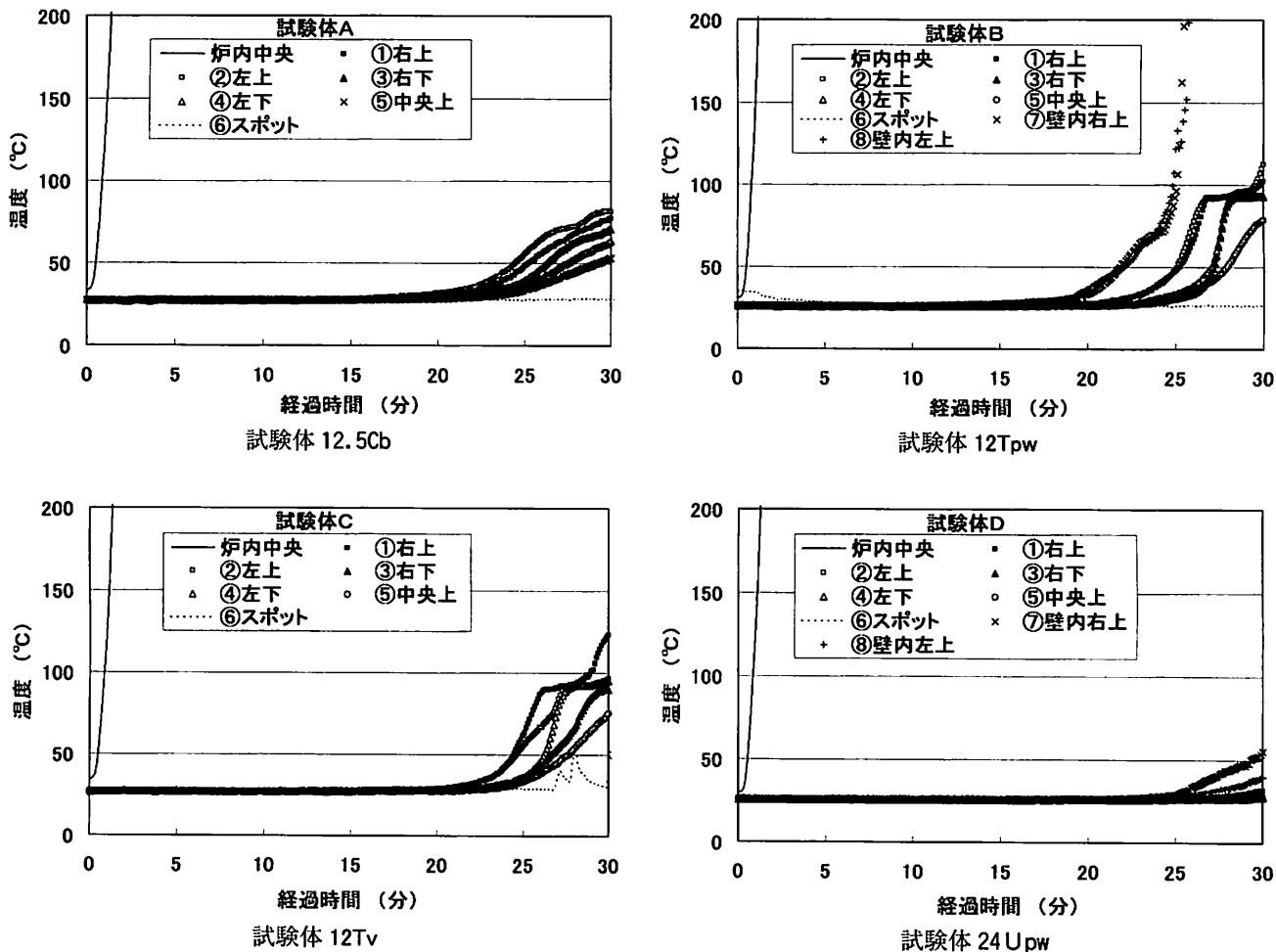


図5 加熱耐火試験時の裏面温度などの変化

注) 試験体 12Tpw と 24Upw は、壁体内 2 点の温度計測点を追加している。

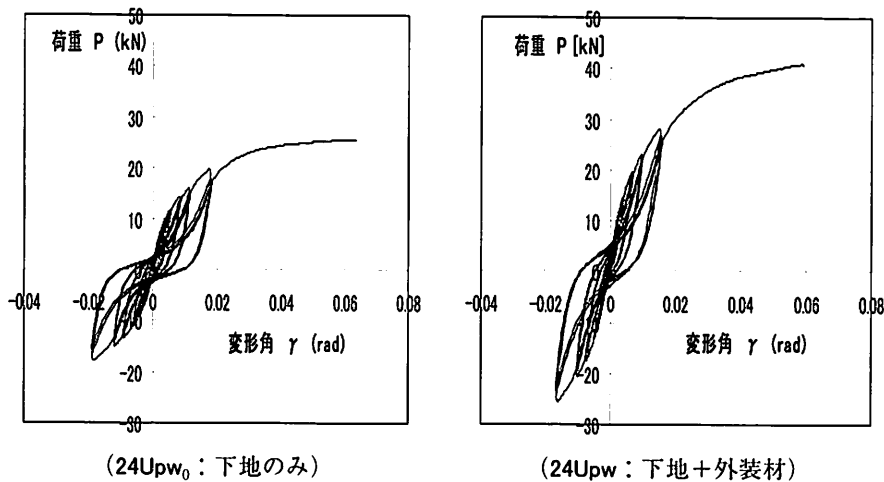


図6 繰返し加力時の荷重-変形角ループ

表9 試験壁体 24Upw のせん断耐力

試験体	壁体の構成	せん断耐力 (壁倍率)
24Upw ₀	24mm スギ合板(下地)のみ	3.9
24Upw	24mm スギ合板+ロシアカラマツ外装材	4.8

その結果、下地+外装材 (24Upw)はスギ合板下地のみ(24Upw₀)に比べて、図6に示すように同じ変形角に対する荷重が上昇し、表9に示すように壁倍率が 3.9 から 4.8 に 0.9 向上している。このことから、ロシアカラマツの高強度が壁耐力の向上にも寄与しうることが認められた。しかし、構

造設計上は外装材の強度貢献は現在認められていないため、設計基準の改訂に向けて、壁下地への釘着条件や経時劣化などについて検討を重ねる必要がある。

4. まとめ

ロシアカラマツを県内で安定した需要のある外装材として利用可能性を調べた。外装材として考慮すべき性能は、1) 長い塗装寿命、2) 耐火性能、3) 耐震性(壁せん断耐力)向上への貢献と考えた。そこで、環境負荷の小さい自然塗料を含めて、3地点で暴露試験して塗装寿命を調べた。さらに壁下地を含めた壁体の耐火性を4種の壁体構成(下地材として12.5mmセメントボード、12mm難燃処理スギ合板、12mm単板難燃処理スギ合板、24mmスギ合板)で製作し加熱耐火試験(遮熱性)を行った。加熱耐火試験に合格した24mmスギ合板を下地とした壁体構成でロシアカラマツ外装材のせん断耐力向上を調べた。結果は、以下のとおりであった。

1) 屋外暴露試験(水平または南面5°暴露)の結果、ロシアカラマツ心材は、スギ辺材に比べて塗装寿命が短かった。しかし、従来型塗料に比べて自然塗料は長寿命を示したため、塗装の長寿命化が図れ、富山県の平野部・南面垂直の使用環境条件で約3年の塗装寿命が得られることが推定できた。

2) 2種類の水溶性難燃剤を用いたロシアカラマツ心材の加圧注入による難燃処理は、吸収量が大幅に不足した。このため、壁下地材としてスギ合板の難燃処理を行い、塗装ロシアカラマツ外装材(無処理)張り壁体の加熱耐火試験を行ったところ、リン酸ゲアニジン系難燃剤で処理した12mmスギ合板(注入対象は合板と単板の2種、吸収量はおおよそ73kg/m³と124kg/m³)と無処理24mmスギ合板を用いた壁体構成の3種類とも合格した。

3) 無処理の24mmスギ合板を壁下地材に用いる構成で壁体パネルを作製し、ロシアカラマツ外装材(厚さ15mm)を張ることによって、壁せん断耐力は、壁倍率で約0.9向上し4.8を得た。

4) ロシアカラマツ材は、難燃処理は極めて困

難であるが、使用環境にあった塗料を選択することや壁体構成を考慮することによって、十分長持ちする、耐火性が高く建物の耐震性にも貢献する外装材として利用可能性があることがわかった。

謝辞

試験体製作及び評価試験にご協力いただいた、タカノホーム(株)、福尾伝三郎商店、(独)産業技術総合研究所中部センター、北海道立林産試験場および関係者に感謝する。

引用文献

- 1) 富山県：ロシア極東の林業・木材産業の現状、2005.
- 2) 富山県森林政策課：木材需給と木材工業の動向、5(2008).
- 3) 木口実：海外のエクステリアウッドと耐候処理技術、木材保存25(3)、2-15(1999).
- 4) 南雄三：木製窓・ドア全科、36、NKS情報ネットワーク、1994.
- 5) 木口実、長谷川益夫ほか6名：PEG系薬剤の基材処理による透明系造膜塗料の耐候性向上と暴露地の影響、木材保存23(4)、10-17(1997).
- 6) ISO16053 Paints and varnishes - Coating materials and coating systems for exterior wood - Natural weathering test.
- 7) 木口実、鈴木雅洋ほか2名：木材保護着色塗料の新しい塗り替え基準による耐候性評価、木材工業52(12)、612-617(1997).
- 8) M. Kiguchi, Y. Kataoka, M. Mori, S. Doi, M. Hasegawa, S. Morita, Y. Kadokaru, P. Ahola, G. Hora, K. Jenang, P. D. Evans, Y. Imamura : "High-Performance Utilization of Wood for Outdoor Uses", Y. Imamura ed., p.7, Kyoto University (2001).
- 9) R.S.Williams, M.T.Knaebe, J.W.Evans, W.C. Feist : Erosion Rates of Wood During Natural Weathering. Part III. Effect of Exposure Angle on Erosion Rate, Wood Fiber Science, 33, 50(2001).
- 10) 長谷川益夫：未発表.

Summary

In this decade, Toyama has been a leading prefecture in Japan for the amount of imported Russian wood. The share of Russian larch in the total amount was small compared with the ratio of tree species from the Russian Far East, because of a limitation of usage for sills in the housing and to civil engineering materials. The recent decrease of new housing numbers and a decrease in public civil engineering work, it also goes through this tendency. New applications for Russian larch are required in order to check this tendency. There is an ingrained demand in Toyama for wooden cladding, so we examined whether Russian larch could be utilized for wooden cladding.

