

ISSN 1346-7328
国総研資料 第980号
ISSN 0286-4630
建築研究資料 第184号
平成29年 7月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of

National Institute for Land and Infrastructure Management

No.980

July 2017

建築研究資料

Building Research Data

No.184

July 2017

平成28年（2016年）12月22日に発生した新潟県糸魚川市
における大規模火災に係る建物被害調査報告書

竹谷 修一・樋本 圭佑・水上 点晴・鍵屋 浩司・岩見 達也

Report of the Survey on the Building Damage by the Large Fire Occurred in
Itoigawa City, Niigata Prefecture on December 22, 2016

Shuichi TAKEYA, Keisuke HIMOTO, Tensei MIZUKAMI, Koji KAGIYA, Tatsuya IWAMI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国立研究開発法人 建築研究所

Building Research Institute

National Research and Development Agency, Japan

国土技術政策総合研究所資料

第 980 号 2017 年 7 月

建 築 研 究 資 料

第 184 号 2017 年 7 月

平成 28 年（2016 年）12 月 22 日に発生した新潟県糸魚川市に
おける大規模火災に係る建物被害調査報告書

竹谷 修一	*
樋本 圭佑	**
水上 点晴	**
鍵屋 浩司	***
岩見 達也	****

概要

平成 28 年 12 月 22 日に発生した新潟県糸魚川市における大規模火災においては、多数の建物に火災被害が生じた。国土技術政策総合研究所及び建築研究所は、国土交通省住宅局の派遣要請を受け、当該火災による建物の被害について 1 次調査を平成 28 年 12 月 25～26 日に実施し、その結果を速報として平成 29 年 1 月 13 日に公表した。本資料は、1 次調査結果に加え、2 次調査として行った、現地消防本部等へのヒアリング、瓦屋根を模した試験体への火の粉による着火実験、市街地火災シミュレーションによる延焼状況の推定を行った結果をとりまとめたものである。

キーワード： 糸魚川市大規模火災、建築物被害、現地調査、火災実験、飛び火、市街地火災シミュレーション

*	国土交通省国土技術政策総合研究所都市研究部都市防災研究室長
**	国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部防火基準研究室主任研究官
***	国立研究開発法人建築研究所防火研究グループ上席研究員
****	国立研究開発法人建築研究所住宅・都市研究グループ主任研究員

Report of the Survey on the Building Damage by the Large Fire
Occurred in Itoigawa City, Niigata Prefecture on December 22, 2016

Shuichi TAKEYA	*
Keisuke HIMOTO	**
Tensei MIZUKAMI	**
Koji KAGIYA	***
Tatsuya IWAMI	****

Synopsis

The fire occurred on December 22, 2016 in Itoigawa City, Niigata Prefecture, caused damage of burnout to many buildings. In response to a request from the Housing Bureau of MLIT, the NILIM and the BRI conducted a survey on the damage of buildings as a primary survey, on December 25-26, 2016, in order to obtain basic information contributing to the investigation of damage caused by the fire, and the result was issued as a preliminary report on January 13, 2017.

In addition to the results of the primary survey, this report summarizes the results of an interview survey on the local fire department headquarters etc., ignition experiments by firebrand on tiled roofs, and causal analysis of fire spread by city fire simulation, as a secondary survey.

Key Words : Itoigawa City Fire, Building Damage, Field Survey, Fire Experiment, Firebrand, City Fire Simulation

*	Head, Urban Disaster Mitigation Division, Urban Planning Department, NILIM
**	Senior Researcher, Fire Standards Division, Building Department, NILIM
***	Chief Research Engineer, Department of Fire Engineering, Building Research Institute, National Research and Development Agency, Japan
****	Senior Research Engineer, Department of Housing and Urban Planning, Building Research Institute, National Research and Development Agency, Japan

はしがき

新潟県糸魚川市で平成 28 年 12 月 22 日 10 時 20 分頃に発生した火災では、焼損棟数 147 棟、焼損延べ面積約 30,000m²に及ぶ被害がもたらされました。

国土技術政策総合研究所及び建築研究所は、国土交通省住宅局の派遣要請を受け、当該火災による建物の被害について、その延焼拡大及び焼け止まり要因等の検討に資する基本的な情報を得るために、1 次調査として平成 28 年 12 月 25～26 日に現地において建物の被害状況調査を実施し、その結果を平成 29 年 1 月 13 日に速報として公表しました。

その後、平成 29 年 3 月 6～7 日に現地消防本部等へのヒアリングを中心とした 2 次調査を実施しました。併せて、詳細な延焼状況を把握するため火災時に住民や報道機関、公的機関によって撮影された映像・画像を収集・分析し、建物ごとの延焼時刻や飛び火による出火地点などの特定を行いました。また、今回の火災では飛び火による延焼拡大が多数発生したことがこれらの調査を通じて確認されたことから、焼損区域で多く見られた瓦屋根を模した試験体への火の粉による出火実験、焼損区域における市街地火災シミュレーションによる延焼状況の推定を行いました。

本報告は、1 次調査をとりまとめて公表した速報に加え、2 次調査、映像・画像等に基づく詳細な延焼状況の把握、火災実験及びシミュレーションによる検討結果をとりまとめたものです。

今後、市街地における大規模火災への拡大要因の解明と対策に資するよう、本報告を踏まえてより一層の検討を進めていく予定です。

最後に、本火災で被災された方々に心からお見舞いを申し上げますとともに、被災地の一刻も早い復興を祈念いたします。また、本調査を実施するにあたり、被災直後の混乱した状況下、あるいは復興・生活再建に向けて大変お忙しい中、被災建築物の調査に御協力いただいた方々、関係資料を御提供いただいた方々に対し、ここに深謝申し上げます。

平成 29 年 7 月

国土交通省国土技術政策総合研究所	副所長	木下 一也
国立研究開発法人建築研究所	理事長	緑川 光正

本報告書は、国土交通省国土技術政策総合研究所及び
国立研究開発法人建築研究所のホームページ
(<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0980.htm>、
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/184/index.html>)
上で公表しています。

目次

はしがき

1. はじめに	1
1. 1. 調査の目的	1
1. 2. 調査概要	1
2. 火災及び地区の概要	4
2. 1. 火災の状況	4
2. 2. 気象状況	5
2. 3. 地区の状況	6
3. 火災の被害調査	8
3. 1. 火災被害の様子	8
3. 2. 焼け止まり線の様子	12
3. 3. 個別建物の調査結果	27
4. 延焼動態	41
4. 1. 映像・画像分析等に基づく延焼動態の推定	41
4. 1. 1. 映像・画像分析の対象	41
4. 1. 2. 映像・画像分析等に基づく延焼動態	41
4. 1. 3. 時刻別の火災状況	43
4. 2. 飛び火の状況	54
4. 2. 1. 飛び火が確認された建物の状況	54
4. 2. 2. 火の粉	58
5. 飛び火に対する抵抗性の検証	62
5. 1. 瓦屋根仕様調査	62
5. 2. 木片散布実験	65
5. 2. 1. 実験条件	66
5. 2. 2. 結果と考察	67
5. 3. 火の粉による出火実験	71
5. 3. 1. 実験条件	71
5. 3. 2. 結果と考察	72
6. 市街地火災シミュレーションによる延焼性状の確認	76
6. 1. シミュレーターの概要	76
6. 2. シミュレーションに用いる再現市街地データ	78
6. 3. 計算条件	79
6. 4. 計算結果と考察	80
7. おわりに	85
参考文献	86

執筆分担

1. はじめに

竹谷修一 国土技術政策総合研究所 都市研究部 都市防災研究室長

2. 火災及び地区の概要

竹谷修一 国土技術政策総合研究所 都市研究部 都市防災研究室長

鍵屋浩司 建築研究所 防火研究グループ 上席研究員

3. 火災の被害調査

竹谷修一 国土技術政策総合研究所 都市研究部 都市防災研究室長

樋本圭佑 国土技術政策総合研究所 建築研究部 防火基準研究室 主任研究官

水上点晴 国土技術政策総合研究所 建築研究部 防火基準研究室 主任研究官

鍵屋浩司 建築研究所 防火研究グループ 上席研究員

岩見達也 建築研究所 住宅・都市研究グループ 主任研究員

4. 延焼動態

鍵屋浩司 建築研究所 防火研究グループ 上席研究員

岩見達也 建築研究所 住宅・都市研究グループ 主任研究員

5. 飛び火に対する抵抗性の検証

水上点晴 国土技術政策総合研究所 建築研究部 防火基準研究室 主任研究官

岩見達也 建築研究所 住宅・都市研究グループ 主任研究員

6. 市街地火災シミュレーションによる延焼性状の確認

岩見達也 建築研究所 住宅・都市研究グループ 主任研究員

7. おわりに

竹谷修一 国土技術政策総合研究所 都市研究部 都市防災研究室長

※所属は執筆時点（平成 29 年 7 月）のもの。異動の理由により本文中の調査の記述とは一致していない場合がある。

1. はじめに

1. 1. 調査の目的

新潟県糸魚川市で平成 28 年 12 月 22 日 10 時 20 分頃に出火した火災では、焼損棟数 147 棟、焼損延べ床面積約 30,000m²に及ぶ被害¹⁾がもたらされ、地震火災以外では比較的規模が大きな火災となった。

国土交通省国土技術政策総合研究所及び国立研究開発法人建築研究所は、国土交通省住宅局の派遣要請を受け、当該火災による建物の被害について、その延焼拡大及び焼け止まり要因等の検討に資する基本的な情報を得るために、1 次調査として平成 28 年 12 月 25～26 日に現地において建物の被害状況調査を実施し、その結果を平成 29 年 1 月 13 日に速報²⁾として公表した。

その後、2 次調査として、平成 29 年 3 月 6～7 日に現地消防本部及び住民へのヒアリング調査等を実施した。併せて、今回の火災では飛び火による延焼拡大が見受けられたことから、火災映像記録等から延焼動態図の作成及び飛び火があったと見られる建物の特定を行うとともに、火の粉が瓦の隙間から入って屋根下地が燃えるのかどうかを確認するために、焼損区域で多く見られた瓦屋根を模した試験体への火の粉による出火実験、さらに、現行の法令で求めている防火性能を確保した場合の延焼性状を把握するために、焼損区域における市街地火災シミュレーションを行った。

本報告は、速報として公表した報告書をもとにしつつ、2 次調査として行った、火災映像分析、火災実験及び市街地火災シミュレーションによる検討結果をとりまとめたものである。

1. 2. 調査概要

<1 次調査>

○調査者

国土交通省国土技術政策総合研究所

都市研究部都市防災研究室 室長 竹谷修一 (25 日のみ)

建築研究部防火基準研究室 主任研究官 樋本圭佑

建築研究部防火基準研究室 主任研究官 水上点晴 (25 日のみ)

国立研究開発法人建築研究所

防火研究グループ 主任研究員 鍵屋浩司

住宅・都市研究グループ 主任研究員 岩見達也

○調査行程

平成 28 年 12 月 25 日

終日 焼損区域内現地調査及び住民等へのヒアリング

平成 28 年 12 月 26 日

午前 新潟県及び糸魚川市へのヒアリング

午後 焼損区域内現地調査及び住民等へのヒアリング

<2次調査>

○調査者

国土交通省国土技術政策総合研究所

建築研究部防火基準研究室 主任研究官 樋本圭佑

建築研究部防火基準研究室 主任研究官 水上点晴

国立研究開発法人建築研究所

防火研究グループ 主任研究員 鍵屋浩司

住宅・都市研究グループ 主任研究員 岩見達也

○調査行程

平成 29 年 3 月 6 日

午後 焼損区域内現地調査及び住民等へのヒアリング（1次調査の補完）

平成 29 年 3 月 7 日

午前 焼損区域内現地調査及び住民等へのヒアリング（1次調査の補完）

午後 糸魚川市消防本部へのヒアリング、焼損区域内現地調査及び住民等へのヒアリング
（1次調査の補完）

<火災時の映像・画像等に基づく延焼状況の推定>

（「4. 延焼動態」において詳細を記述）

○概要

住民や報道機関、公的機関によって撮影された火災当時の映像・画像の収集・分析を行い、各建物への延焼時刻や延焼方向の推定するとともに、時刻別の建物別の燃焼状況の推定結果に基づいて、飛び火した可能性のある建物の特定を行った。

<飛び火に対する抵抗性の検証実験>

（「5. 飛び火に対する抵抗性の検証」において詳細を記述）

○実験概要

飛び火に対する抵抗性（着火のし難さ）の検証とその延焼メカニズムを解明するため、当地に昭和初期に建設された建物を模した瓦屋根（以下、「昭和初期仕様」という。）の模型試験体及び現代の瓦屋根標準施工に基づく瓦屋根（以下、「現代仕様」という。）の模型試験体の2種類を対象に、瓦の隙間に侵入する火の粉の形状・大きさを確認する木片散布実験、火の粉が屋根下へ着床し燃え抜けるのかを確認する飛び火実験を行った。

○実験日・実施場所

- ・昭和初期仕様の模型試験体を対象とした実験

実験日：平成 29 年 3 月 22～24 日

場所：国立研究開発法人建築研究所 火災風洞実験棟

- ・現代仕様の模型試験体を対象とした実験

実験日：平成 29 年 5 月 11～12 日

場所：国立研究開発法人建築研究所 火災風洞実験棟

<市街地火災シミュレーションによる延焼性状の推定>

(「6. 市街地火災シミュレーションによる延焼性状の確認」において詳細を記述)

○概要

現行の法令で求めている防火性能を確保した場合の延焼性状を把握するために、国土技術政策総合研究所と建築研究所が開発した市街地火災シミュレーションプログラムにおいて、焼損区域及び周辺建物を再現した市街地データ、裸木造建築物の全てを防火構造建築物に変更した市街地データ、さらに全ての防火構造建築物の屋根の仕様を現代仕様とした市街地データを用いて、それぞれ、今回の火災で火元となった建物を出火点とする設定で実行し、延焼性状の比較・考察を行った。

2. 火災及び地区の概要

2. 1. 火災の状況

糸魚川市駅北大火対策本部資料¹⁾及び消防庁報告書³⁾によれば、火災等の状況は下記のとおりである。

(1) 日時

出火 平成 28 年 12 月 22 日 (木) 10 時 20 分頃
 覚知 平成 28 年 12 月 22 日 (木) 10 時 28 分
 鎮圧 平成 28 年 12 月 22 日 (木) 20 時 50 分
 鎮火 平成 28 年 12 月 23 日 (金) 16 時 30 分

(2) 出火場所 糸魚川市大町 1 丁目

(3) 焼損棟数 147 棟 (全焼 120 棟 半焼 5 棟 部分焼 22 棟)

(4) 焼損区域面積 約 40,000m²

(5) 焼損延べ床面積 30,412m²

(6) 負傷者 17 人 (一般 2 人 消防団員 15 人) ※中等症 1 人、軽症 16 人

(7) 被災者状況 145 世帯、260 人、56 事業所

(8) 避難状況

避難勧告発令 平成 28 年 12 月 22 日(木)12 時 22 分 本町、大町 2 丁目 273 世帯 586 人
 16 時 30 分 大町 1 丁目 90 世帯 158 人
 合計 363 世帯 744 人

避難勧告解除 平成 28 年 12 月 24 日(土)16 時 00 分

(9) 避難所の開設状況

平成28年12月22日 (木) 11時35分 糸魚川地区公民館
 15時50分 糸魚川市民会館
 20時30分 糸魚川市民会館、上刈会館、ホワイトクリフ
 12月24日 (土) 14時30分 上刈会館、ホワイトクリフ
 12月28日 (水) 7時30分 上乃屋旅館、ホテルジオパーク
 平成29年 1月 5日 (土) 12時00分 避難所閉鎖

(10) 消火等体制 (常備消防・消防団)

延べ 消防車等 235 台 活動人員 1,887 人

【内訳】

	消防車等	活動人員
平成 28 年 12 月 22 日 (木)	122 台	997 人
糸魚川市消防本部	16 台	74 人
糸魚川市消防団	73 台	760 人
新潟県応援消防隊 (17 消防本部)	29 台	132 人
北アルプス消防 (長野県)	2 台	8 人
新川消防 (富山県)	2 台	23 人
平成 28 年 12 月 23 日 (金)	113 台	890 人
糸魚川市消防本部	16 台	75 人
糸魚川市消防団	68 台	679 人
新潟県応援消防隊 (17 消防本部)	29 台	137 人

2. 2. 気象状況

焼損区域最寄りの気象庁のアメダス観測所（糸魚川）によれば、火災当日の日中の気温は 16.8℃～20.4℃、風向と風速は図 2.2.1 のように風向はほぼ南で、火災覚知から 19 時までの間、風速は 10m/s 前後（10 分間平均値）、最大瞬間風速は 20m/s 前後で推移しており、12 時 10 分には日最大値 24.2m/s（風向は南）を記録している。なお、アメダス観測所は焼損区域の東、約 1,300m の地点（図 2.2.2）にあり、風速計（風車型風速計）の地上高さは 10m である。

また、焼損区域から約 1,700m 南西にある糸魚川市消防本部で観測された風向・風速の推移を図 2.2.3 に示す。風速計（風車型風速計）の地上高さは 17.8m である。こちらも 19 時までの間は風速 10m/s 前後（毎正時前の 10 分間平均値）、最大瞬間風速は 20m/s 前後で推移しており、正午に日最大値 27.2m/s を記録した。風向は火災覚知から鎮圧まで南であった。

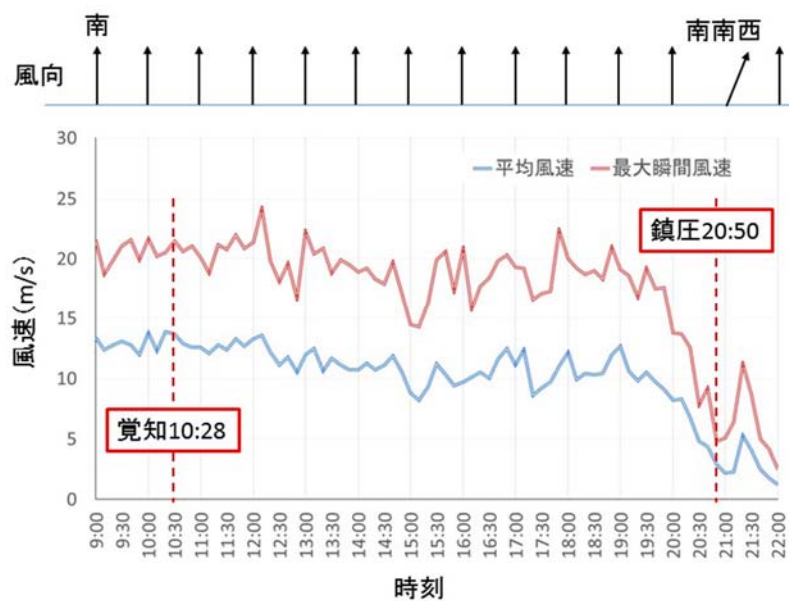


図 2.2.1 アメダス観測地点（糸魚川）における火災当日の風速と風向



図 2.2.2 焼損区域と気象観測点との位置関係

（国土地理院の電子地形図に糸魚川市公表資料⁴⁾の糸魚川市駅北大火の焼損区域等の情報を追記）

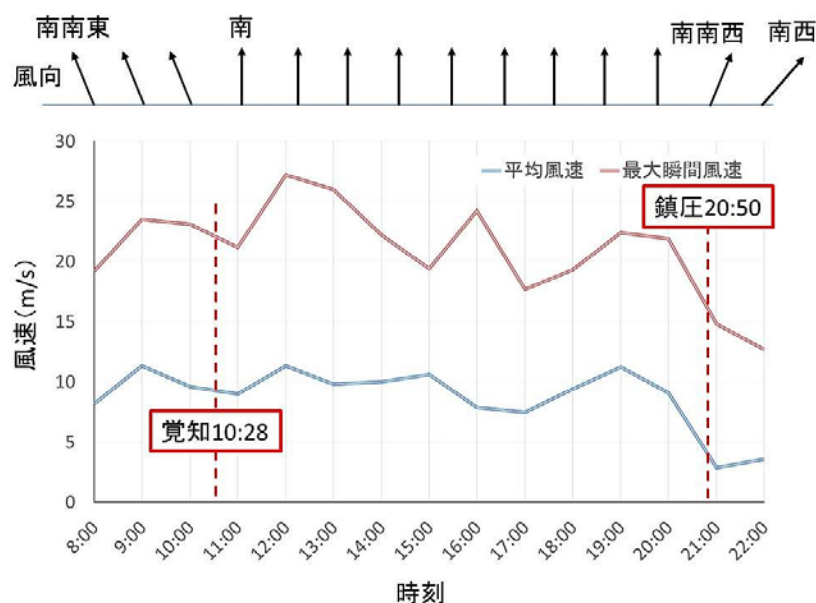


図 2.2.3 糸魚川市消防本部における火災当日の風速と風向

2. 3. 地区の状況

糸魚川市は昭和 35 年（1960 年）に今回の焼損区域を含む 26.89ha（268,900m²）を準防火地域に指定している。さらに、昭和 43 年（1968 年）には既存準防火地域東側の近隣商業地域を新たに準防火地域に追加指定し、32.2ha（322,000m²）となって現在に至っている（図 2.3.1）。

糸魚川市で発生した過去の火災のうち、代表的なものとしては明治 44 年（1911 年）、昭和 3 年（1928 年）及び 7 年（1932 年）の大火があげられる。このうち、昭和 7 年に強風下において発生した大火では、今回の焼損区域を含む広範な地区において延焼しており、その後復興に際して、道路の拡幅が行われている。

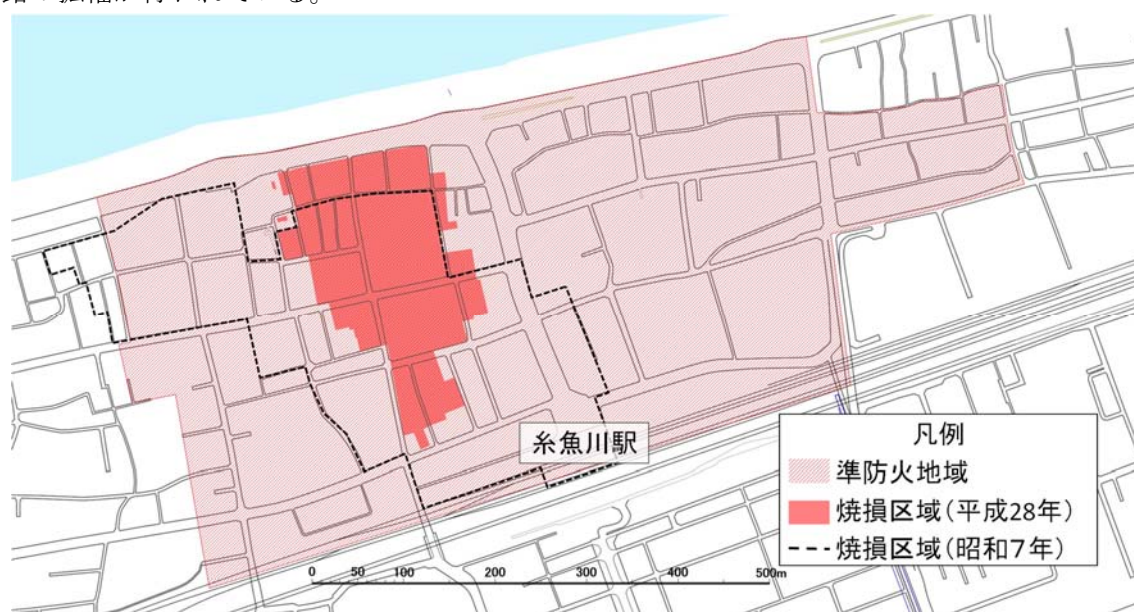


図 2.3.1 糸魚川市における準防火地域指定状況と焼損区域（昭和 7 年、平成 28 年）

（国土地理院基盤地図情報に糸魚川市資料⁴⁾から準防火地域を加筆。昭和7年の焼損区域は糸魚川市資料⁵⁾をもとにおおよその範囲を示したものである。）

また、焼損区域周辺の建物を示したものが写真 2.3.1 及び 2.3.2 である。外壁は金属板を張っているものの相当程度古い建築年代だと推定され、木現しの建物も散見される。焼損区域内の建物については、その多くが焼失していることから、写真等から判断すると、当該地域では古い建物が多く、準防火地域の木造建物に対して求められる外壁の防火構造や開口部における防火設備の設置などの対策が行われていない建物が混在していたのが実情だと推定される。なお、推定結果については、6. 2. シミュレーションに用いる再現市街地データにおいて述べる。



写真 2.3.1 焼損区域周辺の建物



写真 2.3.2 焼損区域周辺の建物

3. 火災の被害調査

3. 1. 火災被害の様子

焼損区域の範囲と調査対象建物の位置を図 3.1.1 に示す。焼損区域は、糸魚川市公表資料 4)に示された大火被災エリアを基に記載している。焼損区域の南端近く、仲道線に面する建物で発生した火災は、強い南風にあおられながら延焼し、市街地の北端である国道 8 号に到達している。焼損区域は、南北方向に最大で約 300m、東西方向に最大で約 200m となっている。

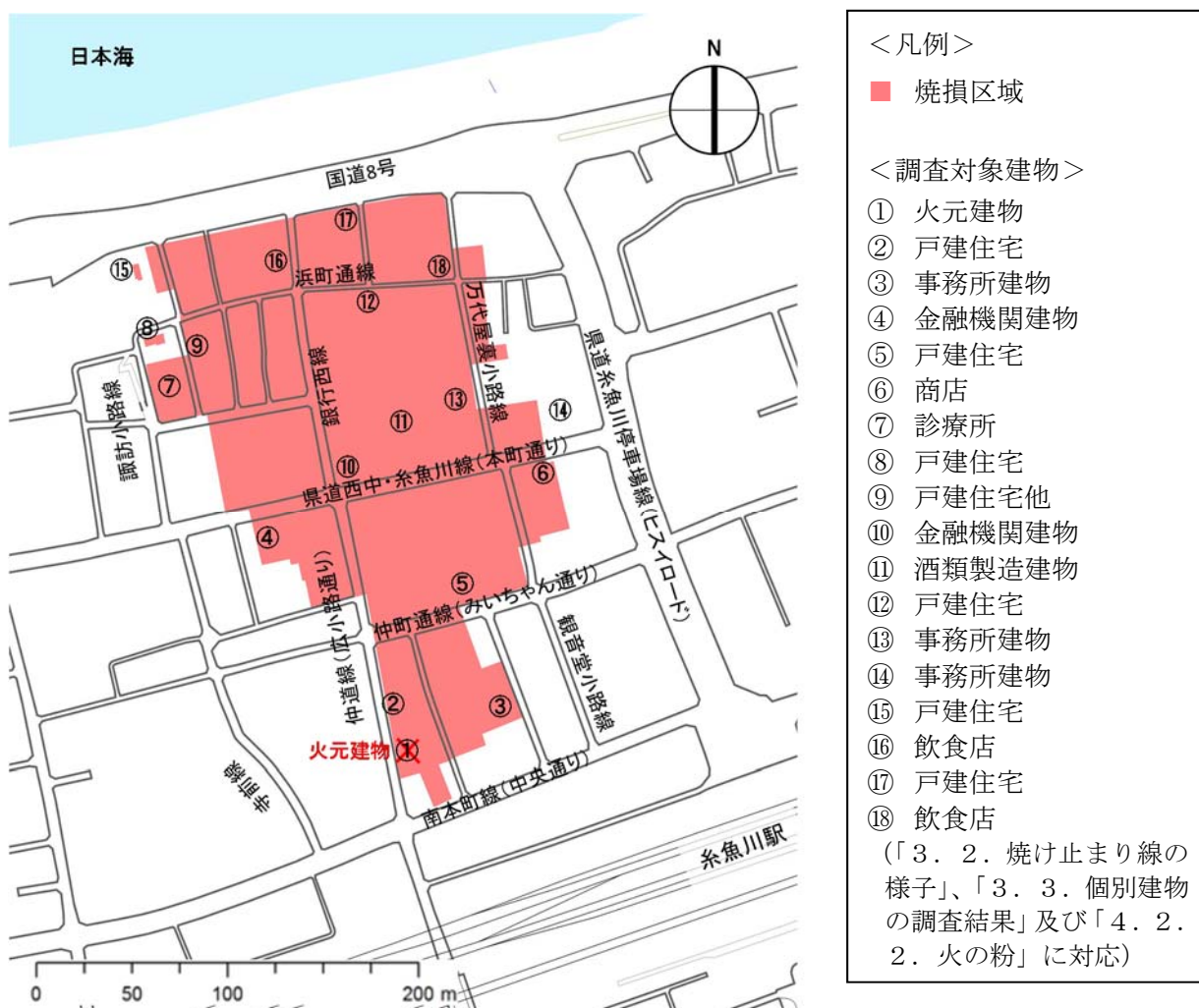


図 3.1.1 焼損区域の範囲と調査対象建物
(国土地理院基盤地図情報に焼損区域等を加筆)

なお、次ページ以降に示した図 3.1.2～4 は、写真 3.1.1～10（撮影日は全て平成 28 年 12 月 25 日）の撮影位置・方向を示したものである。

<火元建物付近>

火元建物は仲道線に面しており、火元建物近くでは、延焼した仲道線沿道の建物の外壁は残っているものの（写真 3.1.1）、背面は完全に燃え落ちるとともに、さらに背後の建物へ延焼拡大している（写真 3.1.2）。また、火元建物付近においては仲道線（道路台帳では幅員 7.5m 前後）西側の街区への延焼は見られない。



図 3.1.2 写真撮影地点と撮影方向
（写真 3.1.1～3.1.2）
（国土地理院基盤地図情報に加筆）



写真 3.1.1 火元建物付近の様子



写真 3.1.2 火元建物背後の様子

<仲町通線と県道西中・糸魚川線付近>

火元建物から約 90m 以北の仲町通線を越えたあたりにおいては、仲道線西側の街区での焼失がみられるとともに（写真 3.1.3、写真 3.1.4）、東側へも焼損区域が広がっている（写真 3.1.5、写真 3.1.6）。また、県道西中・糸魚川線（道路台帳では 10m 程度の幅員）北側の街区での焼失もみられる（写真 3.1.6）。

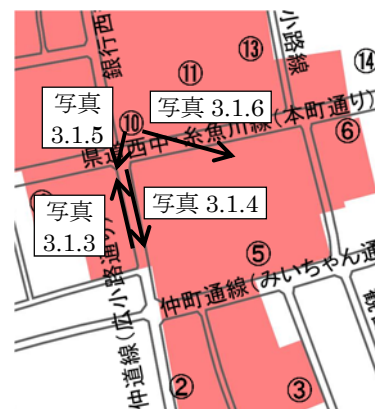


図 3.1.3 写真撮影地点と撮影方向
（写真 3.1.3～3.1.6）
（国土地理院基盤地図情報に加筆）



写真 3.1.3 火元建物より北側の仲道線の様子



写真 3.1.4 火元建物より北側の仲道線の様子



写真 3.1.5 県道西中・糸魚川線以南の焼損状況
(写真右側は仲道線。全焼建物が多く見られる)



写真 3.1.6 県道西中・糸魚川線の北側及び南側の焼損状況
(写真左前が北側。全焼建物が多く見られる)

< 県道西中・糸魚川線付近～浜町通線～国道 8 号 >

焼損区域の東西方向の幅は、県道西中・糸魚川線付近においては 180m 程度であり、同程度の東西方向の幅で、焼損区域が風下方向である焼損区域北部や国道 8 号にかけて続いている（図 3.1.1、写真 3.1.7、写真 3.1.8）。



写真 3.1.7 南側・西側及び北側の焼損状況



写真 3.1.8 焼損区域北西側の焼損状況
 (⑩金融機関建物屋上より撮影。
 全焼建物が多く見られる)

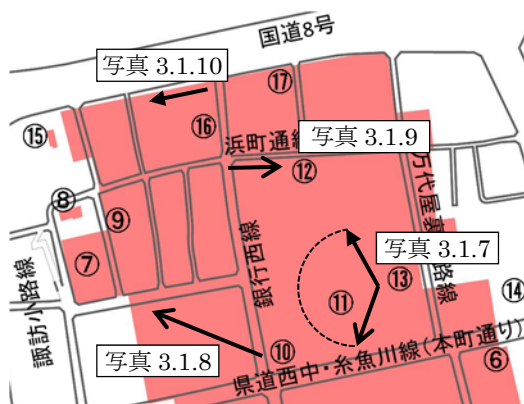


図 3.1.4 写真撮影地点と撮影方向
 (写真 3.1.7～3.1.10)
 (国土地理院基盤地図情報に加筆)

国道 8 号より 1 本南側に位置する浜町通線の沿道では、多くの建物が焼損するなか、焼失を免れた住宅 (⑫戸建住宅) が 1 棟あり (写真 3.1.9)、その北側及び東側には駐車場があり、南側は植栽のある庭となっていた。また、延焼は海沿いの国道 8 号まで拡大している (写真 3.1.10)。



写真 3.1.9 焼失を免れた住宅
 (⑫戸建住宅)



写真 3.1.10 国道 8 号沿いの様子

3. 2. 焼け止まり線の様子

今回の火災において、どのような状況で焼け止まりが生じたのかを推定するための資料として、焼損区域の境界部分に着目して、道路や空地等の状況、火災側の焼損状況及び非火災側の被害状況等についての調査結果を示す。

焼損区域（図 3.2.1 の青枠内）には焼損の程度が比較的軽微な建物も含まれているため、ここでは、「焼け止まり線」を、必ずしも焼損区域の境界線そのものではなく、焼損区域の境界線付近の焼損が激しい建物（又は建物群）と焼損が軽微な建物（又は建物群）との間の線状（帯状）空間として、図 3.2.1 に示すように焼損区域の南側を南 1～南 5、西側を西 1～西 7、東側を東 1～東 6 の計 18 の焼け止まり線に分けてそれぞれの状況を以下に示す。なお、焼け止まり線の火災側（焼損が激しい建物群側）にも焼損の軽微な建物がいくつか含まれるが、それらの個別の建物の被害状況については 3. 3 に詳しく示す。

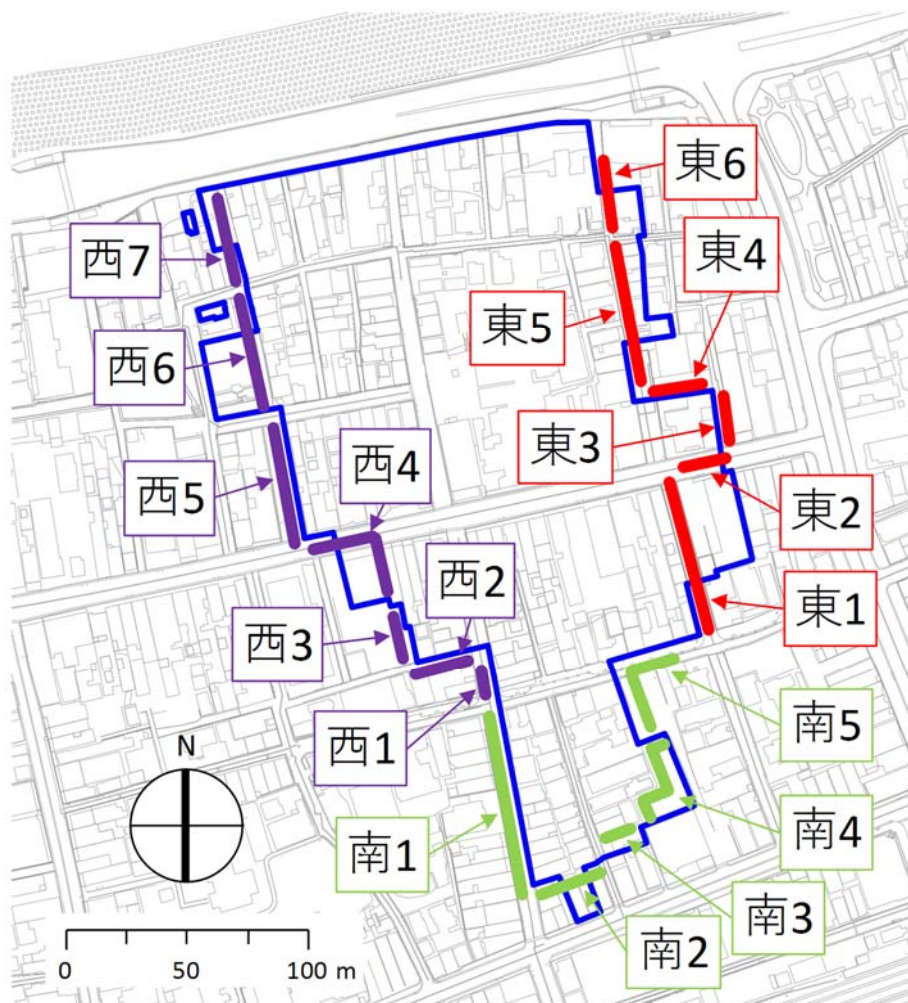


図 3.2.1 本節で考察する焼け止まり線の位置及び呼び方

(1) 焼損区域南側の焼け止まり線の様子

焼損区域の南側の焼け止まり線における建物の状況を以下に示す。図 3.2.1 の南 1 焼け止まり線から反時計回りに南 5 焼け止まり線まで順に示す。

・南 1 焼け止まり線 (図 3.2.1.1)

写真 3.2.1.1 は、火元建物と左右の建物を撮影したものである。建物の内部は焼失し、黒く焼け焦げた様子が確認できる。通りに面した外壁は自立した状態が残っているが、これは消防隊の放水により焼失を免れたためと考えられる。開口部はいずれも破損しているが、火炎噴出によるものなのか、放水活動によるものなのかは判断できなかった。なお、開口部上方には加熱痕が残っている建物もあることから、前面道路を隔てた反対側に火炎噴出による放射伝熱があったものと考えられる。写真 3.2.1.2 は南 1 焼け止まり線を南から北に向かって撮影したもの（右手が焼損区域）である。前面道路である仲道線は広小路通りとも呼ばれ、昭和 7 年の大火の後に拡張されたとされる道路であるが、幅員が約 7.5m (図上計測) と比較的広い。前面道路側からの放水活動があったこともあり、仲道線の対面の建物への被害は認められなかった。

なお、火災の発生は 10 時 20 分ごろであったと推定されているが、通報を受けて消防隊が火災現場に到着した時刻は 10 時 35 分であった。その時点で火元建物はすでに炎上しており、消防隊による放水は火元建物の東側、西側、ならびに南西側から行われたとされる。



図 3.2.1.1 南 1 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.1.1 火元建物と隣接建物



写真 3.2.1.2 南 1 焼け止まり線の様子 (南→北)

・南 2 焼け止まり線（図 3.2.1.2）

南 2 焼け止まり線は、幅 1m 未満の路地である（写真 3.2.1.3）。糸魚川市消防本部によると、対面の建物の窓ガラスにひびが入るなどの被害が出たものの、屋内への延焼は免れたとのことであった。狭い隣棟間隔であるにもかかわらず延焼を免れた理由として、消防隊がこの路地に入って放水活動を行ったことと、燃焼領域の風上側にあたるため比較的加熱が小さかったことなどが考えられる。

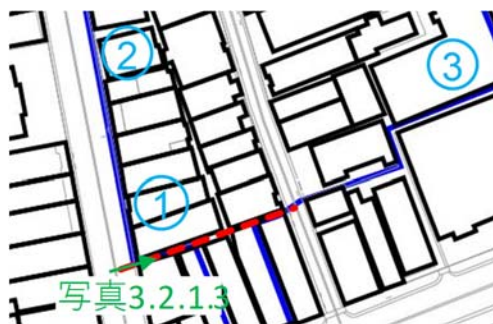


図 3.2.1.2 南 2 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.1.3 南 2 焼け止まり線の路地

・南 3 焼け止まり線（図 3.2.1.3）

写真 3.2.1.4 は、南 3 焼け止まり線の様子を東から西に向かって撮影したものである。また、写真 3.2.1.5 は、写真 3.2.1.4 の手前の、屋根にブルーシートが掛けられた建物を上方から撮影したものである。非焼損区域側の建物には、焼損区域側の建物の外壁が倒れこんでいるものの、目立った加熱痕は認められなかった。



図 3.2.1.3 南 3 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.1.4 南 3 焼け止まり線の様子
(東→西)