The performances required for wooden cladding are, first of all, durability of painting, and fire resistance, especially, in fire prevention designated areas. In addition, such characteristics are needed as advantage in order to ensure a demand for cladding made of Russian larch. One of the preferable characteristics is the performance which contributes to earthquake resistance because of its high strength. To examine the first characteristic, outdoor exposure tests for screening were done on painting which has a long service life, such as natural oil paints, water soluble paints, and synthetic resin paints. The second, fire resistance of four types of walls which consisted of a fire-resistant lathing board covered with Russian larch cladding were examined. Then, a material composition for walls was recommended. For the third characteristic test, shear capacity of the wall with the recommended composition, with the portion which used the Russian larch cladding was examined.

The results are summarized as the followings.

- 1) The first maintenance interval of painted Russian larch heartwood was shorter than those of the Japanese cedar sapwood. The intervals of natural oil coatings were longer than those of the synthetic resin coatings, at all three exposure sites where they were examined. For example, at a site in the Toyama plain, one of the intervals with a natural oil coating under the condition of the fire-retardant treated cladding facing to the south was estimated to be about 3 years.
- 2) Because Russian larch heartwood cannot be pressure treated by fire-retardant solutions (maximum retention was 16kg/m³) it had no prospect to pass the quasi-incombustible requirements of Ministry of Land, Infrastructure and Transport. In order to make up fire resistant wooden walls, we prepared four types of lathing board, 1) Cement board (thickness: t12.5mm), 2) fire-retardant treated cedar-plywood (t12mm), 3) plywood (t12mm) of fire-retardant treated cedar-veneer, and 4) untreated thicker cedar-plywood (t24mm). The combustion tests were 30 minutes (thermal insulation) for walls constituted by these lathing and also stretched untreated claddings of Russian larch were carried out. All four type walls were passed the test.
- 3) Then, four walls using untreated cedar-plywood of t24mm were prepared as a lathing board. Russian larch cladding (t15mm) was stretched in two of the walls, and then the wall shear test on all of them was carried out. The wall shear resistance power magnification of one of the stretched Russian larch cladding was 4.8, or about 0.9 improved over the other that was not stretched.
- 4) Following practical conclusions were found from the results. It was possible to use Russian larch wood as cladding which was durable by choosing the coating most suitable for the environment. By considering the composition, it could be utilized as cladding which can also contribute to the earthquake-proof improvement of the houses in which the fire resistance performance was high.

15年経過した木製歩道橋の劣化調査事例

栗崎 宏、中谷 浩

Investigation of Wooden Footbridge Served in 15 Years

Hiroshi KURISAKI, Hiroshi NAKATANI

設置して15年経過したベイマツ製歩道橋の安全性を把握するため、桁（集成材）と梁（製材）の腐朽劣化を調査した。定量的に評価するために、梁・桁をブロック分けし、腐朽の有無と腐朽拡大状況を、ブロック単位で調査した。腐朽の有無は目視、触診、ならびに打診により判定し、腐朽拡大状況は梁桁材の上部のみが腐朽しているパターンと、上部に加えて下部の欄干取付け部や桁継ぎ手部なども腐朽しているパターンに分けて記録した。前者の腐朽は、桁の場合、上部2、3ラミナに限られるのに対し、後者は多数のラミナに拡がり、腐朽程度も激しいことから、後者パターンの腐朽のほうが強度性能への影響は大きいと考えられる。調査結果を集計すると、桁では全ブロックの97%に腐朽が認められ、69%は下部も腐朽していた。梁も、全ブロックの83%が腐朽し、72%は下部も腐朽していた。また、下部の腐朽は21カ所の桁支持部のうち18カ所に発生していた。これらのことから、調査した木橋の安全性は大きく低下しているおそれがあり、より詳細な調査に基づく大規模な改修、あるいは架替えが必要と判断された。なお、今回の調査により、木橋の部材をブロック分けして調査することにより、定量的な結果を得られることが確認できた。

1. はじめに

木橋など木材を用いた屋外構造物は、雨水を直接受けるため、腐朽により劣化する。耐朽性の高い樹種や保存処理材の使用によって、腐朽劣化を遅らせることは可能だが、恒久的に阻止することは不可能であり、点検により腐朽劣化を監視し、維持管理を加えながら、使用していく必要がある。

これまでに、木材の腐朽を検出するための各種方法が開発されており¹⁾、目視や打診・触診など人間（測定者）の感覚で検出する方法、腐朽による強度低下を装置によって直接検出する方法（ピロディン、レジストグラフ²⁾など）、腐朽に伴う木材の力学的性質の変化を検出する方法（超音波伝播速度³⁾）、腐朽菌の存在を生化学的に検出する方法（検出キット⁴⁾）などが実用化されている。また、これらの方法を用いて木橋や木製遊具を検査するための点検マニュアルも作成されており^{5~9)}、構造物を構成する各部材の腐朽を検査する方法は、ある程度一般化されていると言える。

しかし、点検の最終目的は、構造物の各構成部材の腐朽状態を知ることではなく、構造物全体として

の腐朽劣化状態を定量的に評価し、それに基づいて構造物の健全度を客観的に判断することである。この点について、既存の点検マニュアルは、具体的な理論や判断基準を示すまでには至っておらず、実際には調査者の知識と経験に基づいてケースバイケースで判断することが多い。

ケースバイケースでの判断は、柔軟性に優れているが、判断基準が主観的で、結果の表現も定性的になりやすいため、第三者、特に構造物の管理者に対する説得力が不足するおそれがある。したがって、数多くの劣化調査事例を蓄積し、それを基に、部材の劣化状況から構造物の健全度を客観的に判断する一般的理論や、判断基準の構築が必要であるが、調査事例^{10~15)}の数は十分とは言えず、さらなる蓄積が望まれる。

筆者らは、昨年度に築後15年経過した集成材木橋の劣化を調査する機会を得たので、その内容を調査事例として報告する。なお、調査に際しては、木橋の腐朽劣化状況を定量的、可視的に把握して、構造物の健全度を客観的に判断することを試みた。

2. 調査対象

調査対象は、富山県射水市黒河 富山県民公園太閤山ランド内のベイマツ大断面集成材橋 通称「であい橋」である（写真1）。噴水型遊水施設からの人工水路の上に架けられた小規模な木橋で、主に歩行者を対象としているが、作業車両の走行も想定した設計である。

主な仕様は以下のとおりである。

施工：1992年（築後15年）

全長： 40m

幅： 8m

高さ： 2m（橋中央）

構造：支柱で数カ所を支持したアーチ型橋

基本的な構造は、水路に直交して3列の橋桁が架けられ、これに梁、根太、床版が順に取り付けられる。橋の中央付近の左右には、半円状の張り出し床がはみ出している。図1に基本構造の平面図と桁の側面図を示した。

桁は、幅160mmのベイマツ構造用集成材で、両側の2本の主桁は偏心したアーチ形で、双方のアーチの頂上を通直なベイマツ集成材で繋いでいる。中心軸の桁（中央桁）は左右対称の緩やかなアーチ形である。いずれの桁も、3本の集成材を縦方向に継いでいる。桁の材せいは、側桁では中央に向かって450mmから800mmへと厚くなり、アーチ頂上を繋ぐ通直集成材は500mm、中央桁は800mmで一定である。側は6本、中央桁は9本の支柱で、下方から支えられている。

梁は、幅150mm高さ300mmのベイマツ製材で、1900mmごとに金具で桁側面に取り付けられている（写真2）。

根太は、幅75mm高さ150mmのカラマツ製材で、630

mmごとに梁上に取りつけられている。なお、根太と桁の上面は同じ高さで、桁は根太の役割も兼ねている。

床版は、厚さ90mm幅120mmのヒノキ材で、桁と根太の上に釘付けされている。欄干は、1200mm角のヒノキ材で、下部は床版の300mm下まで延び、側桁内側にボルトで止められている。

元々、長期使用を想定して設置されたものではないため、防腐処理は施されておらず、保護塗料が塗装されているのみである。これまでは、塗装の塗り換えや腐朽した床版の交換などの部分的補修を施しながら使用されてきたが、築後15年を経て梁桁など主要構造部の腐朽進行も危惧されるため、通行禁止の措置がとられている。

3. 腐朽劣化調査の方法

平成19年7月25日（曇天）に調査を行った。

今回の調査は、橋の主要構造部である桁と梁の腐朽劣化状況について行った。

腐朽劣化の発生頻度を定量的に把握するために、あらかじめ桁と梁をブロック分けした。桁は梁との交点ごとにブロック分けし、さらに外面と内面の日射の差などを考慮して、面ごとにブロック分けした。梁は、面の区別はせず、1本を1ブロックとした。

調査は目視、触診、打診を併用し、下記のいずれかに該当した場合を腐朽と判断した。

- 目視：①変色と、欠け落ち、陥没、変形、割れのいずれかが確認される。
②濡れ色を呈し、かつ金槌打撃音が周囲より明らかにこもっている。
③表面に、腐朽菌の菌糸や子実体が存在している。