写真 3.2.1.5 南 3 焼け止まり線の様子
(写真 3.2.1.4 の手前部分を撮影)

・南 4 焼け止まり線 (図 3.2.1.4)

写真 3.2.1.6 は南 4 焼け止まり線を、写真 3.2.1.7 は南 4 焼け止まり線の 3 階建て RC 造建物の東側外壁を撮影したものである。火災当時は、RC 造建物の内部から消防隊による放水が行われたとのことであったが、外壁には 3 階陸屋根部分まで加熱痕が残っている。RC 造建物の外壁は、火災加熱によって塗装が焼け焦げ、一部モルタル層が剥落していた。また、窓ガラスにはひびが入り、サッシが変形しているものも確認できた。建物内部については、空調室外機用の配管を通す貫通部から煙が侵入し、汚損や一部什器の溶融などの被害が出たものの、内部の可燃物に着火し、炎上するまでには至っていない。



図 3.2.1.4 南 4 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.1.6 南 4 焼け止まり線の様子
(東→西)



写真 3.2.1.7 南 4 焼け止まり線の RC 造建物
(西面)

・南 5 焼け止まり線 (図 3.2.1.5)

写真 3.2.1.8 は、南 5 焼け止まり線を北から南に向かって撮影したものであり、奥に南 4 焼け止まり線の 3 階建て RC 造建物が見える。南 5 焼け止まり線は、駐車場として使用されており、これを隔てた焼損区域内の建物から非焼損区域の建物までの最短距離は約 16.7m (図上計測) であった。非焼損区域側の建物に被害は認められなかった。



図 3.2.1.5 南 5 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.1.8 南 5 焼け止まり線の様子 (北→南)

(2) 焼損区域西側の焼け止まり線の様子

焼損区域の西側の焼け止まり線における建物の状況を以下に示す。図 3.2.1 の西 1 焼け止まり線から北側に向かって西 7 焼け止まり線まで順に示す。

・西 1 焼け止まり線 (図 3.2.2.1)

写真 3.2.2.1 は西 1 焼け止まり線を南から北に向かって撮影したものである。東側が焼損した街区であり、通りに面する建築物の外壁は残っているものの室内側が焼損していることが確認できる (写真 3.2.2.2)。外壁開口部の窓ガラスは大部分が脱落しているものの開口部からの火炎噴出痕はわずかであり、道路を挟んで 7.5m (図上計測) 隔てた対向面 (写真 3.2.2.1 左 (西) 側) の被害は認められなかった。なお、写真 3.2.2.1 左 (西) 側の街区は写真奥 (北) 側に火災の被害が

及んでいるが、後章に示すように飛び火から焼損したとみられており、この仲道線を挟んで東側街区の火災による直接の延焼は発生していないようである。



図 3.2.2.1 西 1 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.2.1 焼け止まり線を形成した仲道線 写真 3.2.2.2 東側の通り面の様子

・西 2 焼け止まり線（図 3.2.2.2）

西 2 焼け止まり線では鉄骨造 3 階建て建築物（写真 3.2.2.3）及びその西隣の 2 階建て木造建築物（写真 3.2.2.4）によって焼け止まり線を形成している。鉄骨造 3 階建て建築物は、3 階の開口部は火炎噴出痕、ガラスの亀裂や脱落が見られるが、2 階以下の部分の開口部や外壁そのものの損傷は認められなかった。幅員 2.6m（図上計測）の道路を挟んだ正面には小規模な車庫があるが焼損は認められなかった。西隣の焼損した木造建築物（写真 3.2.2.4）も開口部のガラスは大部分が脱落しているが、外壁やアルミ製とみられるサッシは残っており、開口部からの火炎の噴出が激しくなかったことがうかがわれる。この木造建築物の南西斜向かいには 2 階建て木造建築物が比較的近くにあるが、雨樋の溶融もなく被害は認められなかった。



図 3.2.2.2 西 2 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.2.3 西 2 焼け止まり線の様子（東側） 写真 3.2.2.4 西 2 焼け止まり線の様子（西側）

・西 3 焼け止まり線（図 3.2.2.3）

写真 3.2.2.5 は、前記写真 3.2.2.4 に写る 2 階建て木造建築物を南西方向から見たものであるが、西面外壁の大部分が残っている。写真 3.2.2.6 は西 3 焼け止まり線を南西から北東に向かって撮影したものである。写真 3.2.2.6 左（西）側に 2 階建て建築物（④金融機関建物）があるが、西 3 焼け止まり線からの加熱によるとみられる南壁面にある窓ガラスの亀裂が見られた。西 3 焼け止まり線の西側には駐車場があり、近傍の家屋までの距離は 21.8m（図上計測）である。

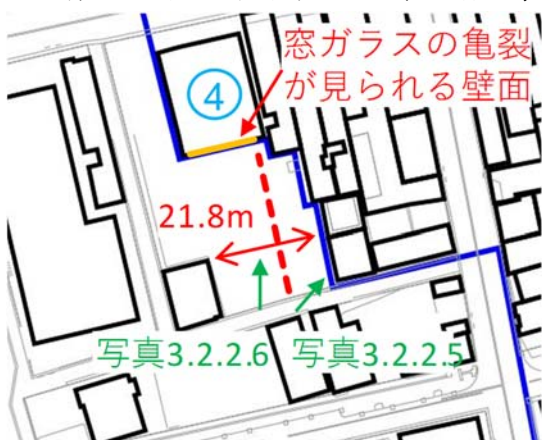


図 3.2.2.3 西 3 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.2.5 西 3 焼け止まり線の様子



写真 3.2.2.6 西 3 焼け止まり線の様子

・西 4 焼け止まり線（図 3.2.2.4）

西 4 焼け止まり線は④金融機関建物によって形成されている。写真 3.2.2.7 は④金融機関建物の東側壁面と、壁面に接した木造家屋の火災跡の状況である。2 階開口部周辺に煤の付着、ガラスの破損、外装材の変形や部分的な浮き上がりが確認できる。写真 3.2.2.8 は同一建物の北壁面及びその前面の雁木を撮影したものである。幅員 9m 以上の県道西中・糸井川線を挟む反対側にも焼損の激しい街区があるが、風上側にあたるこの壁面及び雁木には北側街区の火災からの加熱による目立った焼損は認められなかった。



図 3.2.2.4 西 4 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.2.7 西 4 焼け止まり線
(④金融機関建物 東壁面)



写真 3.2.2.8 西 4 焼け止まり線
(④金融機関建物 北壁面)

- ・西 5 焼け止まり線（図 3.2.2.5）

西 5 焼け止まり線は駐車場により、対向する家屋から南側で 11.9m（図上計測）、北側で 16.8m（図上計測）の距離が離れている。対向する木造家屋には目立った焼損は認められない（写真 3.2.2.9、写真 3.2.2.10）。

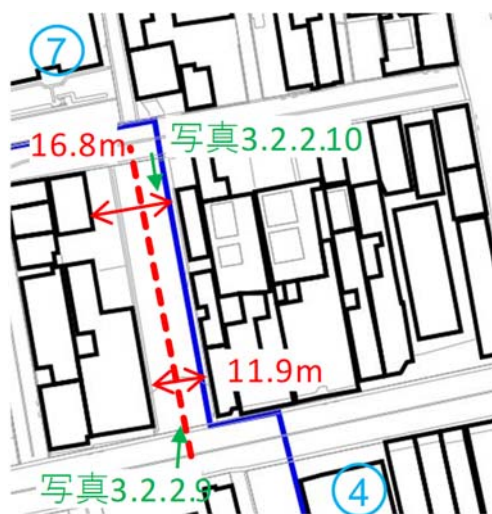


図 3.2.2.5 西 5 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.2.9 西 5 焼け止まり線（南→北）



写真 3.2.2.10 西 5 焼け止まり線（北→南）

- ・西 6 焼け止まり線（図 3.2.2.6）

西 6 焼け止まり線では幅員 3.7m（図上計測）の道路を挟んで東側の街区に著しい被害が見られるが、東側の街区においても 2 棟の木造 2 階建て家屋及び小規模の小屋（⑨戸建て住宅等）が全焼を免れている。写真 3.2.2.11 は南から北に向かって撮影したものであるが、道路右（東）側手前に全焼した木造家屋、その奥に全焼を免れた家屋が見える。左（西）側の建物（⑦診療所）には目立った被害は認められなかった。写真 3.2.2.12 は北から南に向かって撮影したものである。左（東）側手前に全焼した木造家屋があるが、道路を挟む右（西）側の建物に目立った被害は認められなかった。



図 3.2.2.6 西 6 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.2.11 西 6 焼け止まり線（南→北）



写真 3.2.2.12 西 6 焼け止まり線（北→南）

・西 7 焼け止まり線（図 3.2.2.7）

写真 3.2.2.13 は西 7 焼け止まり線を北から南に向かって撮影したものである。左（東）側に全焼家屋があり幅員 2.8m（図上計測）の道路を挟む右（西）側に 2 階建て木造家屋（空家）がある。西側の木造家屋は全焼を免れており目立った加熱痕も認められなかったが、部分的に軒裏材の脱落が見られた。ただし、軒裏材の脱落が火災や消火活動によるものか、火災以前から脱落していたのかは不明である。写真 3.2.2.14 は浜町通線を東から西に向かって撮影したものである。西 7 焼け止まり線に面した 2 階建て家屋の東側壁面が写っているが、その前面は道路と駐車場によって火災家屋から 8.8m（図上計測）隔てられている。開口部の網入りガラスや外壁に目立った焼損は認められなかった。



図 3.2.2.7 西 7 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.2.13 西 7 焼け止まり線（北→南）



写真 3.2.2.14 浜町通線から見た西 7 焼け止まり線南端の様子（東→西）

（３）焼損区域東側の焼け止まり線の様子

焼損区域の東側の焼け止まり線における建物の状況を以下に示す。図 3.2.1 の東 1 焼け止まり線から北側に向かって東 6 焼け止まり線まで順に示す。

・東 1 焼け止まり線（図 3.2.3.1）

写真 3.2.3.1 は東 1 焼け止まり線を北から南に向かって俯瞰したものである。屋根にブルーシートがかかっている木造 2 階建ての⑥商店と隣接する焼損区域との間には駐車場と道路があり、その幅員は約 16.6m（図上計測）であった。この商店の外壁には損傷はみられなかったが、屋根に飛び火によるとみられる損傷を受けていた。駐車場の先には建物があり、その先の道路の幅員は約 5.7m（図上計測）であった。東 1 焼け止まり線のこの辺りの焼損区域に面する外壁や開口部には損傷は見られなかった。

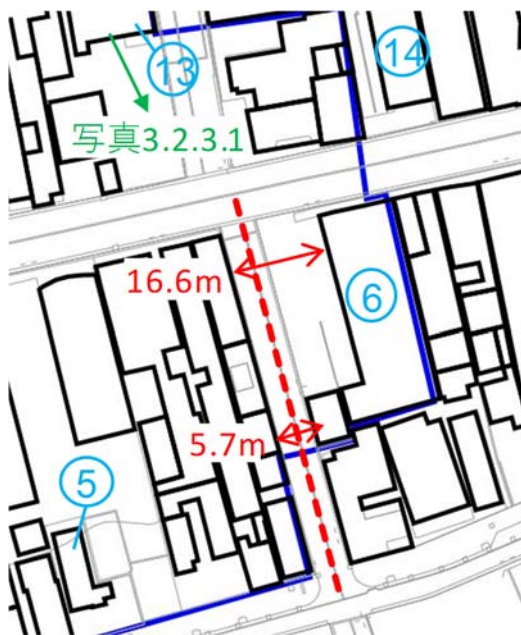


図 3.2.3.1 東 1 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.3.1 東 1 焼け止まり線

・東 2 焼け止まり線（図 3.2.3.2）

東 2 焼け止まり線の状況を写真 3.2.3.2 に示す。写真は県道西中・糸魚川線を東側に向かって撮影したものである。写真左側の木造 2 階建て建物は焼損しているが、幅員 9m 以上の道路をはさんで対面に並ぶ木造 2 階建ての商店には外観上、損傷は全くみられなかった。



図 3.2.3.2 東 2 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.3.2 東 2 焼け止まり線

・東 3 焼け止まり線（図 3.2.3.3）

東 3 焼け止まり線の状況を写真 3.2.3.3、写真 3.2.3.4 に示す。それぞれ写真右側が RC 造 3 階建ての⑭事務所建物である。焼損区域に面した西側では、外壁塗装の焦げや開口部のひび割れ、

もしくは屋外配管の溶融などの目立った被害は見られなかった。焼損建物との隣棟間隔は約 5m（図上計測）であった。



図 3.2.3.3 東 3 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.3.3 東 3 焼け止まり線
（北側に向かって撮影。写真左側が焼損区域）



写真 3.2.3.4 東 3 焼け止まり線
（写真 3.2.3.3 中央の通路奥から北側に向かって撮影。写真左側が焼損区域）

・ 東 4 焼け止まり線（図 3.2.3.4）

東 4 焼け止まり線は写真 3.2.3.5 に示すように、焼損建物の南側の空地（庭）にあたる場所である。焼損建物とその北側（写真の左側）の作業場倉庫との間隔は約 6.7m（図上計測）であった。作業場倉庫には火災による損傷は見られなかった。



図 3.2.3.4 東 4 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.3.5 東4 焼け止まり線

・東5 焼け止まり線（図 3.2.3.5）

東5 焼け止まり線は、写真 3.2.3.6 に示すように幅員約 2.7m（図上計測）の道路をはさんで木造 2 階建ての建物が建ち並ぶ通りである。焼損区域からの放射熱等によって対面する建物の開口部のガラスの亀裂や脱落、外壁や玄関扉、樹脂製の排気フード等の変形・変色が確認された（写真 3.2.3.7）。



図 3.2.3.5 東5 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.3.6 東 5 焼け止まり線
(北側から撮影。右側が焼損区域)



写真 3.2.3.7 東 5 焼け止まり線の開口部等
の損傷状況

・ 東 6 焼け止まり線 (図 3.2.3.6)

東 6 焼け止まり線は写真 3.2.3.8 に示すように、全焼した⑱飲食店と幅員約 3.4m (図上計測)の道路をはさんで木造 2 階建ての外壁金属サイディング張りの住宅とその北側に駐車場が並ぶ場所である。住宅には 2 階の出窓の網戸の溶融が見られたが、ガラスの亀裂は認められなかった。このほか、外壁やシャッターの火災によると推定される汚れや、エアコンの室外機の支持材や樹脂製の樋に部分的な変形が確認された。



図 3.2.3.6 東 6 焼け止まり線周辺状況



写真 3.2.3.8 東 6 焼け止まり線の焼け止まり線
(北側から撮影。右側は全焼した⑱飲食店)



写真 3.2.3.9 東 6 焼け止まり線

3. 3. 個別建物の調査結果

火元建物及び焼損区域内にあって焼損の程度が比較的軽微な建物等の個別建物について調査した結果を記す。なお、以下では、焼損区域を火元から順に4ブロック（仲町通線以南、仲町通線～県道西中・糸魚川線、県道西中・糸魚川線～浜町通線、浜町通線以北）に分け、概ね各ブロックの西から東の順に掲載している。調査対象建物に付した番号は、図 3.1.1 中の番号と対応している。

（1）仲町通線以南ブロック

①火元建物（写真 3.3.1.1）

写真 3.3.1.1 は仲道線に面した間口 2 間、奥行き 3 間の店舗併用住宅である。1 階は客席として、その奥に厨房を構える。2 階は住居である。風上側の隣接建物は界壁が燃え抜けて延焼したが、その先の建物には延焼していない。風下側は②戸建住宅まで延焼が進んでいる。仲道線に面した側の屋根や外壁が残っているため、裏側で延焼拡大したと見られる。



写真 3.3.1.1 火元建物の西面の様子

②戸建住宅（写真 3.3.2.1～2）

写真 3.3.2.1 は火元建物より 5 軒北側（風下側）の 3 階建て住居である。仲道線に面する西側の面を除く 3 面の隣接家屋が焼失しているが、屋内への延焼を免れている。鉄骨造で外壁の屋外側は石膏ボードを下地とし、鋼製胴縁を設けた上に金属系サイディング張り、屋根は防火野地板の上に金属板張りとのことであった。外壁の開口部には網入りガラスが外側に配置されている複層ガラスが設けられており、開口部寸法も総じて小さい。なお、隣棟間隔は南側は約 0.4m、北側は約 1.7m である（現地実測）。



写真 3.3.2.1 仲道線側外観（西側）



写真 3.3.2.2 東側壁面の様子

③事務所建物（写真 3.3.3.1～3）

③事務所建物は RC 造 3 階建ての建物で、L 字型平面で隣棟間隔は南北が 1.4m、東西が 1.8m である（現地実測）。外壁モルタルの表層剥離、開口部の網入りガラスにひび割れが見られ、屋根軒先までの加熱痕から、隣接建物からの火炎が建物と同じ高さまで上がっていたことが分かる。また、空調室外機の配管のため外壁に設けられた貫通部を通じて熱の侵入がみられ、1 階及び上層部の屋内側に設置されたプラスチック製品の溶融が見られた。風上側であったため、陸屋根の上には降積した火の粉は見当たらなかった。



写真 3.3.3.1 西側外壁の様子
（モルタル表層剥離 雨樋溶融）



写真 3.3.3.2 北側外壁の様子
（配管の焼失と貫通部の露出 屋根軒先までの加熱痕）



写真 3.3.3.3 隣棟間距離
（写真出典：国土地理院撮影の空中写真（2009 年撮影））

（2）県道西中・糸魚川線～仲町通線ブロック

④金融機関建物（写真 3.3.4.1～2）

県道西中・糸魚川線を挟んだ北側の区画が先に燃えていたとのことであったが、正面雁木の焼損がないことから、北側からの受熱は小さかったものと考えられる。一方で外壁の加熱痕の状況からは、主に東側の隣接建物から加熱を受けており、東側開口部の窓ガラスにひび割れを生じて

いたが、屋内への延焼は生じていなかった。火災鎮静後に職員が行った被害状況の点検時の話として、鋼板屋根であるが、火の粉によるものと思われる雨漏りを生じるほどの穴が4か所生じていたとのことであった。



写真 3.3.4.1 東側外観（右上の建物）
（加熱痕が見られる）



写真 3.3.4.2 北側(県道西中・糸魚川線)外観
（正面に雁木あり）

⑤戸建住宅（写真 3.3.5.1～2）

⑤戸建住宅は2階建ての建物であり、南側の前面道路（仲町通線）を挟んで対向する建物からは幅員 8.3m+セットバック 3.5m（現地実測）の離隔距離があり、東側、北側は空地である。西隣の建物より火災加熱を受け、一部開口部の網入りガラスにひび割れが生じているが、内部への延焼は免れている。



写真 3.3.5.1 南側外観
（前面道路よりセットバック、東側も空地が見られる）



写真 3.3.5.2 西壁の状況（開口部が少ない）

⑥商店（写真 3.3.6.1～2）

⑥商店は県道西中・糸魚川線の南側に面し、焼損区域の東端に位置する木造2階建ての建物である。正面(北面)には雁木が設けられており、西妻面の外壁はトタンが張られている(写真 3.3.6.1)。建物西側は駐車場になっており、この駐車場及び道路を挟んだ西側の街区からは約 16.6m（図上計測）隔てられている。西面外壁には外部からの火熱による目立った損傷は認められないが、飛び火と見られる屋根の焼損があり、棟木近くに局所的な変色が確認できる(写真 3.3.6.1 の赤丸部

分及び写真 3.3.6.2)。



写真 3.3.6.1 北西から見た外観



写真 3.3.6.2 西妻面の様子

(3) 県道西中・糸魚川線～浜町通線ブロック

⑦診療所 (写真 3.3.7.1～2)

⑦診療所は焼損区域の西端に位置する 2 階建て外壁タイル張の建物である。この建物の東側の道路を挟む反対側（東側）には全焼した建物がある。隣棟間隔は最短部で 4.5m 程度（現地実測による）であるが、東面の外壁に目立った損傷は認められず、南面は火災区域には直接面していないため南面外壁にも火災による損傷は認められなかった。



写真 3.3.7.1 東から見た外観



写真 3.3.7.2 東側道路の様子

⑧戸建住宅 (写真 3.3.8.1～2)

⑧戸建住宅は浜町通線の南側に面し、焼損区域の西端に位置する木造 2 階建ての建物である。隣接する周囲の建物に火災による損傷は認められず、飛び火によって焼損したと見られる。飛び火あるいは消火活動によるとみられる屋根の損傷及び北側開口部の破損、母屋北東角の軒裏の損傷が見られるが、室内の目立った焼損、北側開口部に煤の付着や火炎噴出の跡は認められなかった (写真 3.3.8.1)。また、北側道路 (浜町通線) を挟んで対面する壁面への火災の影響も認められなかった (写真 3.3.8.2)。



写真 3.3.8.1 北外壁面



写真 3.3.8.2 東妻面と北側道路の様子

⑨戸建住宅他（図 3.3.9.1、写真 3.3.9.1～5）

⑨戸建住宅他は、西 6 焼け止まり線の東側に面して建つ 2 棟の木造 2 階建て戸建て住宅及び小屋 1 棟である。これらの建物は西 6 焼け止まり線の内側（火災側）の街区にあって全焼家屋が周囲を囲む中でも内部への延焼を免れて比較的軽微な被害に止まっている。周辺の状況を図 3.3.9.1 に示す。



図 3.3.9.1 建物⑦～⑨周辺の建物配置
（国土地理院基盤地図情報を基に作成）

図 3.3.9.1 中の建物 a は木造 2 階建て戸建て住宅であり、南面及び東面の 2 階開口部の破損（写真 3.3.9.1 は損傷した開口部の応急修理をした後である）及び南東角の雨樋縦管の溶融などが見られるが、建物内部への火炎の侵入はなかった。南側は隣家の駐車スペースであり、火災当時、車はなかったとのことである。また、東側には建物の痕跡はなく、空地であったことがわかる（写真 3.3.9.1 の手前側）。



写真 3.3.9.1 建物 a の南東から見た外観

図 3.3.9.1 中の建物 b は木造 2 階建ての戸建住宅である。東面の外壁には比較的大きな開口部が設けられており、東側の敷地には近接して木造の焼損建物（図 3.3.9.1 中の d）の一部が残っているが、建物 b には外観の損傷及び内部への火炎の侵入は認められなかった（写真 3.3.9.2）。建物 b の北側外壁面には開口部は無く、その前面の北側敷地には小さな小屋（図 3.3.9.1 中の c）が設置されているが、この小屋にも火災の影響は認められなかった（写真 3.3.9.3～5）。

建物 d は 2 階の外壁は大部分が燃え落ちているが、1 階の外壁がほぼ原形のまま残っており、1 階西側（建物 b 側）外壁面の開口部はごく小さな小窓のみであった。小屋 c の東側は建物 d の開口部の無い外壁の他、図 3.3.9.1 中の建物 e の RC 造とみられる開口部の小さな 1 階外壁面に隣接している。小屋北側はある程度の空間があったとみられる（写真 3.3.9.4～5）。



写真 3.3.9.2 建物 d の 1 階外壁の燃え残り



写真 3.3.9.3 建物 b 北側の火災跡と外壁面



写真 3.3.9.4 建物 a 及び建物 b 西側道路の様子

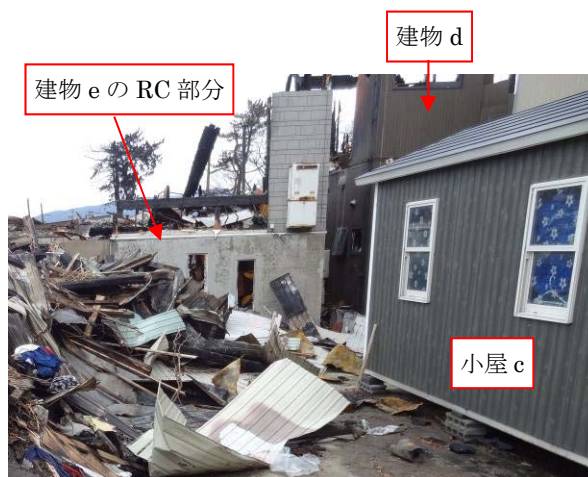


写真 3.3.9.5 小屋 c とその北側及び東側の様子

⑩金融機関建物（写真 3.3.10.1～3）

⑩金融機関建物は県道西中・糸魚川線と銀行西線の交差点に面する角地に建っている RC 造 2 階建ての建物である。東側では、火災による加熱によって外壁の塗装が剥がれ落ち、焼け焦げた痕を確認できる（写真 3.3.10.1）。1、2 階の開口部には網入りガラスが使用されていたが、いずれの階でもひび割れが発生しており、2 階のガラスの一部は脱落している。南側では、東側とは異なり、ポーチ部分を含めて 1 階に目立った被害は見られなかった。ただし、普通ガラスを使用した 2 階の窓ガラスはひび割れ、一部で脱落している（写真 3.3.10.2）。なお、西側及び北側では被害が見られなかった。また、屋上には、シート防水層に穴が開いた箇所が多数残されており、多数の火の粉が飛散してきていたものと考えられる（写真 3.3.10.3）。



写真 3.3.10.1 東側の様子



写真 3.3.10.2 南側の様子



写真 3.3.10.3 屋上パラペット付近の様子

⑪酒類製造建物（写真 3.3.11.1～2）

⑪酒類製造建物は県道西中・糸魚川線に面し、敷地内に複数の建物を有し、主屋として海からの塩害を防ぐため複数の蔵と一体で大屋根をかけた木造建物の他、独立の蔵、納屋が多数存在した。主屋および大屋根で一体化していた蔵2つ、および独立の蔵2つに延焼したが、RC造金属屋根の建物と土蔵1つが内部への延焼を免れている。所有者によると前面道路（県道西中・糸井川線）に面した板塀は焼け残っていたようなので、道路を挟んだ南側建物からの火炎による延焼ではなく、火の粉により主屋が延焼し、敷地内の他の建物に延焼したと考えられる。延焼した独立の蔵のうち1つは木製開口部からの延焼が考えられ、また消火のため重機による破壊消防が行われたようである。もう1つは土蔵であり壁は残っているものの瓦屋根が崩落していた。延焼を免れたRC造は鉄扉およびシャッター前に可燃物が無かったこと、土蔵は入り口に前室が設けられており、2枚の扉が同一直線状になかったこと、また窓開口部前面が樹木に覆われており、火災加熱が遮蔽されていたことが延焼の抑制につながったものと考えられる。



写真 3.3.11.1 延焼前の敷地の様子
（写真出典：国土地理院撮影の空中写真（2009年撮影））



写真 3.3.11.2 延焼後の敷地の様子

⑫戸建住宅（写真 3.3.12.1～6）

⑫戸建住宅は⑪酒造製造建物の北側に隣接する建物である（写真 3.3.12.1）。この建物は周囲の

建物が全焼している中で外観上被害がほとんど見られなかったものである。

住宅は2階建て瓦葺きで外壁鋼板張、一部タイル仕上げで開口部には網入りガラスが使用されていることが目視で確認された。酒造会社の敷地に接する住宅の南側では樹脂製の樋の熱変形(写真 3.3.12.2)と網入りガラスの亀裂が複数箇所見られたが、外壁と樹脂製の柵の損傷は見られなかった。網入りガラスの亀裂は南側以外にも東側・西側でも確認(写真 3.3.12.3)されたが、いずれもガラスの脱落は見られなかった。外壁の損傷は東側、西側(写真 3.3.12.4)、玄関のある北側(写真 3.3.12.5)ともに見られなかった。なお、樹脂製の柵については、西側で一部溶融しているものが見られた。

住宅南側は⑪酒造製造建物の敷地と隣接しているが、⑪酒造製造建物側の敷地は植栽のある庭になっており、住宅と⑪酒造製造建物との隣棟間隔は現地での実測で少なくとも10m以上あることが確認された。また、住宅東側には貸駐車場があり(写真 3.3.12.6)、その東側に隣接していた全焼建物(住宅)の外壁とは10m以上離れていた。また西側の隣棟間隔は3m、北側については5m以上と確認された。



写真 3.3.12.1 戸建住宅(赤丸)周辺の状況



写真 3.3.12.2 戸建住宅の南東側の状況



写真 3.3.12.3 網入りガラスの亀裂



写真 3.3.12.4 戸建住宅西側の状況



写真 3.3.12.5 戸建住宅北側の状況



写真 3.3.12.6 戸建住宅東側の駐車場

⑬事務所建物（写真 3.3.13.1～2）

⑬事務所建物は鉄骨造 3 階建ての建物である（写真 3.3.13.1）。2 階のすべての窓ガラスが階段室を除いて脱落し、3 階の窓ガラスは北側と東側において脱落していた。火災当時建物付近にいた事務所関係者によると、建物北側（写真 3.3.13.2）から開口部を通じて延焼したとのことであった。



写真 3.3.13.1 事務所建物南東側の状況



写真 3.3.13.2 事務所建物北側の状況

⑭事務所建物（写真 3.3.14.1～2）

⑭事務所建物は県道西中・糸魚川線の北側に建つ RC 造 3 階建ての建物である。焼損区域に面した西側では、外壁塗装の焦げや開口部のひび割れ、もしくは屋外配管の熔融などの目立った被害は見られなかった（写真 3.3.14.1）。一方で、道路を挟んで本建物の西側に位置する建物においては、屋根は燃え抜けているものの、外壁は自立した状態で残っており、開口部上方の外壁に焼け焦げた痕等は見られない（写真 3.3.14.2）。なお、国土地理院が 2009 年に撮影した空中写真によると、これらの建物の隣棟間隔は約 7m となっている。



写真 3.3.14.1 西面の様子



写真 3.3.14.2 西側の建物の様子

(4) 浜町通線以北ブロック

⑮戸建住宅 (写真 3.3.15.1～3)

⑮戸建住宅焼損区域の北西端に位置する木造2階建てで、飛び火したと見られる建物である(写真 3.3.15.1)。飛び火した点から小屋裏に拡大した火災によると見られる屋根の損傷が確認できる(写真 3.3.15.3) ほか、火災によるものかは不明であるが、2階開口部の破損が確認できる(写真 3.3.15.2)。東側及び南側に近接して隣接建物があるが、火災の影響は認められなかった。西側は広い駐車場で北側は国道8号である。



写真 3.3.15.1 北外壁面



写真 3.3.15.2 西外壁面



写真 3.3.15.3 飛び火によるとみられる屋根の損傷 (南東側から)

⑩飲食店（写真 3.3.16.1～2）

写真 3.3.16.1 ならびに写真 3.3.16.2 は、国道 8 号線沿いの区画に建っている鉄骨造 2 階建ての建物を撮影したものである。周辺一帯には、当該街区に延焼する前に避難指示が出され、住民が不在であったため、どのような経過で延焼が発生したのか情報を得ることができなかった。ただし、当該建物は、火災発生翌日になっても燃え尽きず、最終的に重機による破壊消防が行われたとのことであった。



写真 3.3.16.1 西側の様子



写真 3.3.16.2 東側の様子

⑪戸建住宅（写真 3.3.17.1～4）

写真 3.3.17.1 は、国道 8 号線近くの RC 造 2 階建て住宅を撮影したものである。建物は躯体こそ残っているものの、全体的に強い加熱を受けた痕が見られ、窓枠なども残っていない状態であった。写真 3.3.17.2 は、建物の南側に駐車した 2 台の車を撮影したものであるが、いずれもタイヤが焼失して車体が地面に接した状態となっている。これらが当該建物への火災延焼を媒介した可能性もある。強い加熱痕は、車が駐車した南側以外にも確認された。写真 3.3.17.3、写真 3.3.17.4 は建物の東側の外壁を撮影したものであるが、外壁の表面にはコンクリートの爆裂した跡が確認できた。爆裂した箇所は、1 階開口部の下方にも及んでおり、何らかの屋外にある火源からの加熱を受けていたものと考えられる。



写真 3.3.17.1 南側の様子



写真 3.3.17.2 焼けた車体



写真 3.3.17.3 東側の様子



写真 3.3.17.4 爆裂した外壁の様子

⑱飲食店（写真 3.3.18.1）

⑱飲食店は焼損区域北東部に位置する瓦葺き木造 2 階建ての建物である。敷地内の南東角に離れの付属屋（土蔵）があったが、この付属屋も含め今回の火災により全焼した。次章で詳しく示すようにこの建物は飛び火によって焼損したと推定されている。写真 3.3.18.1 は、建物関係者より提供を受けた当該建物の飛び火直後とみられる写真である。13:17 時点で濃い黒煙を背景として、手前中央の主屋及びその左側（南側）の付属屋から白煙が流れていることが確認できる。13:24 時点の写真では屋根の一部から噴出する火炎が確認でき、その後数分で建物全体に火災が拡大していることがわかる。

建物関係者への聞き取り調査では以下の証言が得られている。

- ・昭和 7 年に一帯が焼損した火災では被害を免れた。
- ・主屋は昭和初期（昭和 7 年の火災以前）に屋根の架け替え（棟の方向を南北方向から東西方向に変更）を行った。その後全面的な葺き替えは行っておらず、傷んだ部分のみ部分補修を行っていた。
- ・平成 2 年に改装した際には天井裏にバケツですくえるほど（厚さ 30cm～40cm）の泥がたまっていた。その際に屋根葺き材の木羽は残っていた。



(a) 13:17の様子



(b) 13:24の様子



(c) 13:27の様子



(d) 13:30の様子

写真 3.3.18.1 飛び火直後とみられる㊸飲食店の様子（住民提供）

4. 延焼動態

4. 1. 映像・画像分析等に基づく延焼動態の推定

今回の火災では多くの報道機関等がヘリコプターから火災現場の空撮を行い、火災時の映像が記録されている。また、近年の携帯電話やスマートフォンなどの携帯型のカメラ付き機器の普及を背景に多くの住民が火災時の映像や画像を記録しており、その一部が Web 閲覧可能であったり、テレビ等で報道され、火災時の状況を知る上で大きな手がかりとなっている。

延焼動態に関しては、糸魚川市消防本部によって消防活動記録に基づく街区レベルでの大まかな延焼方向、延焼時刻が報告されている³⁾。映像や画像から得られる詳細な情報は、消防活動記録に基づく資料と相互に補完することでより詳細で網羅的な延焼状況が把握できるものと考えられる。ここでは、糸魚川市消防本部による報告や映像・画像の収集・分析の結果を踏まえた延焼動態の推定結果を示す。

4. 1. 1 映像・画像分析の対象

映像・画像分析の資料としては、Web 上に掲載された映像・画像、現地調査時に収集した住民が撮影した静止画像の他、UX 新潟テレビ 21、新潟総合テレビ（NST）及び新潟県警から提供を受けた火災時の空撮映像（一部地撮映像）を用いた。空撮映像が得られていない 13:00 以前は、住民による地上からの映像・画像から得られる断片的な情報のみであり、火災初期の重要な局面に不明な点が残っているが、場面によっては建物 1 棟レベルの火災性状が把握できるほどの情報が得られており、極めて詳細な延焼動態を推定することが可能である。

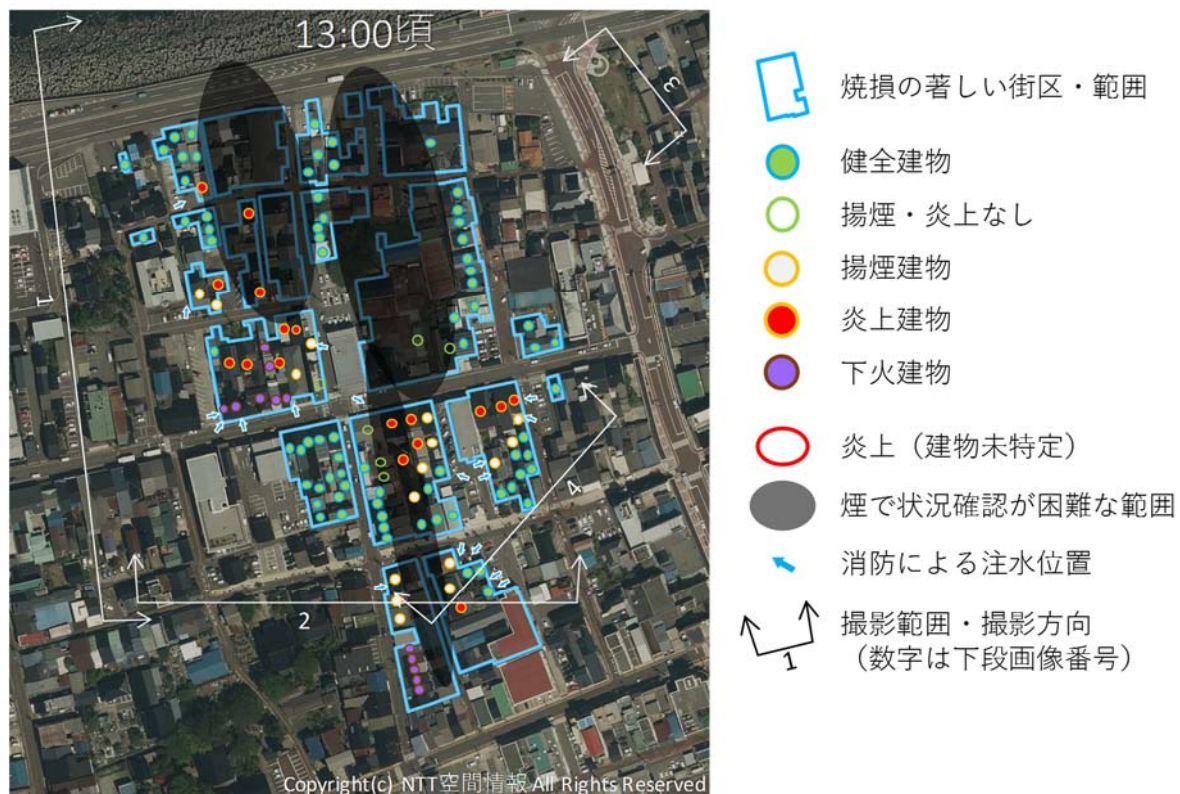
4. 1. 2 映像・画像分析等に基づく延焼動態

映像・画像分析等に基づいて推定した延焼動態を図 4.1.1 に示す。焼損区域の中には、住民への聞き取り、報道機関等により撮影された映像の解析、火災現場の焼損状況等から、飛び火があった可能性のある範囲が多数確認されている。ここでは、隣接する周囲の建物が燃焼していない（あるいは強い加熱を受けるほどの激しい燃焼ではない）にもかかわらず、建物から煙や火炎の噴出を確認できたものを飛び火と見なしてその位置を示している。延焼時刻及び延焼等時線は、まず映像・画像から、概ね 15 分間隔で建物ごとに焼損の有無を確認して図示した上で、時間断面ごとに既に延焼した建物の概ねの範囲を囲んで作成した。

ただし、図中の中央部や風下にあたる北寄りの範囲では、比較的早い段階で住民が火災区域外へ避難していたために目撃証言が得られておらず、空撮映像においても火災による煙が覆っており、燃焼位置や煙発生位置の特定が困難であったことから、建物ごとの詳細な出火時刻や延焼方向の特定までには至っていない部分も残っている。また、実際には図に示した他にも飛び火があった可能性は否定できない。今後、さらに情報収集及び情報の精査を行う必要がある。