写真1 「であい橋」 全景



写真2 梁の取り付け部分

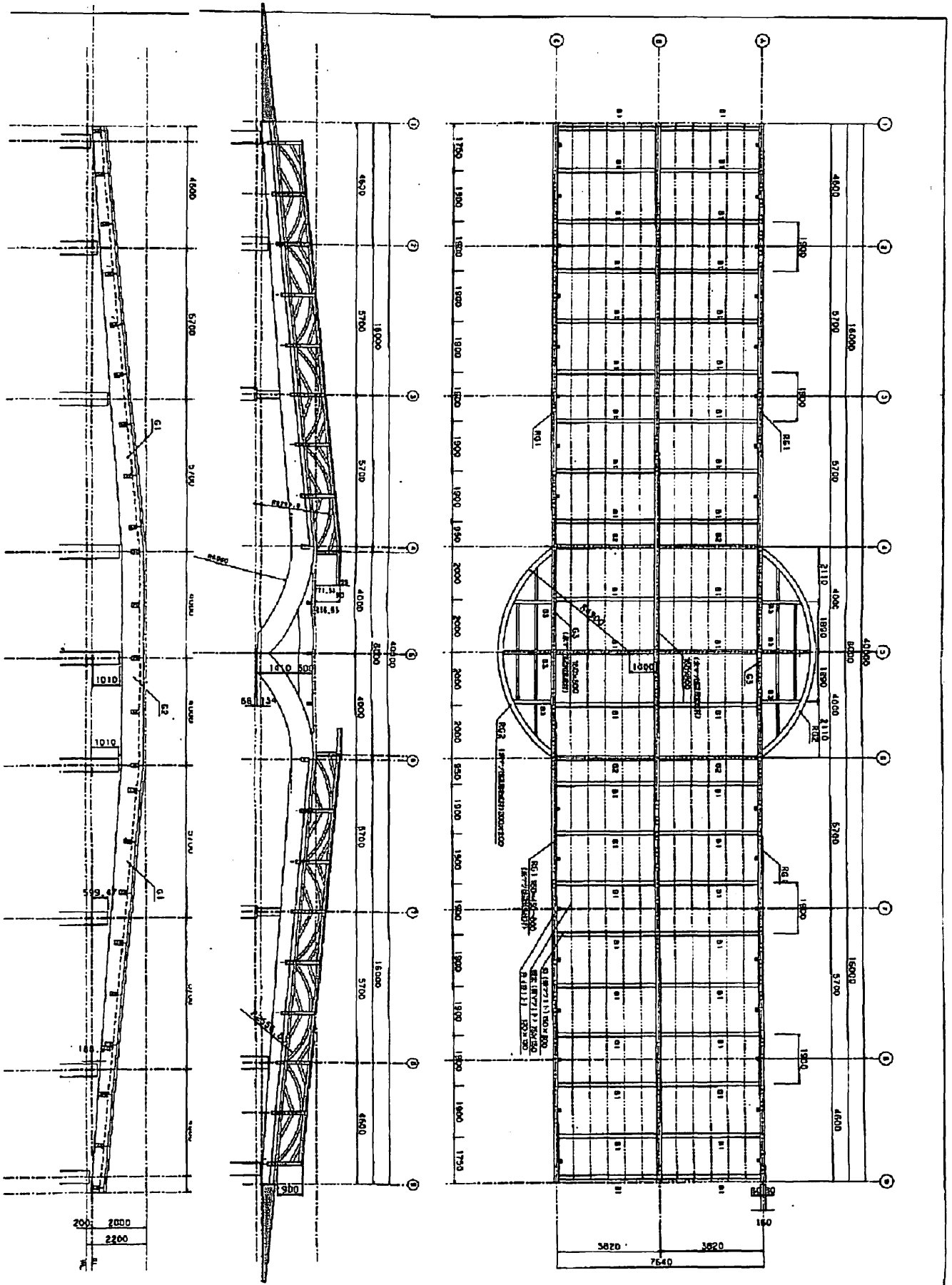


図1 であい橋の構造
左から中央桁側面図、側桁側面図、梁桁平面図

触診：軟化を確認できる（指で容易に崩れたり、ほつれたり、へこんだりする。）。

打診：ドライバーや金槌尖り部が、容易にめり込む。

各ブロックごとに、腐朽の有無と、後述の腐朽パターンを記録した。

腐朽が認められたブロックを腐朽ブロックとし、全ブロック数に対する腐朽ブロック数の比率を求めた（以下、腐朽ブロック率）。木橋全体における腐朽ブロックの分布を把握するため、腐朽ブロック地図を作成した。最終的に、各腐朽パターンの特徴を考慮して、腐朽ブロック率と腐朽ブロックの分布に基づいて、木橋の安全性、ならびに今後の対応を検討した。

4. 調査結果

4.1 腐朽のパターンとその特徴

各ブロックの腐朽拡大状況は、写真3のように上部が腐朽したパターン（以下、上部腐朽）と、写真4のように下部まで腐朽したパターン（以下、下部腐

朽）に分けることができた。以下に各腐朽パターンの特徴を述べ、雨水の浸入経路との関連を考察する。

4.2 上部腐朽

上部腐朽は、桁のほぼ全域と梁の根太接触部分に発生していた。

桁の上部腐朽は、上端から2～3層のラミナ（5～10cm）に帯状に広がっていた。床版の荷重によって圧壊したラミナも見られたが、接着層を境界にして腐朽は直線的に停止し、下部のラミナは健全であった。桁は床版からの雨水により腐朽したと考えられるが、側面の雨水の跡と腐朽発生箇所の間に関連が見られないことから（写真3）、床版と桁の接触面から侵入した雨水が関与していると考えられる。侵入した雨水は、桁上面に浸透して上層ラミナ内で腐朽範囲を拡大していったが、接着層は透水性が低いため、そこで腐朽進行が大きく減速したと考えられる。

梁材の上部腐朽は、上端から5cm程度で桁と同程度であるが、製材を用いているため腐朽範囲の形は不規則で必ずしも連続しておらず、健全部との境界

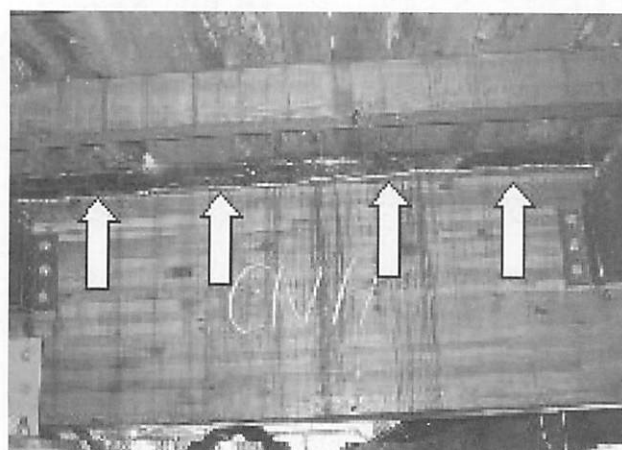


写真3 桁の上部腐朽

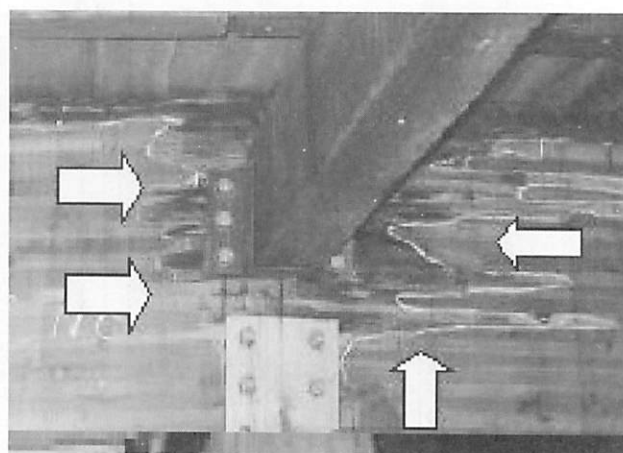


写真4 桁の下部腐朽

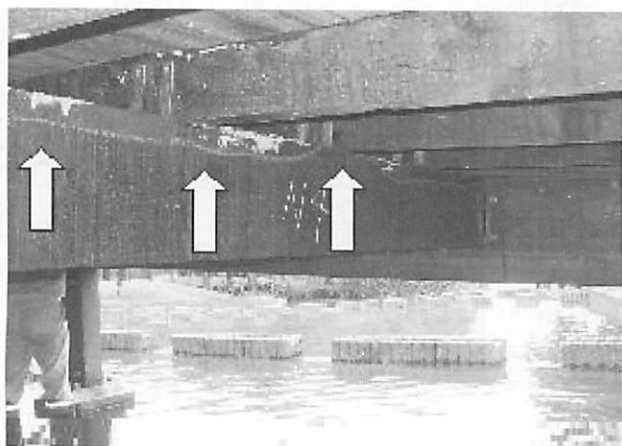


写真5 梁の上部腐朽



写真6 桁材の欄干取り付け部の腐朽

もやや不明瞭であった(写真5)。雨水は床版から根太を伝って、根太と梁の接触面へ侵入したと考えられる。

4.2 下部腐朽

下部腐朽は、桁では欄干・梁取り付け部(写真6、7)、継ぎ手(写真9)、ならびに二次接着面(写真11、12)の周辺、梁では桁への取り付け部の木口端面から広がっていた(写真13)。それぞれの下部腐朽の特徴は以下のとおりである。

4.3.1 桁の下部腐朽

欄干は、桁上端から10層目までの複数のラミナに跨って縦長に接触しており、腐朽は接触面から各ラミナに沿って、横方向へ広がっていた。欄干を伝った雨水は、接触面から桁の複数ラミナに侵入した後、各ラミナ内を浸透し、腐朽が拡大したと考えられる。欄干を桁に固定するためのボルト孔も、雨水の重要な侵入経路と考えられる。

梁は、桁の側面にボルトで固定された金具に載せられており、その端面が複数(10層ほど)の桁ラミ

ナに接している。腐朽は、各ラミナの接触部分からラミナ沿いに横方向へ広がっていた。桁側面や梁を伝ってきた雨水が、梁や金具との接触面に侵入し、さらにラミナ内へ浸透して腐朽を拡大したと考えられる。欄干の場合と同様、金具のボルト孔が、内部への雨水侵入を促進したと考えられる。なお、写真8のように欄干の真横に梁を取り付けている箇所では、当然のことながら腐朽が非常に広範囲に拡大していた。

桁の継ぎ手は、集成材の端面同士を突き合わせてあり、全ラミナの木口面が露出している。この部分の腐朽は、上端から下端までほぼ全域のラミナで発生し、曲げ破壊を起こした箇所も見られた(写真9)。継ぎ目は上下方向であるため、床版から流れてきた雨水は容易に継ぎ目に侵入してラミナの木口面から浸透し、さらに継ぎ目に取り付けられた欄干(写真10)や梁(写真4)が、水の侵入や滞留を促進したため、腐朽が加速したと考えられる。

二次接着層は、主桁の集成材のカーブに沿って通

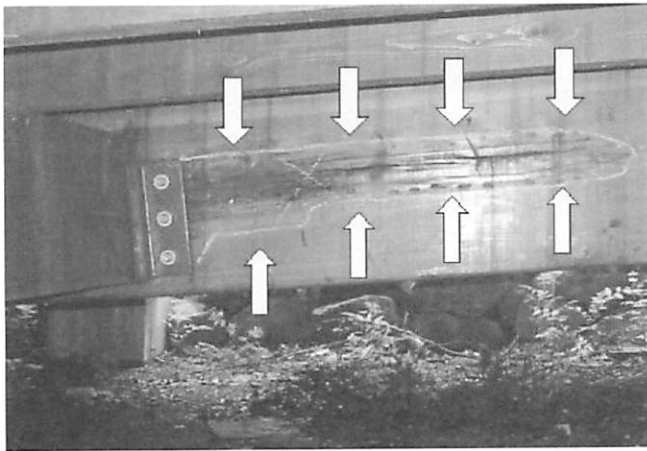


写真7 桁材の梁取り付け部の腐朽



写真8 欄干と梁取り付け部の桁材腐朽



写真9 桁継ぎ手の腐朽(部分的に破壊)



写真10 欄干を付けた桁継ぎ手部の腐朽

直集成材を接着した箇所、腐朽は双方の集成材ラミナに広がっていた(写真11、12)。床版からの雨水は、二次接着層のカーブに沿って斜め下に流れ、腐朽が拡大したと考えられる。

4.3.2 梁の下部腐朽

梁の下部腐朽は、主に桁への取り付け部の木口端面に発生し、端面から繊維方向へ進行していた(写真13)。桁の下部腐朽と比較すると、腐朽範囲は狭く、破壊に至った箇所は見られなかった。この腐朽は、桁側面や梁上面を伝った雨水が、桁・金具との接触面から梁木口端面に浸透して、拡大していったと考えられる。特に、金具は梁を下方から包み込む形状であるため、接触面は水が滞留しやすかったものと推察される。

以上の下部の腐朽の特徴をまとめると、桁の上部腐朽は上面ラミナから1層ずつ順に進行したと考えられるのに対し、下部腐朽は複数層のラミナに同時に雨水が供給されたため、広範囲でランダムに進行したと考えられる。さらに、下部腐朽箇所では、雨水がボルト穴や継ぎ目などから桁内部へも供給されるため、奥深くまで腐朽している可能性が高い。梁の下部腐朽は、桁の下部腐朽ほど広範囲ではないが、

これらの特徴を比較すると、桁、梁のいずれの部材でも、上部腐朽より下部腐朽のほうが危険な劣化であると判断される。

4.4 腐朽ブロック率と腐朽ブロック地図

桁と梁について、それぞれの腐朽ブロック率を求め、表1に示した。

桁は、外に面した面と内側の面を区別して合計116ブロックを調査し、腐朽が認められなかったブロッ

クは南桁外面の4ブロックのみで、残りの112ブロックには何らかの腐朽が認められ、その割合(以下、腐朽ブロック率)は全体の97%であった。このうち、下部腐朽も認められたブロック数は80ブロックで、そのブロック率(以下、下部腐朽ブロック率)は69%に達した。

外面と内面の腐朽ブロック率を比較すると、外面は南桁で82%、北桁で100%であったのに対し、内面は全ての桁で100%で、内面のほうが高い値を示した。下部腐朽ブロック率を比較すると、外面は南桁45%、北桁20%であったのに対し、内面は南桁100%、北桁94%、中央桁82%で、内面は下部腐朽も多く発生していた。内面は、欄干や梁の取り付け部から雨水が侵入しやすく、風や日光が遮られて乾燥しにくいため、雨天の後は腐朽に適した環境が長時間続いたと考えられる。これに対し外面は、直接雨水を受けるものの、ほとんどが平坦な面であるため水は流れ落ちやすく、また風や日射により濡れても乾燥しやすいた

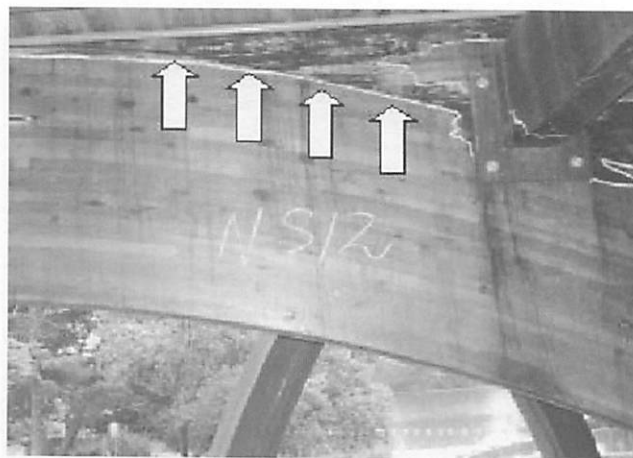


写真11 二次接着層の上側ラミナの腐朽

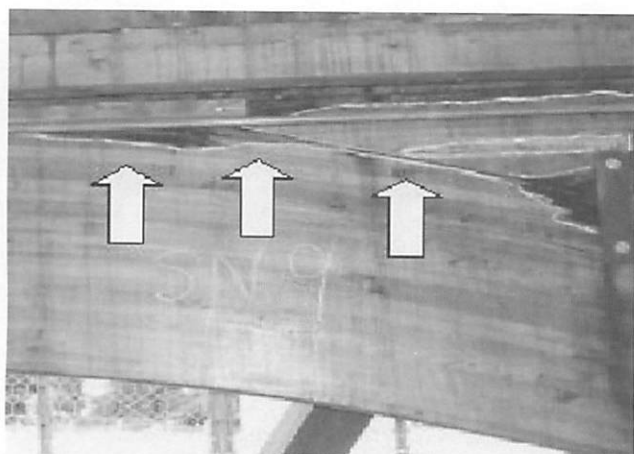


写真12 二次接着層の下側ラミナ野腐朽

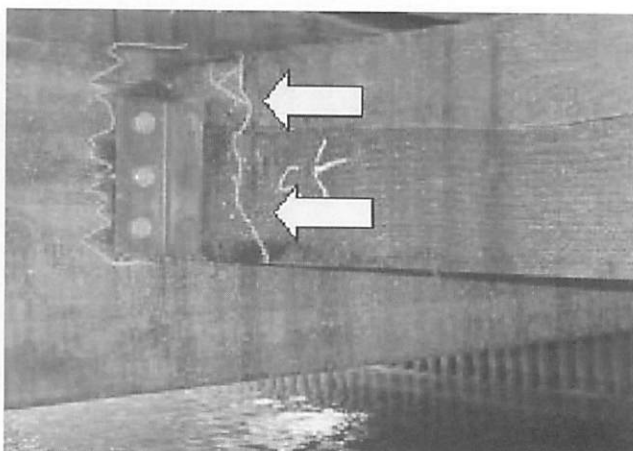


写真13 梁の下部腐朽

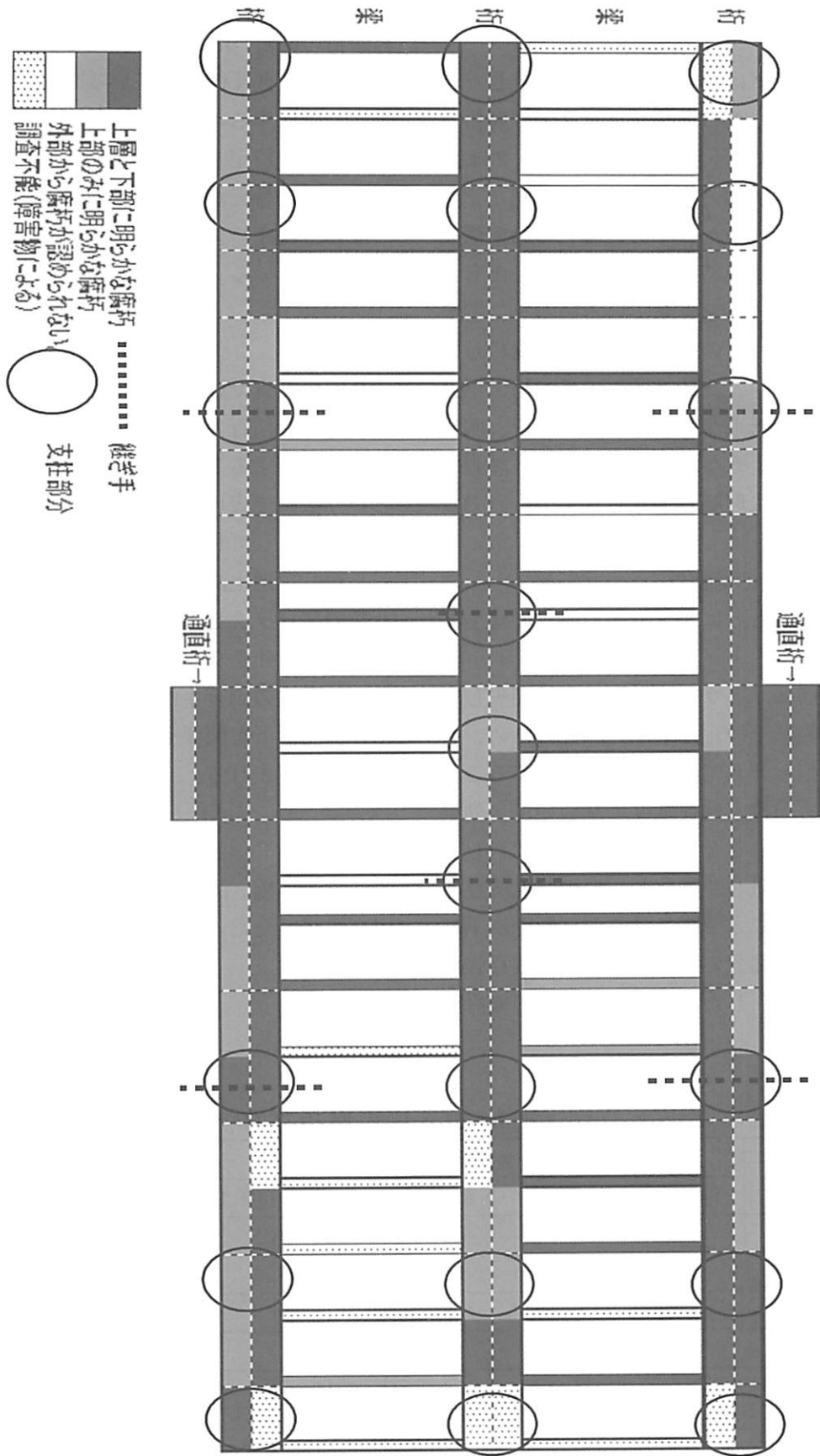


図2 腐朽ブロック地図
図1の梁桁平面図に対応している

め、内面より腐朽しにくい環境にあったと考えられる。

梁は、面を区別せずに全36ブロックを調査した。腐朽が認められなかったのは7ブロックで、腐朽ブロック率は全体の83%、下部腐朽したブロックは26ブロックで全体の72%であった。

なお図2は、単純化した「であい橋」の梁桁構成図に、各ブロックの調査結果を重ねて図示したものである。図では支柱で桁を支えている箇所を、○で示している。図2は、桁の内面は外面より腐朽し深刻な状況であることや、支持箇所の大半で桁の下部が腐朽して支持力の低下が懸念されることを、明解に示している。このような結果の図示化は、調査結果を構造物の管理者に理解してもらう上で、有効な手法だと考えられる。

4.5 「であい橋」の健全度

以上の調査結果をもとに、「であい橋」の健全度を考察する。

上部腐朽は上層2、3ラミナに限定して発生しているため、腐朽範囲を特定しやすい。そのため、腐朽部分を断面欠損と考えて残存強度を推定することも可能である。その推定残存強度に基づいて、効果的な補強策を提案することもできる。これに対し、下部腐朽は、材料が激しく劣化し、橋の強度的性能に重大な影響を及ぼすと予想されるが、範囲が不規則で広範なため腐朽部分の特定が難しく、残存強度の推定が困難である。したがって、補強策の検討も難しい。

調査の結果、「であい橋」ではこのような下部腐朽が桁の69%、梁の72%で発生しており、橋としての健全度は大きく低下していると判断された。橋の安全性を確保するためには、詳細な検査により下部腐朽の範囲を特定して大規模な補修工事、もしくは全面的な架け替えが必要、と結論づけられた。

なお、現在「であい橋」は撤去され、水路は埋め立てられている。

5. おわりに

今回の調査では、目視・触診という最も簡単、かつ感覚的な検査方法を用いたが、木橋をブロック分けして検査することにより、結果を腐朽ブロック率という数値で表現でき、橋の健全度を判断する客観的な材料として利用できた。

しかし、地上高の高い大規模な木橋の場合、十分な数のブロックを調査することができず、腐朽ブロック率が意味をなさなくなるおそれもある。今後、さらに多くの調査事例に基づいて、構造物の部材劣化と性能低下を関係づける汎用的な理論や評価手法の構築が望まれる。