4. 1. 3 時刻別の火災状況

以下では、4. 1. 2に示した延焼動態を推定する際にまとめた時刻別の火災状況を図 4.1.2～図 4.1.12 に示す。



画像提供：UX新潟テレビ21

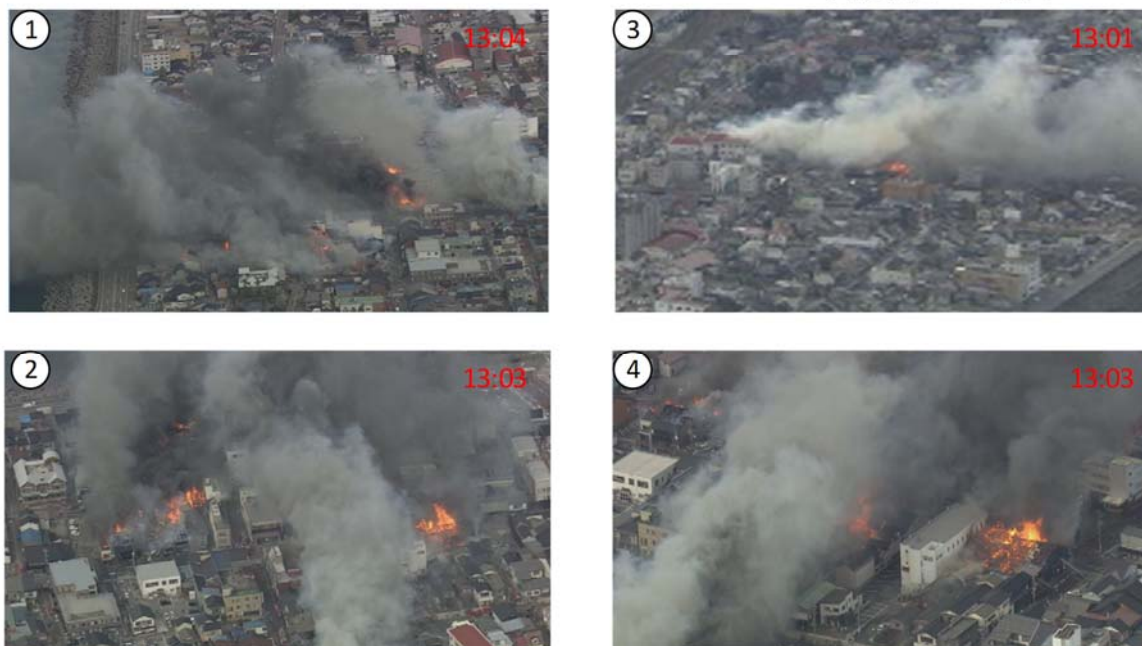


図 4.1.2 2016/12/22 13:00 頃の様子



- 焼損の著しい街区・範囲
- 健全建物
- 揚煙・炎上なし
- 揚煙建物
- 炎上建物
- 下火建物
- 炎上（建物未特定）
- 煙で状況確認が困難な範囲
- 消防による注水位置
- 撮影範囲・撮影方向
(数字は下段画像番号)

画像提供：UX新潟テレビ21



図 4.1.3 2016/12/22 13:15 頃の様子



- 焼損の著しい街区・範囲
- 健全建物
- 揚煙・炎上なし
- 揚煙建物
- 炎上建物
- 下火建物
- 炎上（建物未特定）
- 煙で状況確認が困難な範囲
- 消防による注水位置
- 撮影範囲・撮影方向
(数字は下段画像番号)

画像提供：UX新潟テレビ21

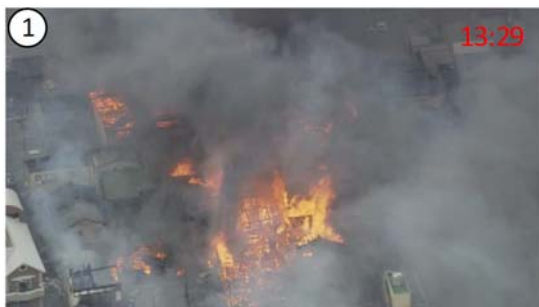
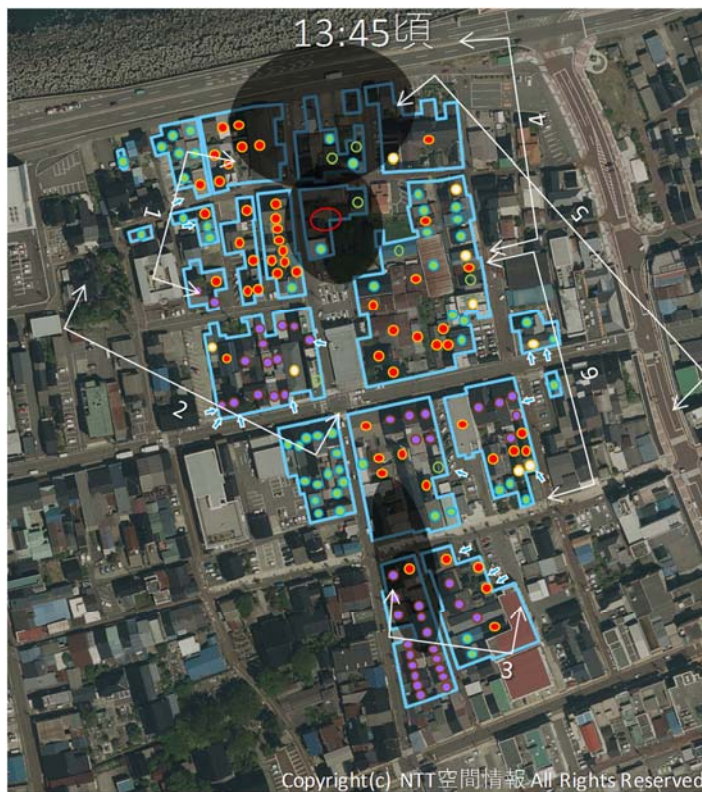


図 4.1.4 2016/12/22 13:30 頃の様子



- 焼損の著しい街区・範囲
- 健全建物
- 揚煙・炎上なし
- 揚煙建物
- 炎上建物
- 下火建物
- 炎上（建物未特定）
- 煙で状況確認が困難な範囲
- 消防による注水位置
- 撮影範囲・撮影方向
(数字は下段画像番号)

画像提供：UX新潟テレビ21



図 4.1.5 2016/12/22 13:45 頃の様子

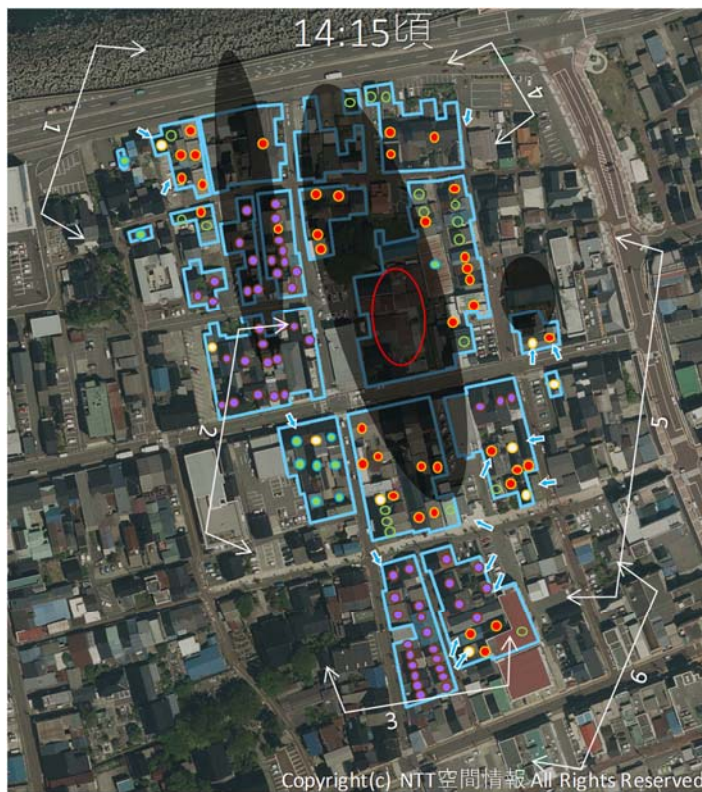


- 焼損の著しい街区・範囲
- 健全建物
- 揚煙・炎上なし
- 揚煙建物
- 炎上建物
- 下火建物
- 炎上（建物未特定）
- 煙で状況確認が困難な範囲
- 消防による注水位置
- 撮影範囲・撮影方向
(数字は下段画像番号)

画像提供：NST



図 4.1.6 2016/12/22 14:00 頃の様子



- 焼損の著しい街区・範囲
- 健全建物
- 揚煙・炎上なし
- 揚煙建物
- 炎上建物
- 下火建物
- 炎上（建物未特定）
- 煙で状況確認が困難な範囲
- 消防による注水位置
- 撮影範囲・撮影方向
(数字は下段画像番号)

画像提供：NST

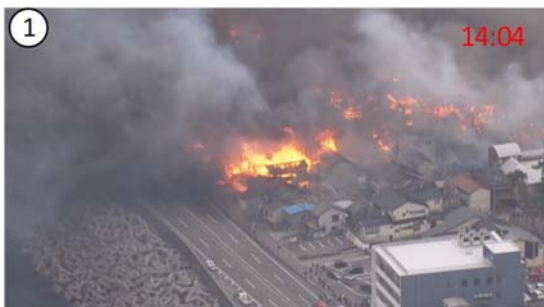
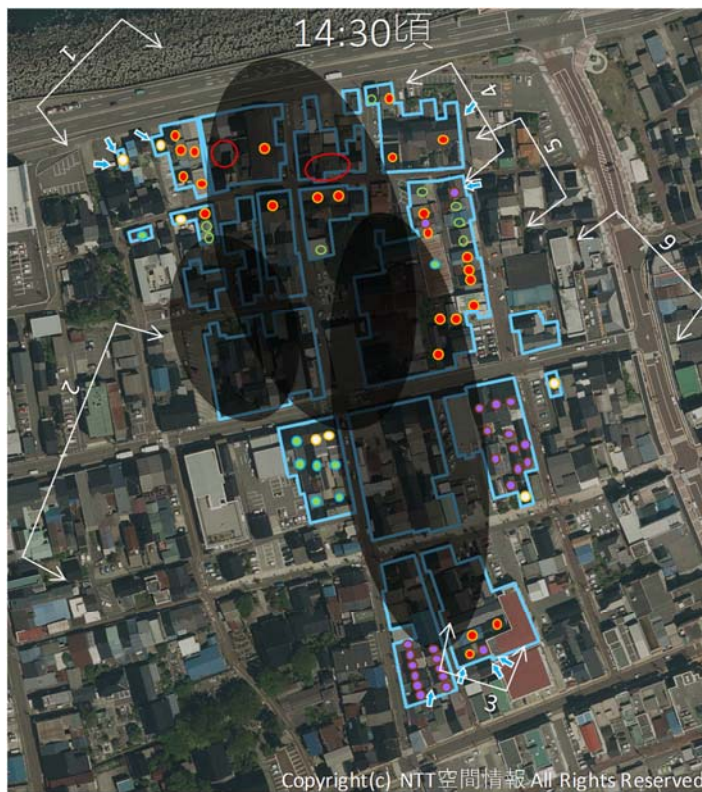


図 4.1.7 2016/12/22 14:15 頃の様子



- 焼損の著しい街区・範囲
- 健全建物
- 揚煙・炎上なし
- 揚煙建物
- 炎上建物
- 下火建物
- 炎上（建物未特定）
- 煙で状況確認が困難な範囲
- 消防による注水位置
- 撮影範囲・撮影方向
(数字は下段画像番号)

画像提供：NST



図 4.1.8 2016/12/22 14:30 頃の様子



- 焼損の著しい街区・範囲
- 健全建物
- 揚煙・炎上なし
- 揚煙建物
- 炎上建物
- 下火建物
- 炎上（建物未特定）
- 煙で状況確認が困難な範囲
- 消防による注水位置
- 撮影範囲・撮影方向
(数字は下段画像番号)

画像提供：NST



図 4.1.9 2016/12/22 14:45 頃の様子

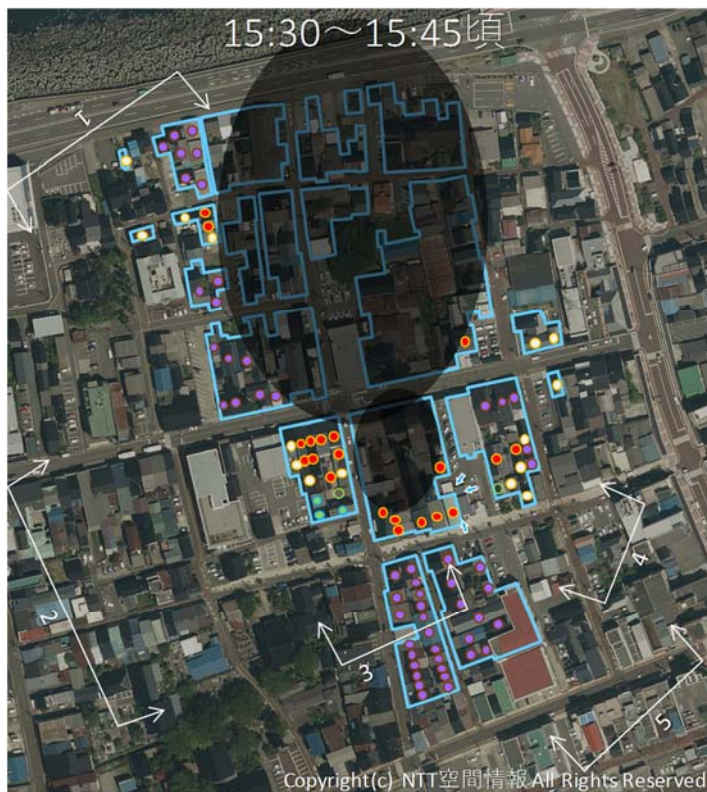


-  焼損の著しい街区・範囲
-  健全建物
-  揚煙・炎上なし
-  揚煙建物
-  炎上建物
-  下火建物
-  炎上（建物未特定）
-  煙で状況確認が困難な範囲
-  消防による注水位置
-  撮影範囲・撮影方向
(数字は下段画像番号)

画像提供：NST



図 4.1.10 2016/12/22 15:00 頃の様子



- 焼損の著しい街区・範囲
- 健全建物
- 揚煙・炎上なし
- 揚煙建物
- 炎上建物
- 下火建物
- 炎上（建物未特定）
- 煙で状況確認が困難な範囲
- 消防による注水位置
- 撮影範囲・撮影方向
(数字は下段画像番号)

画像提供：新潟県警



図 4.1.11 2016/12/22 15:30～15:45 頃の様子



-  焼損の著しい街区・範囲
-  健全建物
-  揚煙・炎上なし
-  揚煙建物
-  炎上建物
-  下火建物
-  炎上（建物未特定）
-  煙で状況確認が困難な範囲
-  消防による注水位置
-  撮影範囲・撮影方向
(数字は下段画像番号)

画像提供：UX新潟テレビ21

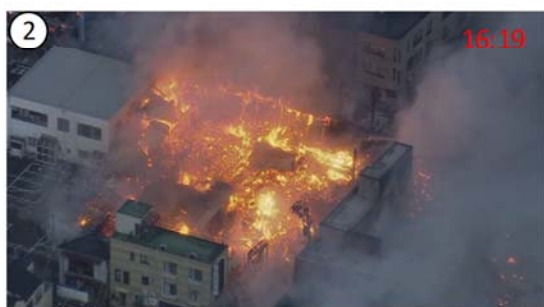


図 4.1.12 2016/12/22 16:30 頃の様子

4. 2. 飛び火の状況

4. 2. 1 飛び火が確認された建物の状況

飛び火地点は消防本部による資料³⁾では10点確認されているが、前節に示した映像・画像による延焼動態の分析の結果、新たに5点が確認され、飛び火があったみられる地点は合計で15点となった。15点の飛び火のそれぞれの状況を図4.2.1.1及び表4.2.1.1に示す。

なお、3. 3に示したように④金融機関建物には鋼板屋根に火の粉によるものと思われる穴が生じていたとの証言が得られており、これも飛び火の一つとして捉えることもできるが、ここでは飛び火により炎上に至ったものを検討の対象とした。

表4.2.1.1の「飛び火確認時刻（確認方法）」欄について、「消防」と記載したものは、映像・画像から確認できた時刻よりも消防本部によって確認された時刻が早い場合であり、消防本部によって確認された時刻を引用したものである。「映像」と記載したものは、消防本部の資料に記載のない場合又は消防本部によって確認された時刻よりも映像で確認された時刻の方が早い場合である。これらのうち、空撮映像が得られた13:00以降の飛び火⑤～飛び火⑮に関して、写真4.2.1.1～写真4.2.1.10に飛び火を確認した時間帯の画像を示す。多くの画像で屋根の棟付近から発煙する様子が確認できる。「建築年」欄は、糸魚川市より建物所有者の了解を得て提供を受けた課税台帳（飛び火⑨は建築確認）に基づく建築年を、「屋根の仕様」欄は、建物関係者へのヒアリング及び空中写真に基づいて推定した結果を示している。多くの建物は昭和7年の大火直後となる昭和8年建築の昭和初期仕様（昭和初期仕様の詳細は5章に示す。）の瓦葺屋根であり、このような建物が地域内に混在したことが今回の火災で飛び火が多発した要因の一つとなった可能性がある。

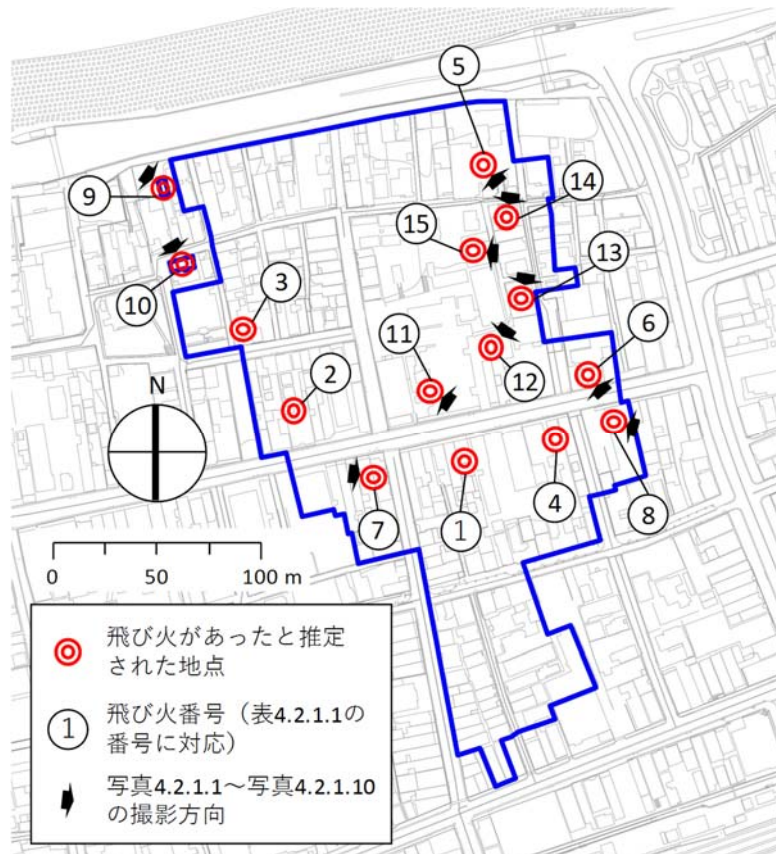


図 4.2.1.1 飛び火があったと推定された地点

表 4.2.1.1 飛び火があったと推定される時刻と建物の状況

番号	飛び火確認時刻 (時刻確認方法)	建物の状況	建築年	屋根の仕様
①	11:21 (消防)	木造 2 階建て	昭和 8 年	昭和初期仕様瓦葺
②	11:58 (消防)	木造 2 階建て	昭和 8 年	昭和初期仕様瓦葺
③	12:14 (消防)	木造 2 階建て	昭和 8 年	瓦葺 (仕様不明)
④	12:48 (映像)	木造 2 階建て	昭和 8 年	昭和初期仕様瓦葺
⑤	13:00 (消防)	木造 2 階建て	大正 元年	昭和初期仕様瓦葺
⑥	13:26 (映像)	木造 2 階建て	昭和 8 年	不明
⑦※1	13:45 (消防)	木造 2 階建て	昭和 8 年	昭和初期仕様瓦葺
		木造 2 階建て	昭和 8 年	瓦葺 (仕様不明)
⑧	14:07 (映像)	木造 2 階建て	昭和 8 年	昭和初期仕様瓦葺
⑨	14:24 (映像)	木造 2 階建て	昭和 4 6 年	セメント瓦葺
⑩	15:33 (映像)	木造 2 階建て	確認できず	瓦葺 (仕様不明)
⑪	13:07 (映像)	木造 2 階建て	昭和 8 年	昭和初期仕様瓦葺
⑫※2	13:08 (映像)	(木造 2 階建て)	(昭和 8 年)	(昭和初期仕様瓦葺)
⑬	13:31 (映像)	木造 2 階建て	昭和 8 年	昭和初期仕様瓦葺
⑭	13:31 (映像)	木造 2 階建て	昭和 8 年	昭和初期仕様瓦葺
⑮	13:44 (映像)	木造 2 階建て	昭和 9 年※3	昭和初期仕様瓦葺