6. 謝辞

「であい橋」調査結果の公表、ならびに図面の使用を快諾いただいた(財)富山県民福祉公園に感謝いたします。

表1 桁と梁の腐朽ブロック率

	ブロック数				腐朽ブロック率 (%)		
	健全	上部腐朽	下部腐朽	総数	全ての腐朽	上部腐朽	下部腐朽
桁合計	4	32	80	116	97	28	69
南桁南面(外側)	4	8	10	22	82	36	45
南桁北面(内側)	0	0	18	18	100	0	100
中心桁南面	0	3	17	20	100	15	85
中心桁北面	0	4	14	18	100	22	78
北桁南面(内側)	0	1	17	18	100	6	94
北桁北面(外側)	0	16	4	20	100	80	20
梁合計	6	4	26	36	83	11	72
南側梁	4	2	14	20	80	10	70
北側梁	2	2	12	16	88	13	75
合計	4	32	80	116	97	28	69

引用文献

- 1) (社)日本木材保存協会, 木製外構材のメンテナンスマニュアル改訂版, 2008.
- 2) 酒井温子, 岩本頼子ら, 穿孔抵抗による木材の劣化診断 木材保存, 33課過去(2), 73-80 (2007).
- 3) 加藤英雄, 鈴木憲太郎ら, 非破壊試験法による木橋の劣化診断(その1) -超音波伝播法の試み-, 木材保存, 31(1), 2005.
- 4) 田中 計実, 愛知後 貴ら, 抗原抗体反応を利用した腐朽診断法の開発, (社)日本木材保存協会第20回年次大会研究発表論文集, 2004, PP. 22-27.
- 5) (財)日本住宅・木材技術センター, 大規模木造構築物の保守管理マニュアル, 1997.
- 6) (財)日本木材総合情報センター 木材利用推進中央協議会, 木でつくる公園施設-設計と維持管理の手引き, 1999.
- 7) (財)日本木材総合情報センター 木材利用推進中央協議会, 木でつくる屋外施設-耐久設計と維持管理の手引き, 1999.
- 8) 木橋技術協会, 木橋の点検マニュアル(第1版), 1999.
- 9) (財)国土技術研究センター, 木歩道橋設計・施工に関する技術資料-参考資料 点検・管理-, <http://jiceo635.rsjp.net/moku/reference.pdf>.
- 10) 宮武敦, 山本幸一ら, 木橋に用いられた集成材の耐久性調査(II), 第51回日本木材学会大会研究発表要旨集, 2001, P. 464.
- 11) 鈴木憲太郎, 軽部正彦ら, ボンゴシ材を使った公園用木橋落下について, 木材工業, 55(2), 78-81, 2000.
- 12) 矢田茂樹, 公園に設置された大型木製遊具の点検と補修(1), 第50回日本木材学会大会研究発表要旨集, 2000, P. 462.
- 13) 飯村豊, 鈴木基ら, モデル木橋事例報告, 木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, 2001, PP. 19-22.
- 14) 佐々木貴信, 土居修一ら, 木橋の耐久性調査と補修の事例, 第52回日本木材学会大会研究発表要旨集, 2002, P. 564.
- 15) 藤田和彦, 軽部正彦ら, 13年で架け替えられた木橋の経緯と履歴, 第3回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, 2004, PP. 127-132.

Summary

To estimate the soundness of wooden footbridge served 15 year, we investigated the decay of girders (glued laminated timber) and crossbeams (sawn lumber) of Douglas-fir. The girders and crossbeams were divided into sections and examined in each section. Decay was examined by visual, tactual, and tapping methode. The decay pattern in sections were classified into following two category, "upper decay" in which the decay was restricted in upper zone of girder or beam and "lower decay" in which the decay was not spreaded only upper zone but also lower zone such as bridge rails mounting or joint of laminated timbers in girders. On the girders examination, any decay were found in 98% of sections and advanced to lower decay in 69%. On the crossbeams examination, decay were found in 83% of sections and advanced to lower decay in 72%. In 21 supported section of girder, where the girder was supported by basement, the lower decay of were found on 18 section. The lower decay is supposed to affect the strength of girders and beams seriously, which was spreaded to many laminae. From the high incidence of the lower decay, the examined footbridge was estimated to be deteriorated severely, and the thorough repair based on a close examination or a reconstruction was needed.

木材液化技術による建築廃材の利用 (第1報)

— CCA処理廃材利用の検討 —

鈴木聡, 藤澤泰士, 中谷浩, 高橋理平

Recycle of Wood Waste from Disassemblies of Buildings by Wood Liquefaction I.
Reprocess of CCA-treated wood waste

Satoshi SUZUKI, Yasushi FUJISAWA, Hiroshi NAKATANI, Rihei TAKAHASHI

富山県内において多くの木質系建築廃材が発生している。これら建築廃材のうち、防腐処理廃材等の低品位廃材は、有効なリサイクル技術がないことから、焼却あるいは埋め立て処理されているのが現状である。一方、木質系廃材をリサイクル利用するための技術の一つに、木材の液化(加溶媒液化)技術がある。この技術は、木材を液状にしてしまうため、原料となる木材の形状、品質に制限がほとんどなく様々な廃材を利用できる。今回、CCA処理材をリサイクル利用するために、木材液化技術を適用し、CCA処理廃材からCCA成分(銅、クロム、ヒ素)を除去する方法を検討した。

その結果、多段抽出装置による連続的に液化物および水を送入する条件下で、ベイツガCCA処理材のフェノール液化物から、銅、クロム、ヒ素が除去された。また、条件が適切であれば、CCA処理材液化物から9割以上のCCA成分を除去できることが確認できた。さらに、CCA除去液化物について、樹脂化できることが確認できた。

1. はじめに

富山県内において多くの木質系建築廃材が発生している。しかし、これら廃材のうち、塩ビ等の被覆材などを含む合板、ボード類やCCA処理等の保存処理廃木材等が含まれる低品位廃材は、有効なリサイクル技術がない。そこで、焼却あるいは埋め立て処理されているのが現状であるが、不適切な処理・管理が行われた場合、有害成分による環境汚染の懸念もあり、また、二酸化炭素の発生を抑制するためにもリサイクル利用が望ましい。

木質系廃材をリサイクル利用するための技術の一つに、木材の液化(加溶媒液化)技術がある。木材を液状にしてしまうため、原料となる木材の形状、品質に制限がほとんどなく、様々な廃材を利用できる。また、得られた液化物は、接着剤、発泡断熱材等の樹脂・成型品原料として使用できる。本研究所では、これまでに、ロシア産材等の加工工場廃材や

建築廃材利用に、木材液化技術の適用を試み、その有用性を示してきた^{1, 2)}。

今回、CCA処理廃材について、リサイクル利用するため液化技術を適用し、液化物としたCCA処理廃材からのCCA成分(銅、クロム、ヒ素)を液-液抽出して分離する技術について検討し、CCA除去した液化物を成型品の原料として樹脂化利用できるか検討した。

2. 実験方法

2.1 木材液化を利用したCCA処理材からの薬剤除去の検討

2.1.1 液-液抽出による除去可能性の検討

木材試料として、ロシア産カラマツ材を使用した。ロシア産カラマツ材は北陸地方では土台材として多く使用されている材である³⁾。CCA処理は、JIS A9002-1995を参考にして行った。気乾状態のカラマ

ツ木片 (30×15×10mm) に、0.08MPaでCCAを減圧注入した。使用薬剤はJIS K1570-1998 CCA 2号で、住宅土台として一般的なグレードであるJAS K3 (旧JAS 防腐防蟻2種) 処理用の濃度にイオン交換水で希釈した。薬液注入量は、処理前後の試験片質量から算出した。注入処理した試験片は、塩化ビニリデンフィルムに包み30℃で20日間の養生を行った後、フィルムから取り出し40℃で3日間乾燥した。

CCA処理した試料は、軽く砕き、重量比5倍量のフェノールと、酸触媒として72%硫酸を2%添加し、160℃で30分加熱して、液化物とした。

得られたCCA処理材液化物約50gを、1ℓ容の分液ロートに入れ、イオン交換水を500ml (重量比で約10倍量) 加え、往復式振とう器により60回/分で20分間振とうした。振とう後、内部液が2層に分離するまで静置し、分液した。得られた油層部について、さらに2回、最初と同様の条件で、振とう抽出処理を繰り返した。各段階で得られた水層部は、それぞれ原子吸光分析機 (VARIAN製SpectrAA 50B) により、銅イオン濃度を測定し、溶出程度について検討した。

2.1.2 樹種の違いによる影響の検討

比較試料としてベイツガ材、ロシア産カラマツ材、ロシア産エゾマツ材を使用した。木粉に対し、重量比3倍量のフェノールと酸触媒を加え、120および160℃で30分間攪拌、液化した。得られた液化物は、メンブランフィルター (孔径10μm) にて、アセトン洗浄・ろ過後、絶乾重量を測定し、残渣量を求めた。

2.1.3 抽出温度条件の検討

試料として、ロシア産エゾマツ木粉 (粒径100~250μm) を使用し、2.1.1と同条件で液化した。

粘度測定にはE型粘度計 (東京計器製) を使用した。しかし、試料に繊維状残渣があると測定用円盤の回転が阻害され、粘度測定を正常に行うことができなかった。今回得られた液化物は、粘度が高いものが多く、吸引ろ過による残渣除去を行うことができなかった。そこで、液化物試料をアセトンに溶解させた後、メンブランフィルター (孔径10μm) で減圧ろ過して未溶解残渣分を除去した。得られたろ液について、エバポレータによりアセトン溶媒等を除去し、残渣除去液化物とした。この残渣除去液化物について、温度を30~90℃まで変えて粘度を測定した。

2.2 多段連続抽出装置によるCCA成分抽出の検討

CCA処理材試料として、市販ベイツガCCA処理材 (10.5cm正角製材、インサイジング無、経年10年以上、未使用品) を使用した。試料表層10mm部分のICP分析による金属吸収量の定性結果から、JIS K1570-1998 CCA 1号による処理材と推定されるものである。試料とする処理材については、ハンマーミルによる粗砕後、ウイレーミルにより微粉碎し、0.10~1.0mmに分級した。

次に木粉重量に対して5倍量のフェノールと、酸

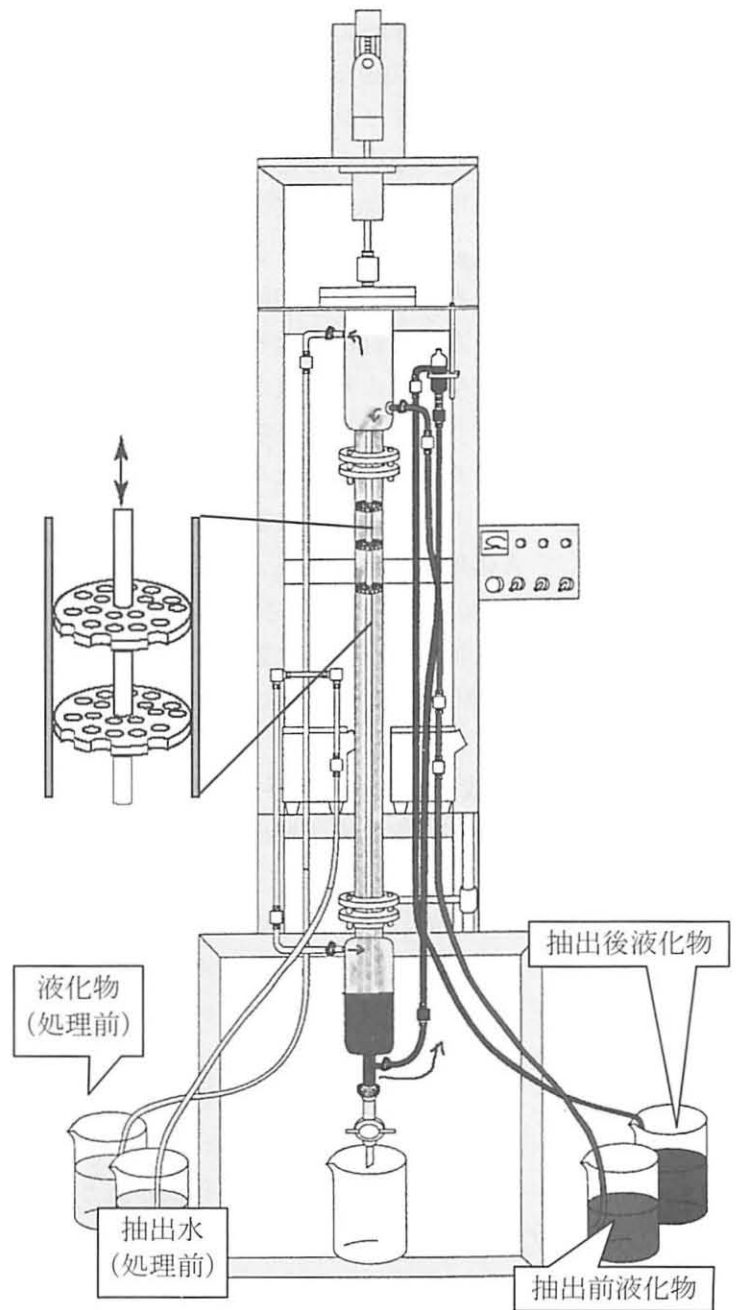


図1 多段連続抽出装置構成図
※多孔板抽出塔による液-液向流抽出

触媒として72%硫酸を2%添加し、温度160°Cで30分加熱して液化物とした。

また、抽出装置の作動試験用にロシア産エゾマツ材をCCA処理材と同様に液化したものをを用いた。

2.2.1 多段連続抽出手法の検討

連続的にCCA成分を除去する手法を検討するため多段連続抽出装置を導入した。装置としては、設置面積、装置コスト等から、多孔板上下動式液-液向流抽出型とした(図1)。装置の主な仕様は次の通り。型式：東京理化工機製 KF-50, 抽出方式：多孔板抽出塔による液-液向流抽出, カラム：内径50mm, 長さ1m, 総理論段数3.3段(1理論段相当高さ:33cm/段), 多孔板振とう数：50~280回/分, 原料移送用送液ポンプ送液能：10~50ml/min。装置内の接液部はガラス、テフロンコーティング材等とし、装置からの金属類の溶出が極力ないものとした。

多段連続抽出に用いる抽出溶媒は、イオン交換水とした。抽出温度条件等検討結果より、CCA処理液化物および抽出水は約50°Cに加温することとし、液化物については変性を避けるため熱媒加熱とした。

液化物はイオン交換水より比重が高いため、重液とし、図1に示した様に、抽出塔の上部より導入した。次に、加温したイオン交換水を抽出塔に注入して満水状態とし、多孔板を上下に振とうしながら、加温したCCA処理材液化物を注入した。多孔板の振とう数を120~360回/分と変化させた。

抽出前後の液化物および抽出装置より得られた水抽出部について、原子吸光分析により、クロム、銅、ヒ素濃度を測定した。

2.2.2 CCA成分除去率増加手法の検討

抽出時の温度を高めるため、抽出塔部にヒーティングケーブルを巻き付け、加温して使用した。また、抽出効率を上げるため、2.2.10の抽出装置を2台接続することとし、1台目の抽出塔の液化物出口から、内容物をポンプアップし、2台目の抽出塔液化物導入口に送入して実験を行った。抽出塔2本を直列接続することにより、理論抽出段数は合計6.6段となる。液化物およびイオン交換水の注入量は43ml/min(ポンプ目盛で5)とし、多孔板の振とう数を360回/分として、銅、クロム、ヒ素の連続的抽出を行った。

抽出前後の液化物および各段階で得られた水層部については、それぞれについて原子吸光分析により、

クロム、銅、ヒ素濃度を測定した。

2.3 液-液抽出手法による影響

2.2と同じ条件でベイツガCCA処理材を液化した。液化物は、分液漏斗によりイオン交換水で振とう抽出を行った。抽出処理は油層部について、多段連続抽出装置の理論段数にあわせて、3回繰り返した。抽出前後の液化物および各段階で得られた水層部については、原子吸光分析により、クロム、銅、ヒ素濃度を測定した。

2.4 樹脂化の検討

得られた抽出処理後液化物について樹脂化を試みた。重合剤としては、ホルムアルデヒド系重合剤として、ホルマリンおよびパラホルムアルデヒド、イソシアネート系重合剤として4,4'-ジフェニルメタンジイソシアネート(MDI)を使用した。

抽出処理後液化物はイミダゾールにより中和を行い液化物試料とした。

ホルムアルデヒド系樹脂化については、液化物試料に所定量の重合剤と混合し、オイルバス中、100°Cで1時間攪拌加熱し、樹脂化した。さらに、140°Cで熱圧し、固化させた。また、イソシアネート系樹脂化については、液化物試料に対して、MDIを添加・攪拌して樹脂化し、固化物とした。

得られた固化物等について、環境庁告示第46号(土壌溶出量試験)に基づく溶出試験を行った。また、液化物及び溶出水中の金属量を測定するため、灰化処理して原子吸光分析を行った。

3. 結果と考察

3.1 木材液化を利用したCCA処理材からの薬剤除去の検討

3.1.1 液-液抽出による除去可能性の検討

CCA処理カラマツ材についてフェノールによる液化を行ったところ、CCA処理材が、無垢のロシア産カラマツ材と同様の条件でフェノール液化できることが確認できた。そこで、得られた液化物にイオン交換水を加え、分液ロート中で振とうしたところ、上部が水層部、下部が油層部の2層に分離した。また、水層部は、黄色を呈していた。CCA薬剤の色が黄色であることから、CCA成分の抽出による着色であることが予想されたが、木材液化物の低分

子部分^{4,5)}の抽出に基づく着色の可能性もある。そこで、原子吸光分析による検討を行った。

その結果、イオン試験紙等により、水層部に銅、クロム、ヒ素の存在が確認できた。さらに、銅について原子吸光分析を行ったところ、1回目で大部分が、水層部に移動することが確認された(図2)。また3回抽出処理後の液化物の分析結果において、銅は抽出処理前に対する比率で0.4%程度しか検出されなかった。したがって、銅については水との液-液抽出により、木材液化物から速やかに除去可能であると考えられる。

3.1.2 樹種の違いによる影響の検討

富山県では、北洋材の輸入量が国内最大であり、県内の在来木造住宅の多くが北洋材を使用している。このため、県内で発生する木質廃材の大部分は北洋材を含むものとなっており、また北陸地域の在来木造住宅では、土台、根太、垂木材としてロシア産カラマツ材を使用する割合が高く、防腐処理材の多くがロシア産カラマツ材となる。このため、前節ではロシア産カラマツ材による検討を行った。しかし、全国的にはベイツガ材の使用割合が高い。そこで、ロシア産カラマツ材、エゾマツ材等と、ベイツガ材の液化条件が樹種により大きく異なるか検討した。

その結果、160℃で調製したベイツガ材、カラマツ材、エゾマツ材の木材液化物の比較において、3樹種は同程度の残渣率(約10%)であった(図3)。また、120℃での結果も同様であった。したがって、ベ

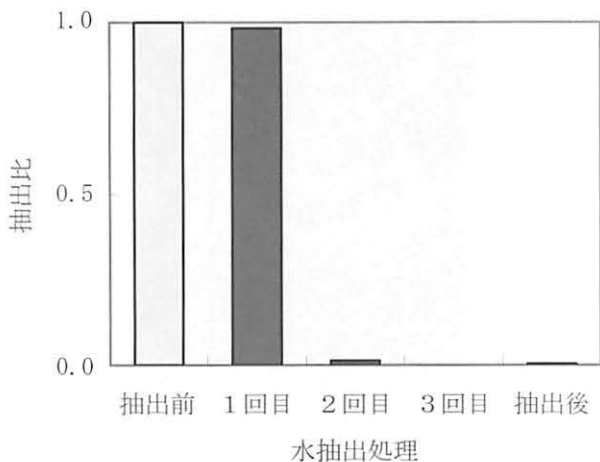


図2 CCA処理ロシア産カラマツ材液化物からの水層部への銅の抽出程度

※抽出比は水抽出前の木材液化物の銅濃度を1としたときの抽出部に検出された濃度比。抽出前と抽出後については、CCA処理材液化物の分析値。

イツガ材であっても、他の樹種と同様の条件で液化できると考えられる。

3.1.3 抽出温度条件の検討

これまでに行った実験から、抽出処理を行うことにより、木材液化物の粘度が高くなる傾向が認められた。低分子成分が除去された結果と思われるが、粘度を下げることで木材液化物の溶媒への分散性を高めることなどが、より効率よく抽出を行うためには必要になる可能性がある。一方、木材液化物は概ね熱可塑性であり、加熱することにより、粘度が下がると考えられる。そこで、分液漏斗による抽出を行った木材液化物について、粘度と温度との関係を調べた。また、3.1.2の結果より液化状態に対する樹種等の影響は少ないと考えられたため、実験に伴う重金属含有廃液の排出量の減量を図るため、試料は、CCA未処理のロシア産エゾマツを用いた。

その結果、3回水抽出処理したフェノール液化物について、温度を上げることで粘度が低下することが確認できた(図4)。この結果より、抽出終了時まで粘度を流動性が良好と思われる500mPa・s程度以下とするためには、液温を70℃以上とする必要があることが示唆された。