※1 飛び火⑦に関しては最初に発煙を確認した時点で 2 棟の建物から発煙があり、いずれの建物に飛び火したかを特定できず、2 棟の情報を併記している。

※2 飛び火⑫に関しては空撮映像から主屋以外の部分から最初の発炎が確認された。主屋の状況を () に示すが、飛び火のあった部分とは異なる可能性がある。

※3 飛び火⑮の建築年は、糸魚川市より「大正元年又は昭和 9 年」との情報が得られたが、当該建物は昭和 7 年の大火による焼損区域内にあるため、昭和 7 年以降に建築された可能性が高いことから昭和 9 年の情報を採用した。



写真 4.2.1.1 飛び火⑤発生時の状況



写真 4.2.1.2 飛び火⑥発生時の状況



写真 4.2.1.3 飛び火⑦発生時の状況



写真 4.2.1.4 飛び火⑧発生時の状況



写真 4.2.1.5 飛び火⑨発生時の状況



写真 4.2.1.6 飛び火⑩発生時の状況



写真 4.2.1.7 飛び火⑪発生時の状況



写真 4.2.1.8 飛び火⑫発生時の状況



写真 4.2.1.9 飛び火⑬⑭発生時の状況



写真 4.2.1.10 飛び火⑮発生時の状況

4. 2. 2 火の粉

現地調査では、火の粉とみられる燃えさしや、火災当時に風で飛散したと推定されるもののサンプル（以下、「サンプル」と記載）を現地で無作為に採取した。サンプルの採取場所を図 4.2.2.1 に示す。以下にそれぞれの場所で採取したサンプルの形状や重さを示す。なお、次ページ以降に示したサンプルの写真の方眼紙の罫線幅はいずれも 1cm である。

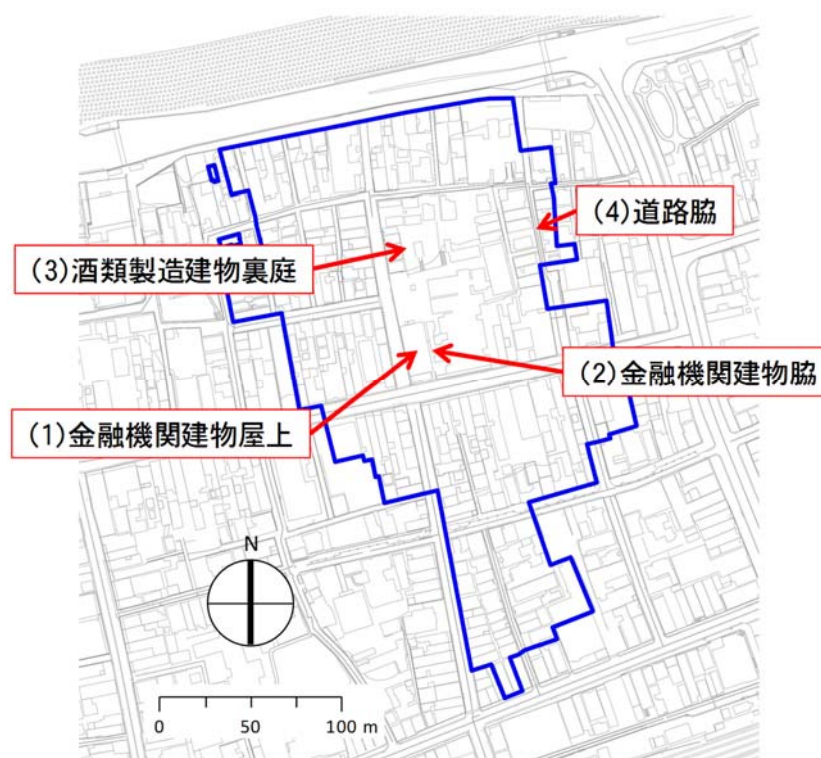


図 4.2.2.1 サンプルの採取場所

(1) 金融機関建物屋上

⑩金融機関建物の屋上で採取した（写真 4.2.2.1）。これは火の粉ではなく、コンクリートが爆裂した破片と見られ、裏側には加熱痕がある（写真 4.2.2.2）。大きさは 2cm 弱で重さは 1.3g だった。このほか 7mm 程度の木片の燃えさしも確認された。



写真 4.2.2.1 屋上の状況(左：火の粉の着床による防水シートの補修跡、右：採取時のサンプル)



写真 4.2.2.2 採取したサンプル（左：表側、右：裏側、重さ 1.3g）

（２） 金融機関建物脇

⑩金融機関建物と隣接する⑪酒類製造建物との間に吹き溜まりのように集積していた燃えさしの中からサンプルを採取した（写真 4.2.2.3）。サンプルは、外寸 3.5cm×5cm の木片の燃えさしと、外寸 3cm×3cm の木片の燃えさしである（写真 4.2.2.4）。



写真 4.2.2.3 サンプル採取場所の状況

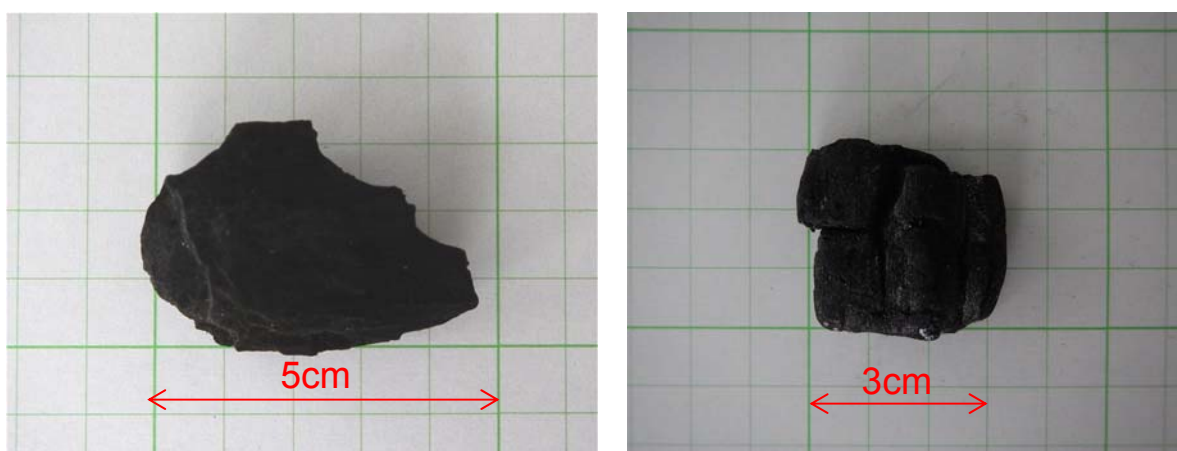


写真 4.2.2.4 採取したサンプル
（左：3.5cm×5cm、重さ 1.4g、右：3cm×3cm、重さ 2.2g）

(3) 酒類製造建物裏庭

①酒類製造建物の裏庭でサンプルを採取した（写真 4.2.2.5 の左の丸印の場所）。採取したサンプルは薄い板状の燃えさし（写真 4.2.2.6 左）と、指先程度の大きさの燃えさし（写真 4.2.2.6 右）と拳程度の大きさの木片の燃えさし（写真 4.2.2.7）である。



写真 4.2.2.5 サンプル採取場所の状況

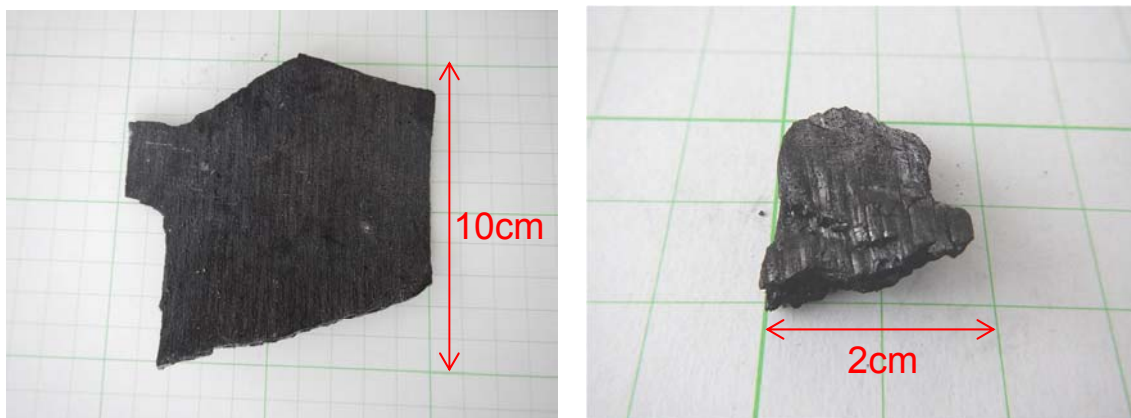


写真 4.2.2.6 採取したサンプル

（左：外寸 10cm×10cm、厚さ 2mm、重さ 5.6g、右：外寸 2cm×2cm、重さ 0.1g）

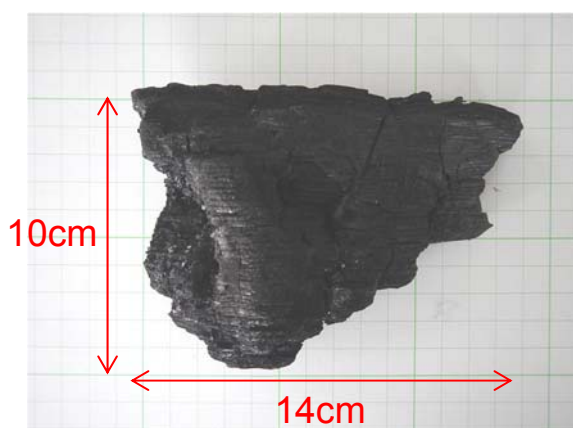


写真 4.2.2.7 採取したサンプル（外寸 10cm×14cm、厚さ 3.5cm、重さ 29.8g）

(4) 道路脇

焼損区域東側の燃え止まりとなっている道路脇の排水口付近に落ちていたサンプルを採取した（写真 4.2.2.8）。

外寸 6.5cm×4.5cm×1cm の木片の燃えさし (写真 4.2.2.9)、もう一つは、新聞紙が燃えて飛散したものである (写真 4.2.2.10)。



写真 4.2.2.8 サンプル採取場所の状況



写真 4.2.2.9 採取したサンプル (外寸 6.5cm×4.5cm、厚さ : 1cm、重さ : 6.9g)

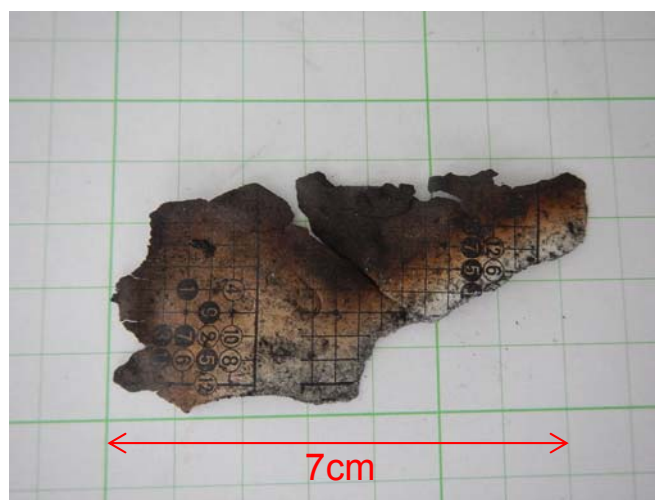


写真 4.2.2.10 採取したサンプル (重さ 0.1g)

5. 飛び火に対する抵抗性の検証

4章に示したように、今回の火災では飛び火が 15 か所に及ぶことが確認された。中には写真 5.1.1 に示すように、不燃材料である瓦葺き屋根であっても飛び火が見られた。飛び火の発生メカニズムを解明するため、当地に昭和初期に建設された建物の瓦屋根の仕様調査を行い、模型試験体を作成した上で、有風下での火の粉の瓦屋根への侵入性状と、火の粉による出火性状についての実験を行った。



写真 5.1.1 瓦屋根への飛び火の事例

5. 1. 瓦屋根仕様調査

糸魚川市における昭和初期に建設された建物の瓦屋根の標準仕様（以下、昭和初期仕様）と、現代の瓦屋根の標準仕様（現代仕様）について、現地調査及び全日本瓦工事業連盟にヒアリングを行い、以下の知見を得た。

- ・写真 5.1.2 及び写真 5.1.3 に示すように、焼損区域外に残る建物の現地調査では、現代仕様と比較して昭和初期仕様の瓦屋根では、瓦のねじれや寸法の不揃いに伴って指 1 本が入るほどの隙間が多数見られた。
- ・瓦自体は、昭和 30 年代まではそれぞれの地場で焼く瓦が主流であり、昭和 40 年代から狂いの少ない三州瓦や陶器瓦が全国に流通した。地場産の瓦として、新潟県では安田瓦や陣ヶ峰瓦が有名だが、糸魚川地域では主に佐渡や石川と同じ 49 判の能登瓦が用いられていた。また、これら地場産の瓦も製造業者毎に個別の変遷を経ているものの、大まかには昭和 45 年以降、工業化が進む過程で寸法精度が向上したものの、昭和初期の段階では、依然としてねじれや反りの大きな瓦が用いられていた。
- ・瓦のねじれは、塩害や凍害の防止および積雪荷重に耐えるための曲げ破壊強度の向上を狙った焼成温度の高さも一因であるが、現在のガス窯に対し古くは達磨窯であったために、均一で一定の焼成温度を保つことが難しかったことが第一の要因である。土の練り込みについても手練りから真空土練機の採用に移行しており、土粒子の粗密性および空隙率の改善が寸法誤差の低減につながっている。
- ・その結果、粘土瓦は昭和 29 年に工業製品として、日本工業規格（J I S）が定められ、ねじりや反りによる寸法誤差が土に工業に規定・管理されるようになっている。加えて、平成 13 年には瓦屋根標準設計・施工ガイドラインも示され、施工管理も進んでいる。
- ・留め付け方法については、昭和初期仕様では瓦尻を瓦棧に載せず、銅線で吊る方法が用いられている。この方法の場合、長い年月を経ると潮風により腐食が進んで瓦がずれる恐れがある。これに対し現代仕様では、瓦棧に引掛けて釘留め、全数留め付けをする方法が推奨され

ている。

- ・留め付けの自由度が高い銅線で吊る方法では、地震時の瓦相互の接触被害に対しては有効とされるものの、過去の風被害によって瓦の重なりになずれが生じていた可能性も高い。瓦自身の耐久性は高いといえるが、地震・台風などの災害時及び定期的なメンテナンスが推奨される。
- ・棟の葺き土については、糸魚川地域ではモルタルを使った事例も報告されているが、塩害による溶融・流出の恐れがある。昭和 50 年頃から南蛮漆喰が利用されるようになっており、現代仕様では、繰り返し練りの効く葺き土と併用して、耐久性の高い棟葺土が構築されている。
- ・下地については、昭和 20 年以前の糸魚川地域では、手割り板を屋根葺き材とした木羽屋根が多かったため、そのまま上から瓦を張った屋根が多く、昭和 20 年以降、新たに屋根をかける場合は、屋根下地として目透かし張りした広小舞に杉皮や巻木羽（約 3mm 程度）を張り、腐らないようコールタールを塗布することが流行ったようである。現代仕様では、目透かしなく張りつめられた野地板あるいは構造用合板の上に、アスファルトルーフィングなどの防水層で下地が構成されており、例えば火の粉が瓦の隙間より侵入したとしても、即座に着火・延焼しにくい構造となっている。



写真 5.1.2 昭和初期仕様（左）、現代仕様（右）



写真 5.1.3 昭和初期仕様拡大

現地調査・ヒアリングを元に作成した、糸魚川市における昭和初期の瓦屋根仕様を表 5.1.1 に

示し、再現した試験体を図 5.1.1 に示す（仕様が複数ある場合の試験体仕様については括弧【 】で表示する）。また、近年の新築木造建物の瓦屋根の標準仕様についても調査を行っており、これを元に作成した試験体を図 5.1.2 に示すともに、両者の間の主な違いを表 5.1.1 に示す。

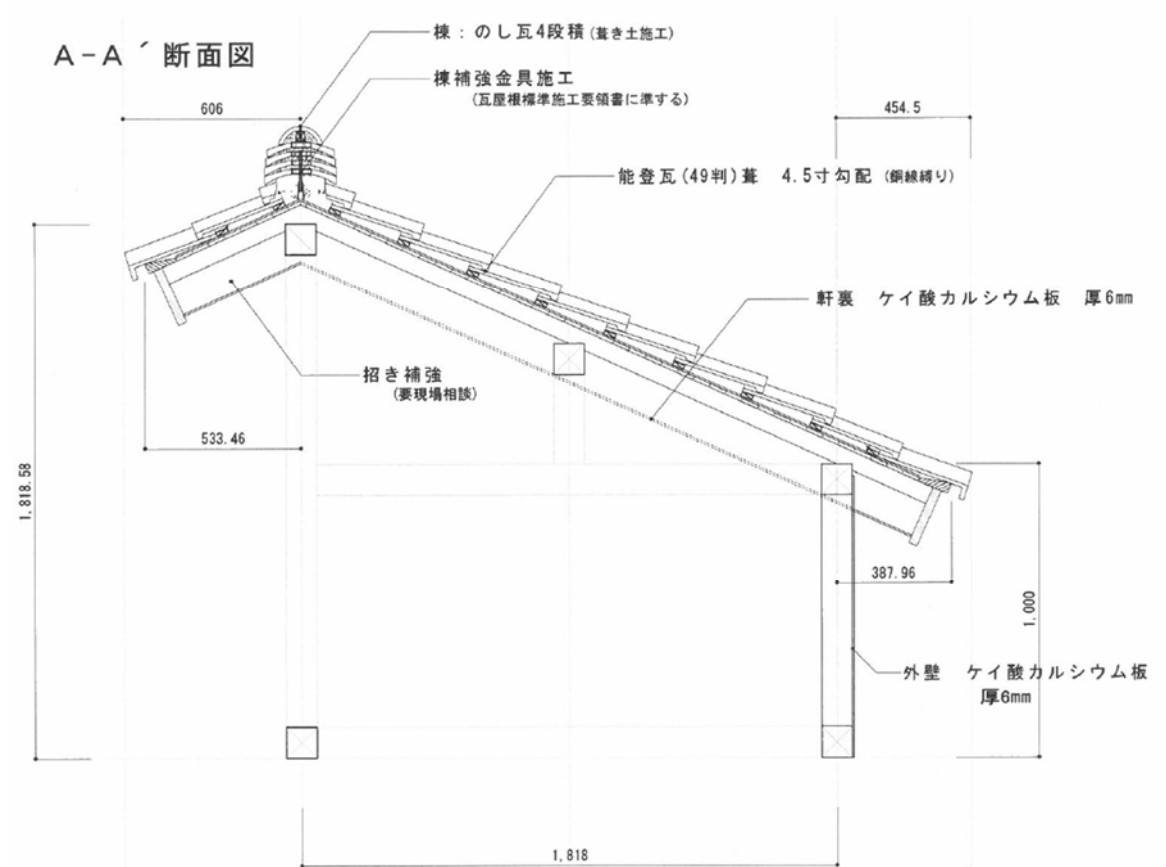


図 5.1.1 試験体断面図 昭和初期仕様

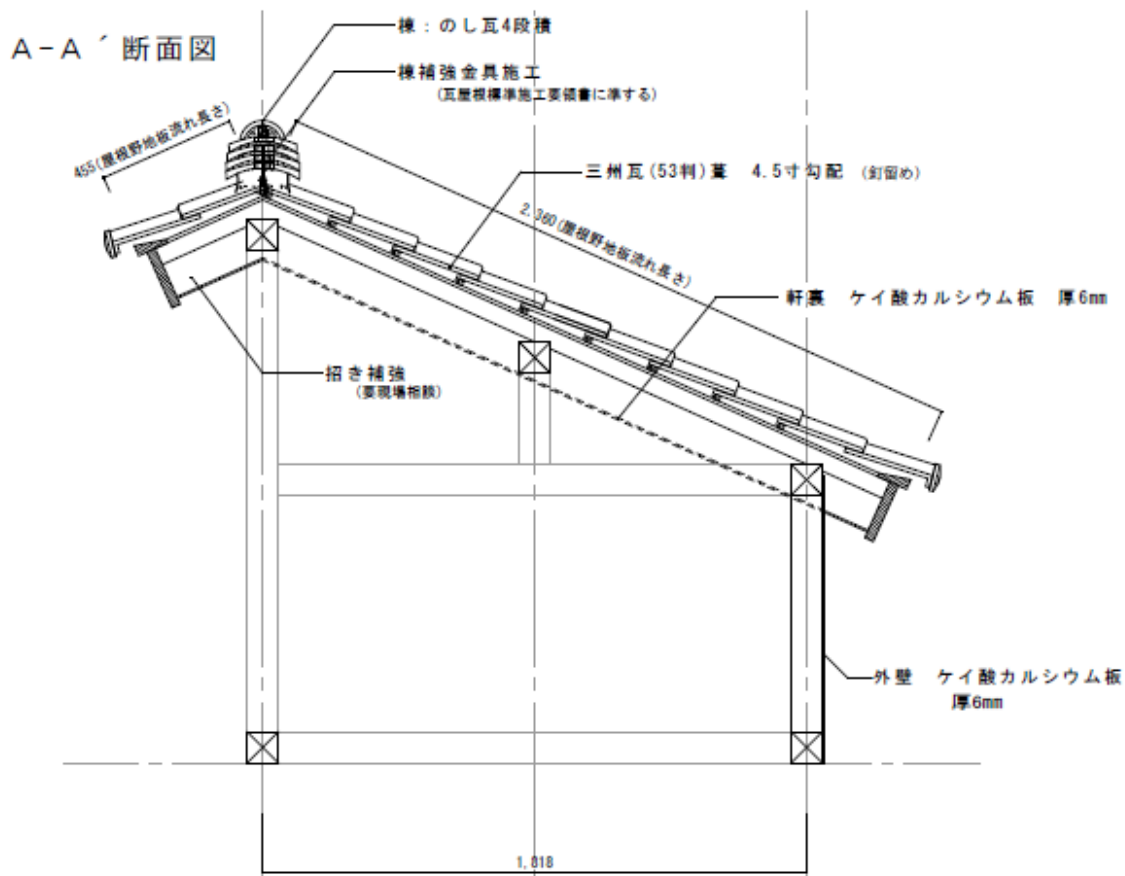


図 5.1.2 試験体断面図 現代仕様

表 5.1.1 瓦屋根仕様の現地調査と現代仕様の比較

	昭和初期仕様 糸魚川	現代仕様 屋根標準施工
野地板	巾 3 寸厚 12mm 目透し	構造用合板・【野地板】
防水層	【巻木羽 杉 3mm】・杉皮	アスファルトルーフィング・ 【高分子系下葺材】
瓦	地場産 (古い能登瓦) 49 判 (49 枚/坪)	工業製品化 53A JIS 規格判 (53 枚/坪)
留付け	銅線縛り (瓦尻は瓦棧に不載)	引掛け瓦棧、釘留め
棟葺土	【葺き土】・モルタル	南蛮漆喰