また水抽出未処理の液化物についても、同様に残渣除去して測定したところ、温度上昇に伴い、130mPa・s程度から、30mPa・s程度に粘度の低下が認められた。

ただし、今回の残渣量測定においては、アセトンにより溶解、ろ過した後に、エバポレータにより溶

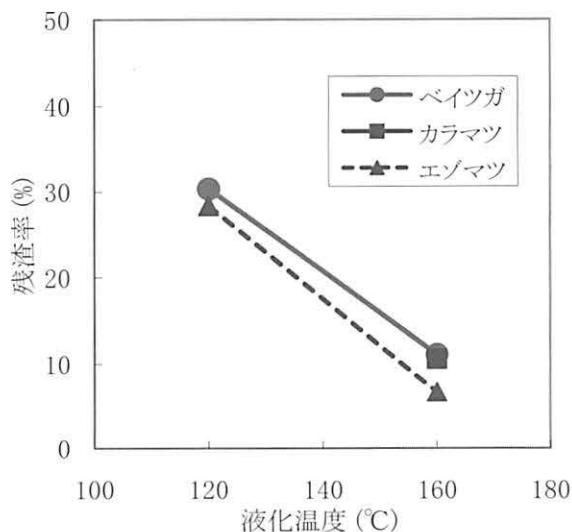


図3 樹種による液化程度の比較

※木粉：フェノール比1：3

剤を留去するという行程をとったため、木材液化物の低沸点成分の留去、加熱による再縮合等が生じ、分析試料とした残渣除去液化物は、通常の液化物よりも、粘度が高くなっている可能性がある。

本実験条件においては、抽出過程の液温を上げることで、木材液化物の粘度が低下することが確認できた。したがって加温することで、振とうによる抽出効率が高くなる可能性がある。しかしながら、抽出過程における過度の加熱は液化物の再縮合等を招くおそれがあり、さらに適当な条件の検討が必要である。

3.2 多段連続抽出装置によるCCA成分抽出の検討

3.2.1 多段連続抽出手法の検討

装置の稼働条件を検討するため、加温したエゾマツ材液化物をポンプにより装置内に連続送入した。

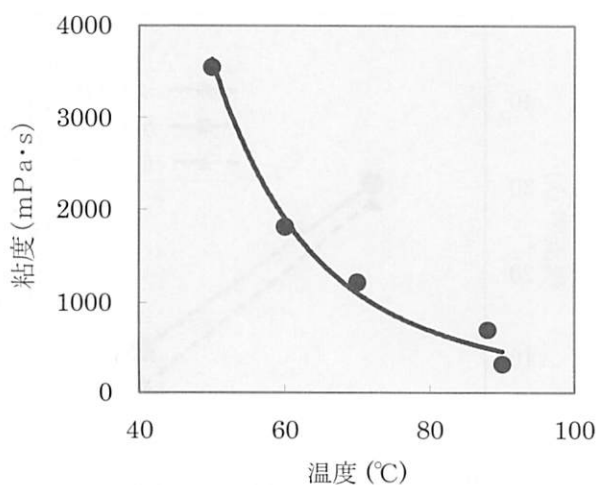
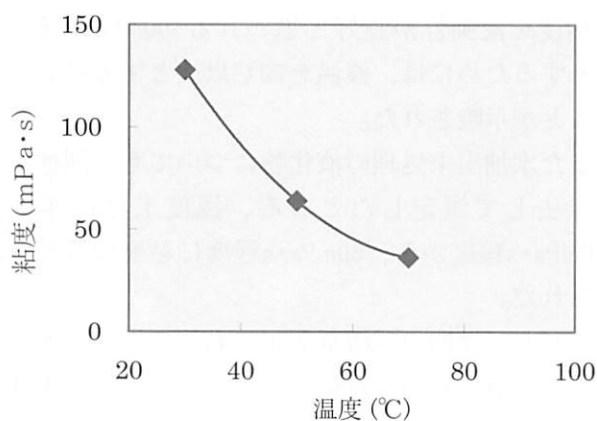


図4 水抽出処理前後の液化物の粘度

※上:抽出処理前(残渣除去液化物)、下:3回水抽出処理液化物。木粉:フェノール=1:5, 160°C, 30分

その結果、液化物を送入中に、多孔板を上下に振動させると、送入している液化物が微粒子状になり、これが上下に振とうされながら沈降していった(図5)。また、処理中に装置から排出された抽出溶媒にフェノール臭が認められた。したがって、少なくとも遊離フェノールについては抽出処理が進行していることが予想された。

そこで、次に、CCA処理材液化物を連続送入した。そして、多孔板の振とう数を変化させて抽出量を測定した。その結果、連続的に液化物および水を送入する条件下で、ベイツガCCA処理材のフェノール液化物から、銅、クロム、ヒ素が水抽出されることを確認できた。特にクロムは、抽出前濃度に対する残存率が9%となった(図6)。

今回、抽出効率を上げるためには多孔板の振動数を多くした方が良くと予想をした。しかしながら、

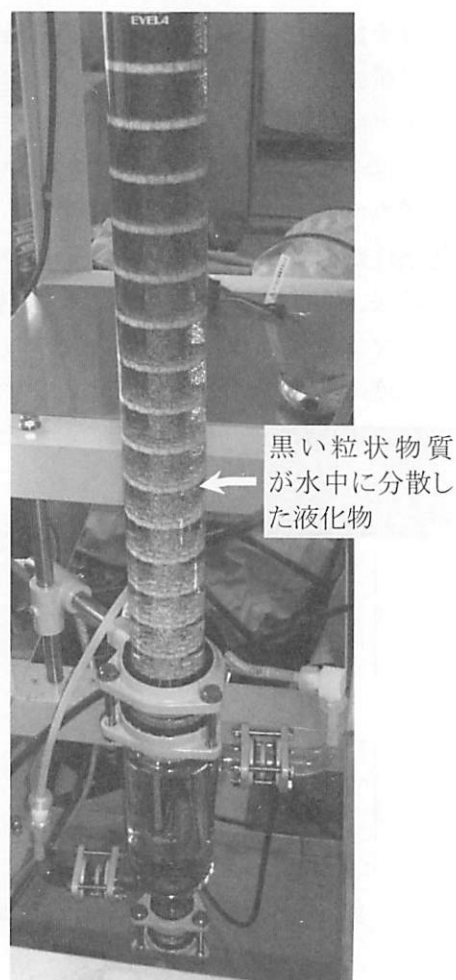


図5 多段連続抽出装置による抽出の様子(抽出塔下部)

※内部の白い板状のものが多孔板。これを上下に振とうさせることで抽出処理を行う。管内部の溶媒中に分散した黒い粒状物質が液化物。

銅成分については振とう数の上昇に従い若干抽出量が上がるが、今回の実験条件では、多孔板の振とう

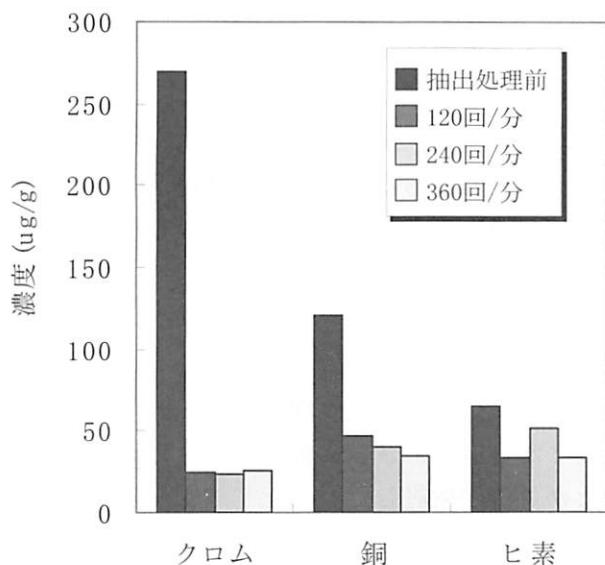


図6 多段連続抽出装置によるCCA処理材液化物抽出処理前後の金属濃度 (多孔板振とう数との関係)

※試料はベイツガCCA処理材。試料液化条件; 試料木粉:フェノール=1:5, 160℃, 30分。抽出処理前の値は、試料液化物の分析値

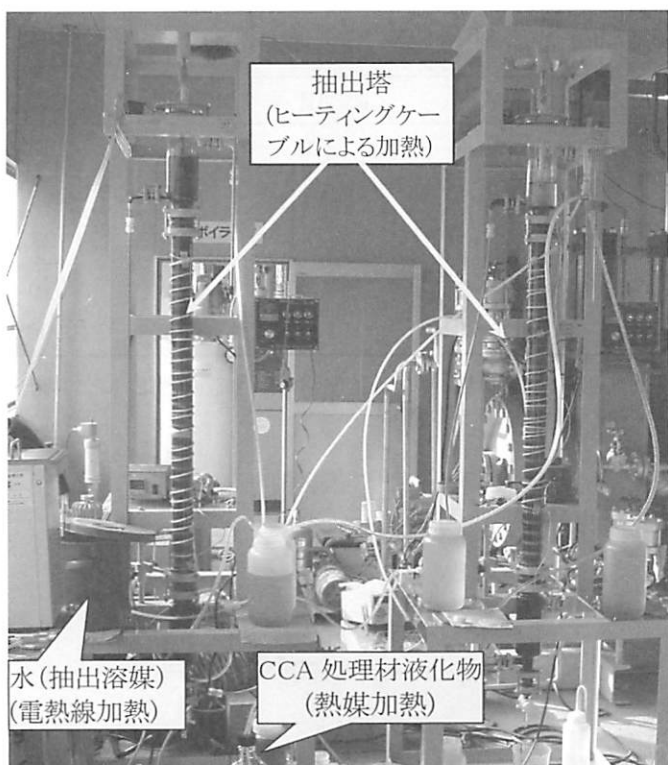


図7 多段連続抽出装置

※抽出装置を2台接続して、ヒーティングケーブルを装着した状態

数はCCA成分の抽出効率にあまり影響がない様である。

3.2.2 CCA成分除去率増加手法の検討

多段連続抽出装置により、CCA成分の除去処理が可能なが示された。しかし、抽出処理中にガラス抽出塔の表面温度を測定したところ、約40℃であったことから、液化物等が抽出塔内を通過中に液温が下がっていると考えられる。3.1.3等の結果より、抽出過程の液温を上げることで液化物の粘度が低下し、抽出塔内での液化物の水中への分散性が向上する可能性がある。そこで、多段連続抽出装置の抽出塔をヒーティングケーブルで加熱することとした(図7)。

これにより、抽出塔のガラス表面温度は70℃程度まで上昇したが、抽出塔内(抽出塔上部)の水温は抽出処理中、1番目、2番目の抽出塔でそれぞれ35℃程度、45℃程度を保った。極度の加熱は抽出塔の破壊等を引き起こす可能性があるため、今回はこの条件で実験を行うこととした。

その結果、連続的に液化物および水を送入する条件下で、ベイツガCCA処理材のフェノール液化物から、銅、クロム、ヒ素が除去され、抽出温度を高めることで、3.2.1の結果よりも、CCAの除去率が向上した(図8)。CCA処理木材からシュウ酸をキレート剤として用いた抽出で、温度を75℃としたときに銅、クロム、ヒ素の抽出効率が高くなると