仕様が複数有る場合は、試験体に用いた仕様を【】で示す。

5. 2. 木片散布実験

家屋に火の粉が降積する状況を想定し、火の粉を木片で代替して瓦屋根への火の粉の侵入状況を検証するための実験を実施した。5. 1. に示す昭和初期仕様の試験体及び現代仕様の試験体それぞれの屋根面に対して有風下において木片を散布し、瓦上に滞留する木片及び瓦下に侵入する木片の数を計測するとともに、散布数に対する割合を求めた。昭和初期仕様に対する実験は2017年3月、現代仕様に対する実験は2017年5月に実施した。

5. 2. 1. 実験条件

(1) 木片の形状・大きさ及び散布方法

実験条件としては、試験体仕様 2 条件、風速 2 条件（5m/s 及び 10m/s）の計 4 条件であり、それぞれの条件において 2 カ所（昭和初期仕様）又は 3 カ所（現代仕様）から木片を散布した（木片の放出位置の詳細は（2）に示す）。散布方法としては、木片を木片籠に入れて木片籠を傾けることで放出する方法とした（図 5.2.1）。

木片は比重が軽い気乾状態のバルサ材（呼び寸法に対する実測重量で約 0.17）を用い、形状 3 種、大きさ 5 種の計 15 種とした。各条件で 1 カ所から散布する木片数は形状・大きさごとに表 5.2.1 に示す数とした。

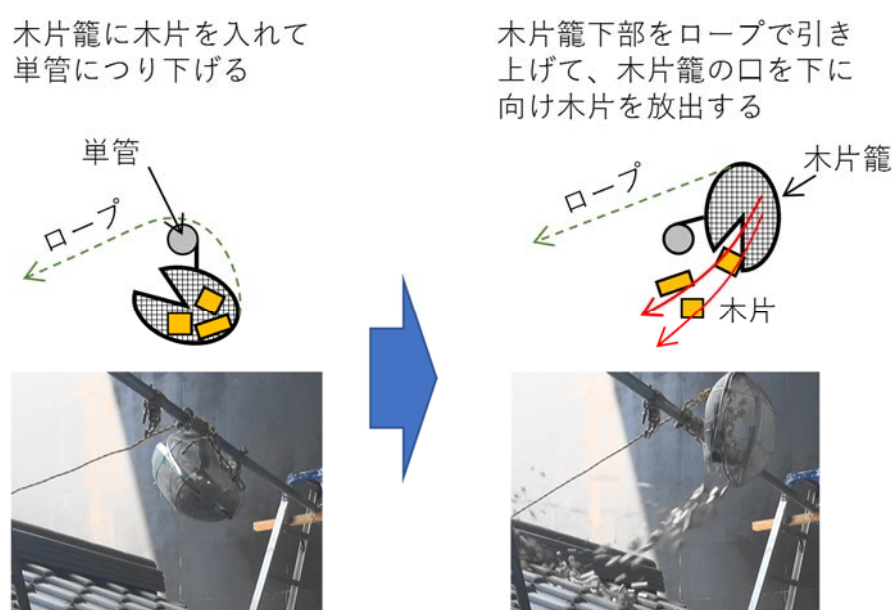


図 5.2.1 木片散布方法（位置 A 及び位置 C）
（位置 B の場合は単管から約 500mm 下方につり下げる）

表 5.2.1 木片の形状・大きさ及び 1 カ所から散布する木片の数

		呼び寸法				
		5mm	10mm	15mm	20mm	30mm
立方体状	サイズ[mm]	5×5×5	10×10×10	15×15×15	20×20×20	30×30×30
	散布数	100	100	100	50	50
棒状	サイズ[mm]	5×5×20	10×10×40	15×15×60	20×20×80	30×30×120
	散布数	50	50	50	50	25
板状	サイズ[mm]	5×5×1	10×10×1	15×15×1	20×20×1	30×30×1
	散布数	100	100	100	100	100

(2) 木片の放出位置及び計測方法

2017 年 3 月に実施した昭和初期仕様に対する実験では、屋根面中央の約 800mm 上（図 5.2.2

中の A の位置) 及び軒先の約 800mm 上 (図 5.2.2 中の B の位置) の 2 カ所から散布した。昭和初期仕様の試験体に対する実験では、木片が屋根面に落下せず、風に流されて棟を超えて風下へ飛散し、特に板状の木片に顕著にその傾向が見られたことから、2017 年 5 月に実施した現代仕様の試験体に対する実験では、さらに前方風上側 (屋根面を軒先から前方に 1,120mm 延長した高さから約 800mm 上) (図 5.2.2 中の C の位置) も加えた計 3 カ所から散布した。

なお、瓦の葺き直し回数の増加による試験体の不具合を防止するため、瓦下に侵入した木片の採取は放出位置ごとには行わず、A～C (昭和初期仕様は A～B) 全ての位置からの放出終了後にまとめて行った。昭和初期仕様の実験では瓦下侵入数は放出位置 A 及び B の両位置の合計値として計測したが、現代仕様の実験では、放出位置を識別するための印を各木片に付して散布することにより放出位置ごとに瓦下侵入数が得られた。

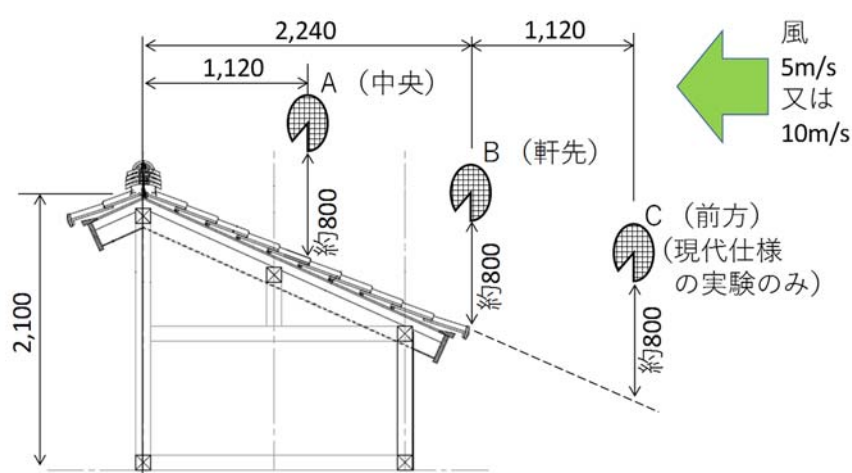


図 5.2.2 木片放出位置 (単位: mm)

表 5.2.2 木片散布実験条件一覧

実験条件		木片 放出位置	計測方法	
試験体仕様	風速		瓦上滞留数	瓦下侵入数
昭和初期仕様	5m/s	A、B	AB 個別に計測	AB 合算して計測
	5m/s	A、B	AB 個別に計測	AB 合算して計測
現代仕様	10m/s	A、B、C	ABC 個別に計測	ABC 個別に計測
	10m/s	A、B、C	ABC 個別に計測	ABC 個別に計測

5. 2. 2. 結果と考察

まず、昭和初期仕様の瓦屋根と現代仕様の瓦屋根の違いを確認するため、両仕様に対して共通して実施した条件 (放出位置 A 及び B) に関する実験結果を表 5.2.2～表 5.2.5 に示す。瓦下に侵入した木片数を見ると、昭和初期仕様と現代仕様では、大きな違いが見られ、昭和初期仕様の方が多くなっている。立方体状、棒状に関しては、現代仕様では風速 5m/s、10m/s いずれの条件においても瓦下への侵入は見られず、厚さ 1mm の板状の木片のみが瓦下に侵入する結果となった。一方で、昭和初期仕様では、5m/s で 5mm サイズの立方体状及び棒状の木片が侵入し、10m/s で

は最大 10mm サイズの木片の侵入が確認された。

瓦下に侵入した木片の体積を算出すると、表 5.2.6 のとおりとなる。現代仕様の瓦下に侵入した木片体積は昭和初期仕様の瓦下に侵入した木片体積の 3～4%となっており、瓦の仕様による木片の侵入しやすさが大きく異なることがわかる。風速の違いでは、風速が強い方が瓦下への侵入体積がやや多い結果となったが、屋根仕様の違いに比べればその差はわずかであり、例えば昭和初期仕様に対する板状木片のように風速 5m/s の方が逆に多くなる場合も見られた。

表 5.2.2 昭和初期仕様に対する実験結果（木片数）

形状	呼び寸法	サイズ [mm]	散布数 (各)	風速5m/s			風速10m/s		
				屋根上滞留数		瓦下侵入数 (計)	屋根上滞留数		瓦下侵入数 (計)
				A:中央	B:軒先		A:中央	B:軒先	
立方体	5	5x5x5	100	76	86	13	7	18	9
	10	10x10x10	100	100	99	0	65	71	6
	15	15x15x15	100	98	98	0	62	78	0
	20	20x20x20	50	50	50	0	37	38	0
	30	30x30x30	50	49	45	0	40	50	0
棒	5	5x5x20	50	36	46	5	4	11	4
	10	10x10x40	50	50	49	0	33	78※	1
	15	15x15x60	50	50	49	0	40	43	0
	20	20x20x80	50	50	49	0	37	35	0
	30	30x30x120	25	25	25	0	23	24	0
板	5	5x5x1	100	27	27	31	0	1	3
	10	10x10x1	100	42	54	31	1	5	6
	15	15x15x1	100	32	70	9	0	3	4
	20	20x20x1	100	41	75	6	1	4	1
	30	30x30x1	100	27	56	1	3	5	1

※昭和初期仕様、風速 10m/s、軒先放出時の棒状 10 mm サイズの散布数は 100 個。

表 5.2.3 現代仕様に対する実験結果（木片数）（放出位置 A 及び B に限る）

形状	呼び 寸法	サイズ [mm]	散布数 (各)	風速5m/s				風速10m/s			
				屋根上滞留数		瓦下侵入数		屋根上滞留数		瓦下侵入数	
				A:中央	B:軒先	A:中央	B:軒先	A:中央	B:軒先	A:中央	B:軒先
立方体	5	5x5x5	100	97	97	0	0	13	30	0	0
	10	10x10x10	100	100	98	0	0	68	31	0	0
	15	15x15x15	100	100	100	0	0	70	49	0	0
	20	20x20x20	50	50	50	0	0	30	28	0	0
	30	30x30x30	50	25	49	0	0	44	35	0	0
棒	5	5x5x20	50	50	49	0	0	8	18	0	0
	10	10x10x40	50	50	50	0	0	35	26	0	0
	15	15x15x60	50	50	48	0	0	41	33	0	0
	20	20x20x80	50	50	49	0	0	34	38	0	0
	30	30x30x120	25	25	25	0	0	20	21	0	0
板	5	5x5x1	100	67	90	1	2	0	8	0	0
	10	10x10x1	100	73	94	2	1	0	12	0	0
	15	15x15x1	100	70	95	0	0	3	10	0	1
	20	20x20x1	100	64	96	0	0	4	9	0	1
	30	30x30x1	100	64	70	0	0	12	2	0	0

表 5.2.4 昭和初期仕様に対する実験結果（屋根上滞留率及び瓦下侵入率）

形状	呼び 寸法	サイズ [mm]	風速5m/s		風速10m/s	
			屋根上 滞留率	瓦下 侵入率	屋根上 滞留率	瓦下 侵入率
立方体	5	5x5x5	0.81	0.065	0.125	0.045
	10	10x10x10	0.995	0	0.68	0.03
	15	15x15x15	0.98	0	0.7	0
	20	20x20x20	1	0	0.75	0
	30	30x30x30	0.94	0	0.9	0
棒	5	5x5x20	0.82	0.05	0.15	0.04
	10	10x10x40	0.99	0	0.74※	0.01
	15	15x15x60	0.99	0	0.83	0
	20	20x20x80	0.99	0	0.72	0
	30	30x30x120	1	0	0.94	0
板	5	5x5x1	0.27	0.155	0.005	0.015
	10	10x10x1	0.48	0.155	0.03	0.03
	15	15x15x1	0.51	0.045	0.015	0.02
	20	20x20x1	0.58	0.03	0.025	0.005
	30	30x30x1	0.415	0.005	0.04	0.005

※昭和初期仕様、風速 10m/s、軒先放出時の棒状 10 mm サイズの散布数は 100 個。

表 5.2.5 現代仕様に対する実験結果（屋根上滞留率及び瓦下侵入率）
（放出位置 A 及び B に限る）

形状	呼び 寸法	サイズ [mm]	風速5m/s		風速10m/s	
			屋根上 滞留率	瓦下 侵入率	屋根上 滞留率	瓦下 侵入率
立方体	5	5x5x5	0.97	0	0.215	0
	10	10x10x10	0.99	0	0.495	0
	15	15x15x15	1	0	0.595	0
	20	20x20x20	1	0	0.58	0
	30	30x30x30	0.74	0	0.79	0
棒	5	5x5x20	0.99	0	0.26	0
	10	10x10x40	1	0	0.61	0
	15	15x15x60	0.98	0	0.74	0
	20	20x20x80	0.99	0	0.72	0
	30	30x30x120	1	0	0.82	0
板	5	5x5x1	0.785	0.015	0.04	0
	10	10x10x1	0.835	0.015	0.06	0
	15	15x15x1	0.825	0	0.065	0.005
	20	20x20x1	0.8	0	0.065	0.005
	30	30x30x1	0.67	0	0.07	0

表 5.2.6 瓦下に侵入した木片体積[mm³]

形状	昭和初期仕様(X)		現代仕様(Y)		Y / X	
	5m/s	10m/s	5m/s	10m/s	5m/s	10m/s
立方体	1625	7125	0	0	0.000	0.000
棒	2500	4667	0	0	0.000	0.000
板	9200	2875	375	625	0.041	0.217
計	13325	14667	375	625	0.028	0.043

※昭和初期仕様に対する風速 10m/s のケースでは棒状の 10mm サイズを
150 個散布したことから得られた体積を 2/3 倍した。

現代仕様に対しては、図 5.2.2 の C の位置からも木片を放出する実験を行った。昭和初期仕様では同じ条件で放出する実験を実施していないため、昭和初期仕様との比較はできないが、結果を参考に表 5.2.7 に示す。多くの木片は屋根上まで届かずに試験体より風上側に落下したが、一部の木片は風に流されて屋根上に落下し一部は瓦下に侵入した。特に、風速 10m/s での板状の木片は、他と比べて瓦下に侵入する木片が多く確認され、その数は軒先や屋根中央から放出した場合よりも多かった。

表 5.2.7 現代仕様に対する放出位置 C（前方）の実験結果（木片数）（参考）

形状	呼び寸法	サイズ [mm]	散布数 (各)	風速5m/s		風速10m/s	
				屋根上	瓦下	屋根上	瓦下
				C:前方	C:前方	C:前方	C:前方
立方体	5	5x5x5	100	1	0	9	0
	10	10x10x10	100	0	0	0	0
	15	15x15x15	100	0	0	0	0
	20	20x20x20	50	0	0	0	0
	30	30x30x30	50	0	0	0	0
棒	5	5x5x20	50	0	0	3	0
	10	10x10x40	50	0	0	0	0
	15	15x15x60	50	0	0	0	0
	20	20x20x80	50	0	0	0	0
	30	30x30x120	25	0	0	0	0
板	5	5x5x1	100	11	1	4	3
	10	10x10x1	100	2	0	1	2
	15	15x15x1	100	3	0	2	1
	20	20x20x1	100	3	0	0	1
	30	30x30x1	100	10	0	1	0

5. 3. 火の粉による出火実験

5. 1に示す昭和初期仕様及び現代仕様の2種類の試験体に対して、風上より火の粉を吹き付け、屋根下地への火の粉の着床及び燃え抜け状況について観察した。昭和初期仕様に対する実験は2017年3月、現代仕様に対する実験は2017年5月に実施した（写真5.3.1）。



写真 5.3.1 有風下での火の粉による出火実験の様子

5. 3. 1. 実験条件

試験体より風上に水平距離で3m、高さ1.5mに設置した約0.5×0.5×0.5mの木製クリブ2個に着火し、炎が木製クリブ全体を包み込んだのを確認した後に、風速5m/sおよび10m/sの一定条件下で火の粉を発生させ、屋根下地への火の粉の着床及び燃え抜け状況について確認した（図5.3.1）。