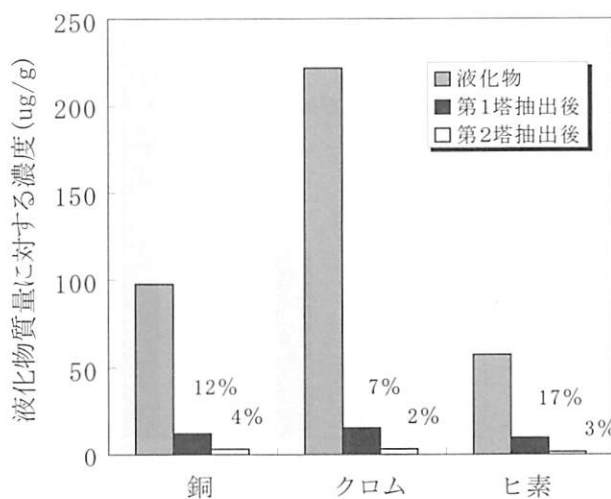


図8 ベイツガCCA処理材よりの金属成分抽出量 (抽出液温約40℃)

※グラフ中の百分率は抽出処理前液化物に対する残存率。液化条件; 木粉:フェノール=1:5, 160℃

いう報告がある⁶⁾。今回の実験ではキレート剤は使用していないが、リグニン分解・反応物がキレートとして働いている可能性もあり、今後の検討が必要と思われる。

今回の実験では、銅、クロム、ヒ素の何れの場合も抽出段数が進むと残存金属濃度が減少した。1番目の抽出塔により処理した後の木材液化物中の銅、クロム、ヒ素の残存率は7~17%であったが、2番目の抽出塔による処理後にはそれぞれ、4%、2%、3%の残存率と、最終的にCCA処理材液化物から9割以上のCCA各成分を除去することができた(図8)。

3.3 液-液抽出手法による影響

3.2.1のCCA処理ベイツガ材についての多段連続抽出装置による実験結果(図6)では、銅に比べてクロムの除去割合が高くなった。一方、ロシア産カラマツ材のCCA処理材を使用した0の結果では、銅の抽出率がクロムよりかなり高い傾向が認められた。これらのことが、多段連続抽出装置という抽出手法の違いに由来するものか検討するため、分液漏斗による振とう抽出を行った。

その結果、CCA処理ベイツガ材の分液漏斗抽出において、未抽出液化物に対するクロム、銅の残存割合が、それぞれ12%、44%となり、多段連続抽出

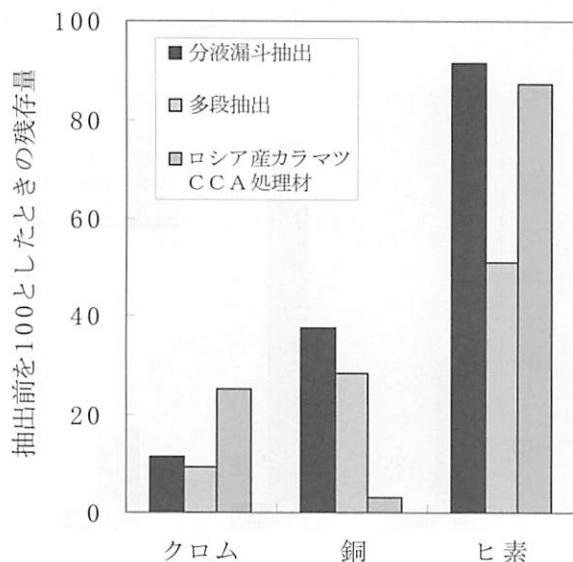


図9 抽出方法等による抽出量の違い

※分析漏斗抽出:油層部3回抽出。多段抽出:抽出塔1本(多孔板振とう数 360 回/分)による抽出。ロシア産カラマツCCA処理材:CCA2号処理材の分液漏斗による油層部3回抽出。CCA処理材液化条件; 木粉:フェノール=1:5, 160°C, 30 分。

装置による結果と同様に、クロムの抽出率の方が高くなる傾向が認められた(図9)。したがって、手法による差ではないと考えられる。3.1.1の供試材(ロシア産カラマツCCA処理材)は、CCA2号による処理を行った。一方、今回の供試材はCCA1号による処理と考えられる。このCCA処理の違いが、クロム、銅、ヒ素の抽出状態に変化を与えている可能性がある。また、供試材の経年数の違いや樹種の違いによる影響の可能性もあり、さらなる検討が必要と思われる。

3.4 樹脂化の検討

得られたCCA除去処理液化物を樹脂化、固化することが可能か、さらに含有成分等を安定的化することが可能か検討した。

CCA除去処理液化物に、重合剤を添加、加熱反応させた後の樹脂化物の粘度を表1に示す。重合剤としてMDIを使用した場合、今回の条件では測定限界粘度(10,000mPa・s以上)であった。また、これらを熱圧することにより、固化物にできることが確認された(図10)。

表1 樹脂化物の粘度

添加した重合剤		樹脂化物の粘度 (mPa・s)	
薬剤名	添加比率	30°C時	40°C時
ホルマリン	1.0	4860	1367
ホルマリン	0.4	1117	330
パラホルムアルデヒド	0.3	5436	2107
パラホルムアルデヒド	0.2	750	346
MDI	1.0	>10000	>10000

※重合剤の添加比率は、樹脂化物に対する重量比。MDI樹脂化物の粘度は測定限界以上。

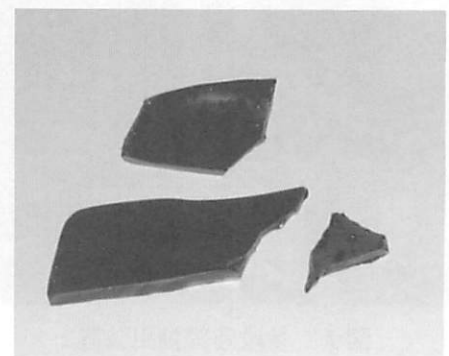


図10 CCA除去処理液化物とパラホルムアルデヒドによる樹脂化固化物

得られた固化物について溶出試験を行ったところ、ホルムアルデヒドによる固化物の溶出試験検液（浸出水）中に銅、クロム、ヒ素の濃度は検出されなかった（表2）。MDIによる固化物については、ヒ素のみが 0.6ppm 検出された。

したがって、樹脂化、固化条件が適切であれば、これを原料とした製品が使用後に埋め立て等により廃棄処理される場合にも、残存CCA成分は容易に溶出しないと考えられる。

表2 固化物の溶出試験

添加した重合剤		溶出量 (mg/l)		
薬剤名	添加比率	銅	クロム	ヒ素
パラホルムアルデヒド	0.3	0.0	0.0	0.0
パラホルムアルデヒド	0.2	0.0	0.0	0.0
MDI	1	0.0	0.0	0.6

4. まとめ

多段連続抽出装置によるCCA成分を除去する方法を検討した結果、連続的に液化物および水を送入する条件下で、ベイツガCCA処理材のフェノール液化物から、銅、クロム、ヒ素が除去され、抽出温度を高めることでCCAの除去率を向上させることができた。また、条件により、CCA処理材液化物から9割以上のCCA成分を除去できることが確認された。

固化・安定化処理手法の検討した結果、今回の条件で得られたCCA除去液化物をホルムアルデヒド

類やイソシアネート類で樹脂化して固化することが可能なことを確認した。さらに土壌溶出試験を行ったところ、固化条件が適切であれば、樹脂化物に残存する銅、クロム、ヒ素がほぼ溶出しないことが確認できた。

謝辞

本研究の一部は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境技術研究開発事業「建築廃材・ガラス等リサイクル技術開発/建築廃材リサイクル技術開発/建築解体木材の品位に対応したリサイクル技術の研究開発」(平成13, 16~17年度)によるものです。ここに記して謝意を表します。

引用文献

- 1) 鈴木聡、鷲岡雅：北洋材等廃材の液化と接着剤化, 富山県林業技術センター 研究報告, 15, 41-49 (2002).
- 2) 鈴木聡, 藤沢泰士, 鷲岡雅：北洋材廃材の液化と発泡断熱ボード化, 富山林技セ研報, 18, 36-42 (2005).
- 3) 高野了一：とやま林業木材技術Q & A, 富山県林業技術センター振興協議会編, 富山県林業技術センター振興協議会, 富山, 2000, pp.10-11.
- 4) 白石信夫：木材の液化と二, 三の応用, 油化学, 46, 1227-1236 (1997).
- 5) 山田竜彦：木材の液化技術の開発と反応機構の解明, 木材工業, 54, 2-7 (1999).
- 6) 柿谷朋, 梶本武志, 畑俊充, 今村祐嗣：保存処理木材の環境へのインパクト国際シンポジウム 生存圏における安全で健全な環境を実現するために, 京都, 2005, pp.23-24.

Summary

Abundant wood wastes, such as wood materials from disassemblies of buildings, are waiting effective utilization. The chemical liquefaction is one of the powerful methods for the utilization of wood wastes such as above. However, the poisonous metal may be found in the wood waste, such as chromated copper arsenate (CCA) treated wood sills. Therefore, the chemical liquefaction was applied to the separation of CCA component from CCA-treated wood.

In the results, CCA components (copper, chromium, and arsenic) could be continuously extracted from the phenol liquefied CCA-treated wood by the reciprocating-plate column system multistage extractor, and CCA components were removed 90% or more from liquefied CCA-treated wood.

富山県農林水産総合技術センター 木材研究所研究報告

2009年3月 No.1

発行日 平成21年3月23日

発行 富山県農林水産総合技術センター 木材研究所
Forest Products Research Institute
Toyama Prefectural Agricultural, Forestry & Fisheries Research Center

〒939-0311 射水市黒河新 4940
4940 Kurokawashin, Imizu-shi, Toyama
939-0311, JAPAN
TEL (0766) 56 - 2915 FAX (0766) 56 - 2816

編集 富山県農林水産総合技術センター 木材研究所

印刷 中村印刷工業株式会社
〒930-0039 富山市東町2丁目3-22
TEL (076) 424 - 4616

Bulletin of the Forest Products Research Institute, Toyama Prefectural Agricultural, Forestry & Fisheries Research Center

No. 1 March 2009

Current Use of Sugi Timber in Toyama Prefecture Hiroshi NAKATANI, Tadayuki SAKAI, Masuo HASEGAWA, Kazuhiro SHIBA	1
Damage to Wooden Houses by the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 Satomi SONODA, Hiroshi NAKATANI, Masuo HASEGAWA, Kazuhiro SHIBA, Masanori HATA	6
Development of Highly Durable Wooden Cladding from Russian Larix sp. Masuo HASEGAWA, Hiroshi NAKATANI, Tsuruo SHIMAZAKI	18
Investigation of Wooden Footbridge Served in 15 Years Hiroshi KURISAKI, Hiroshi NAKATANI	29
Recycle of Wood Waste from Disassemblies of Buildings by Wood Liquefaction I. Reprocess of CCA-treated wood waste Satoshi SUZUKI, Yasushi FUJISAWA, Hiroshi NAKATANI, Rihei TAKAHASHI	38

Forest Products Research Institute
Toyama Prefectural Agricultural, Forestry & Fisheries Research Center

<http://www.pref.toyama.jp/branches/1661/mokuzai/index.html>