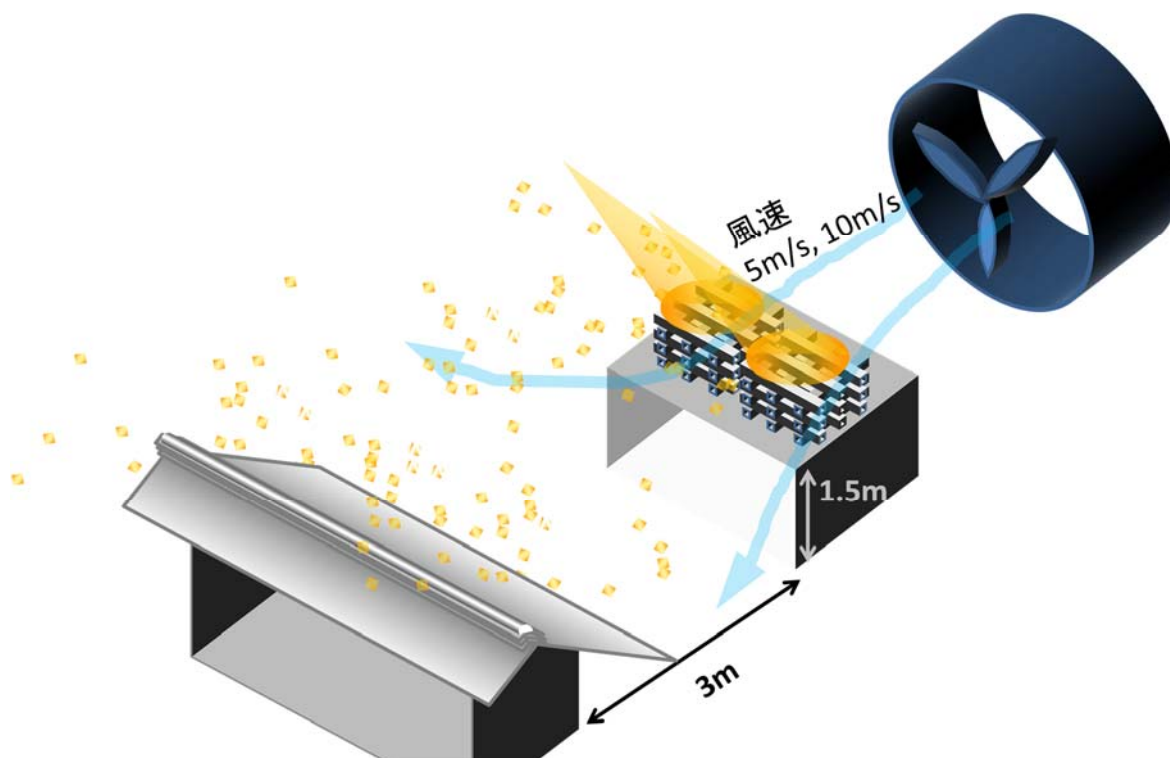


図 5.3.1 有風下での火の粉による出火実験概要

5. 3. 2. 結果と考察

昭和初期仕様の試験体を用いた実験では、風速 5m/s では屋内側への燃え抜けは確認されなかった一方で、風速 10m/s では瓦屋根上部より白い煙が上がった後（写真 5.3.2）、屋内側に火炎の燃え抜けが確認された（写真 5.3.4）。消火後に瓦を除去して屋根下地を観察した結果、32 箇所で屋内側への燃え抜けが確認され（写真 5.3.5）、瓦の隙間を通じて侵入した火の粉が、屋根下地である巻木端あるいは瓦棧に着床して燃焼が継続し、やがて屋内側へと燃え抜けることが確認された。火の粉の侵入箇所は風向きに平行な瓦尻からのものが多いと見られ、瓦の緊結用に水平に配された瓦棧付近で大きく燃え抜けた箇所が多い（写真 5.3.6）ことから、瓦下に侵入後、瓦棧付近に火の粉が堆積し、薄く乾いて燃えやすい巻木端が燃え抜けることで、屋内に延焼したと考えられる。



写真 5.3.2 風速 10m/s 実験時の瓦屋根上部



写真 5.3.3 棟際に堆積する火の粉



写真 5.3.4 実験中の屋内側の状況



写真 5.3.5 棟部で屋根下地（卷木端）が燃え抜けた例



写真 5.3.6 瓦棧付近で燃え抜けた例

屋根下地に付いた火の粉の着床によるとみられる焦痕の数を数えた。実験は屋内側への延焼が確認された時点（写真 5.3.4）で、消火、解体を行っており、また焦痕面積は考慮せず、写真 5.3.5 のように焦げ広がった部分の焦痕数は 1 とした。図 5.3.2 に焦痕の分布と数を記す。風速が上がるにつれて焦痕の数が増加することが分かる。また軒先から棟までの段数ごとに集計した数を比較すると、風速 5m/s では全体に均等に散らばっているのに対し、風速 10m/s では棟に近い側で焦痕が増加していることが分かる。これは棟付近での燃え抜けが多くみられた現地調査結果と符合する。今回の実験では瓦の隙間は軒と棟で大きな差はなく、また瓦下部には瓦を銅線で吊るための瓦棧が水平方向に通っており瓦下侵入後に火の粉が棟部に吹き寄せられたとは考えにくいいため、瓦上部において棟の立ち上がりの影響で棟付近の方が火の粉が吹き溜まりやすく（写真 5.3.3）、結果として瓦下部に侵入する火の粉も多くなったと考えられる。

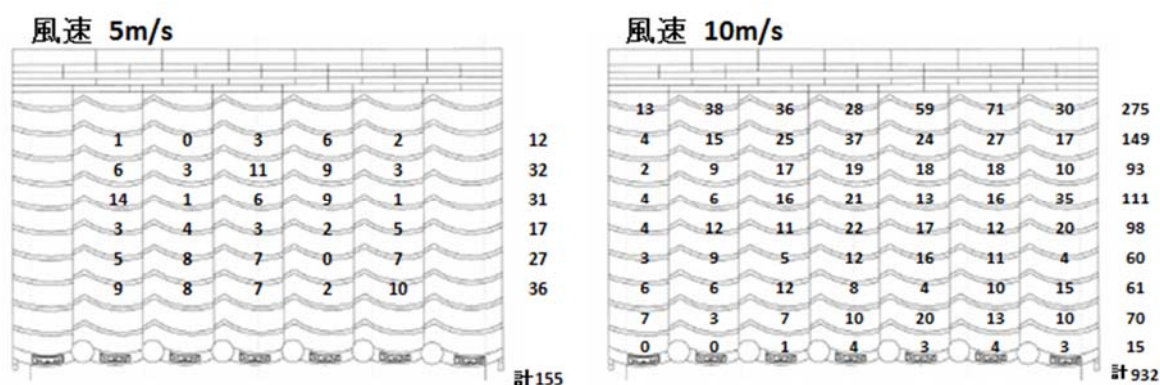
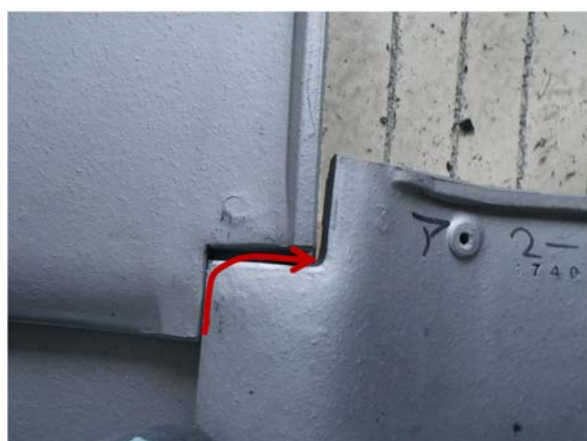
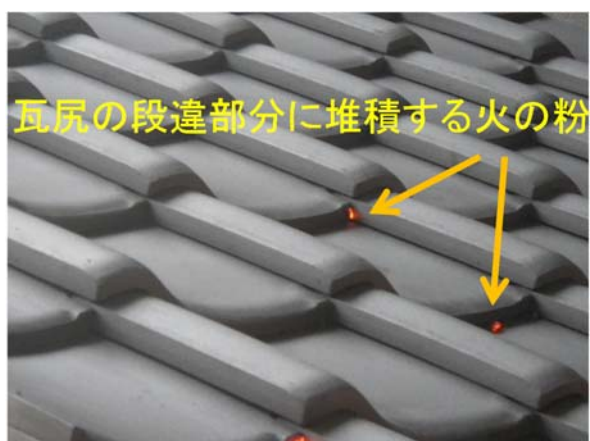
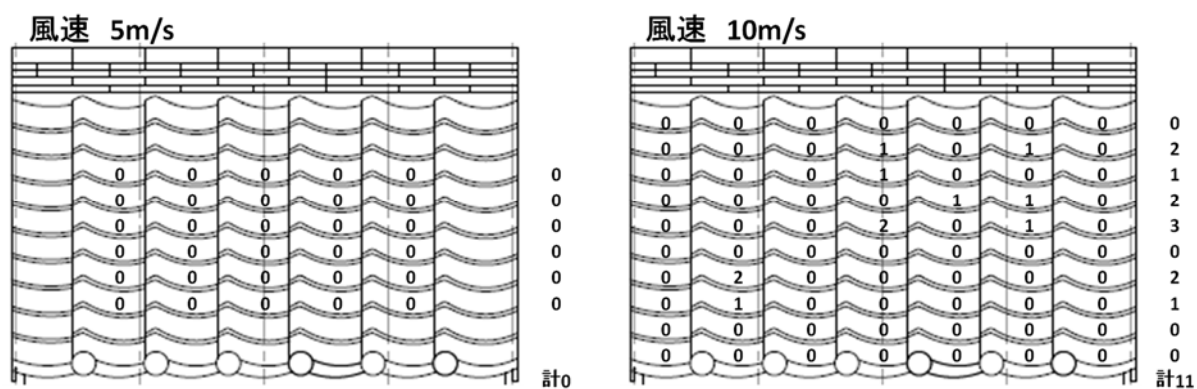


図 5.3.2 昭和初期仕様における火の粉の着床による焦痕の数

現代仕様の試験体を用いた実験では、風速 5m/s、10m/s のいずれにおいても屋内側への燃え抜けは確認されなかった。屋根下地における焦痕箇所を観察した結果を図 5.3.3 に示す。風速 5m/s では焦痕は確認されず、10m/s では僅かに 11 か所のみと、昭和初期仕様に比べて約 1/80 と大幅に低減されることが確認された。侵入箇所は写真 5.3.7 に示すように、瓦尻の差込部周囲に限定されており、当該部分は瓦棧で引掛ける構造上、数ミリ程度の隙間は避けられないが、瓦の重なりにより覆われる上、鍵状になっていることから、実際には瓦尻の段違い部分に堆積した火の粉（写真 5.3.5）が侵入するには、かなり焼け細るまで瓦上に留まると考えられ、実際に実験後には数多くの火の粉が瓦上で消炎した状態で堆積しているのが確認された（写真 5.3.6）。内部の屋根下地で確認された焦痕も最大で 5mm 程度に留まっており（写真 5.3.8）、現代仕様であれば、屋根下地が燃え抜けることはないことが確認された。



6. 市街地火災シミュレーションによる延焼性状の確認

今回の火災の焼損範囲は準防火地域に指定されていたものの、古い建物が多く、準防火地域の木造建物に対して求められる性能を有していない建物が混在していたことが推定された。そこで、全ての木造建物が準防火地域において求められる性能を有する場合等の延焼性状を確認するため、市街地火災シミュレーションを用いた検討を行った。

6. 1. シミュレーターの概要

(1) シミュレーターの機能

シミュレーションは国土技術政策総合研究所及び建築研究所が開発した市街地火災シミュレーションプログラム⁶⁷⁾を用いた。このプログラムでは建物(1棟以上)の情報(形状、階数、構造)を市街地データとして入力し、出火点、風向・風速を設定すれば、出火以降の時々刻々の火災性状が計算される。本計算により各建物の延焼時刻の他、各建物の詳細な火災性状(火災室内の温度や発熱速度等)が得られる。今回の火災では飛び火が多数確認されており、飛び火の影響を含めた延焼性状を確認する必要がある。シミュレーションプログラムにおける飛び火モデルを以下に示す。

(2) 飛び火モデル

飛び火の発生機構は未解明な部分が多く、現在もさまざまな研究が行われている途上にあるが、今回用いた飛び火モデルは、過去の実験や観測を踏まえて以下の設定に基づいたモデルを採用している。

- ① 燃焼建物から放出される火の粉の発生量(単位時間あたりの発生質量)は、当該建物の発熱速度に比例する。
- ② 火の粉の分布は、風向に平行方向風下側には発生源を原点とした対数正規分布に、風向に直交方向には正規分布にそれぞれ従う。
- ③ 火の粉落下後は、指数関数に従って質量が減少(1分間あたり質量が20%減少)する。
- ④ 火の粉による単位時間あたりの延焼確率(以下、1分間あたりの火の粉による延焼確率を「飛び火確率」という。)は、屋根面に降積した火の粉の当該時刻における残存質量に比例する。

①の比例係数は発生量に関する係数であるが、発生した量の火の粉が風下側に分布することから最終的には風下側建物の屋根面に降積する火の粉の密度に対する比例係数(さらに言えば、風下側建物の屋根面に降積した火の粉の残存質量に対する比例係数)となる。このため、風下側の各建物の飛び火確率は、①の比例係数と④の比例係数の積(以下、①の比例係数と④の比例係数の積を「飛び火係数」という。)を比例係数とする式に置き換えることができる。この飛び火係数は、過去の市街地火災で観測された延焼速度と計算による延焼速度が比較的良く合うように調整して求めたが、今回の火災で観測された飛び火の発生地点数より計算によって得られる飛び火発生地点数が著しく少ない傾向が見られたことから、過去の市街地火災に基づく係数を50倍した値に設定することで調整した。

なお、今回の火災では空撮映像等によって建物単位の詳細な延焼状況及び飛び火の状況が確認されたが、過去の市街地火災時には今回の火災で得られたような詳細な情報を得ることは困難であったことが考えられ、そのために、過去の記録に基づいて設定した飛び火係数では今回の火災

の飛び火性状を十分再現できなかった可能性が考えられる。

シミュレーションで採用した飛び火モデルに基づいて、風速 12.5m/s の下で発熱速度 100MW（1 棟~数棟の裸木造建築物の火災を想定）の火源から火の粉が発生する場合の、建築面積 100m² の裸木造建築物に対する飛び火確率を求めた計算例を以下に示す。

図 6.1.1 中の青色線は、風速 12.5m/s における火の粉分布の確率密度関数で対数正規分布となっている。図 6.1.1 及び図 6.1.2 の朱色線は、それぞれ、X 軸上（Y=0）及び X 軸に直交する軸上（X=200）の飛び火確率の分布を、図 6.1.3 は、飛び火確率の分布の面的な広がりを図示したものである。

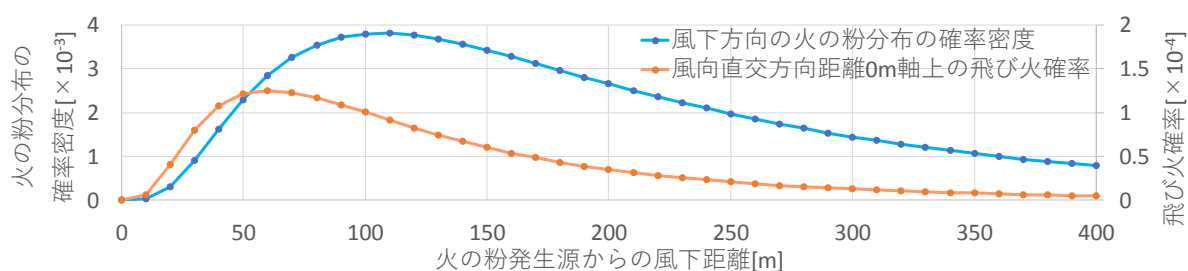


図 6.1.1 風下方向の火の粉の分布及び飛び火確率の分布

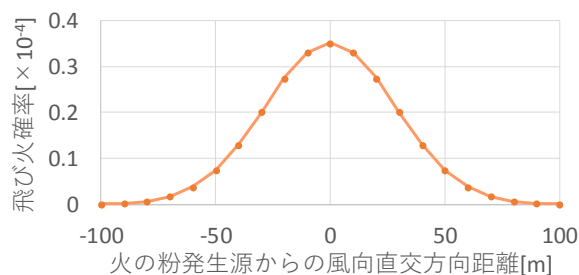


図 6.1.2 風向と直交方向の飛び火確率の分布（風下距離 200m の風向直交軸上）

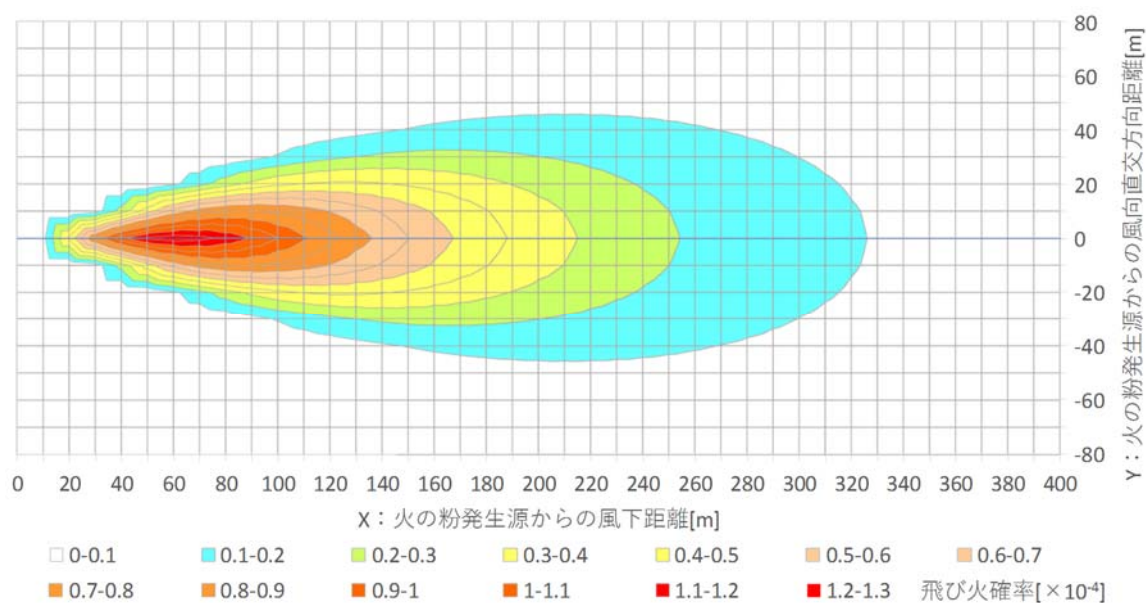


図 6.1.3 飛び火確率の分布

6. 2. シミュレーションに用いる再現市街地データ

シミュレーション用の市街地データとして、現地の火災当時の建物の状況を再現した市街地データ（以下「再現市街地データ」という。）を図 6.2.1 及び表 6.2.1 のとおり作成した。データ作成範囲は、図 6.2.1 の着色した建物の範囲であり、今回の火災で焼損の激しかった建物の範囲（赤枠内）から 1 ブロック程度拡張した範囲とした。

建物形状は糸魚川市より提供を受けた地形図データ（シェープ形式）に基づいて作成し、建物属性（構造及び階数）は現地調査、Web 等の写真画像及び特定行政庁より提供を受けた建築確認データに基づいて推定した。

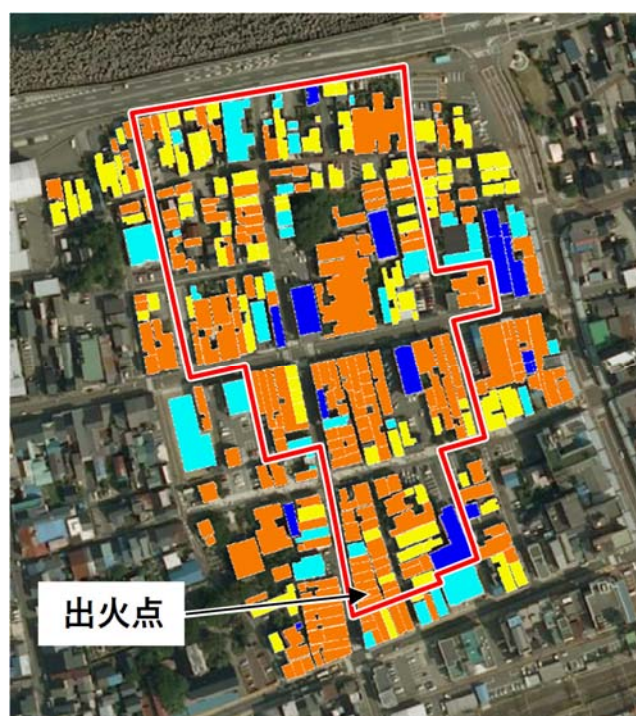


図 6.2.1 シミュレーションに用いる再現市街地データの範囲及び建物構造
 （写真出典：国土地理院撮影の空中写真（2009 年撮影））
 （凡例は表 6.2.1 に示す）

表 6.2.1 図 6.2.1 の凡例及び構造別建物棟数

構造	建物棟数	
	データ作成範囲	赤枠内
 耐火	17	7
 準耐火	40	22
 防火構造	91	56
 裸木造	202	121
計	350	206

6. 3. 計算条件

出火建物は実際の火災で火元となった建物に設定し、出火から 6 時間後までの計算を行った。風向及び風速は南風（真南から 11 度東寄り）12.5m/s（アメダス観測所（糸魚川）における出火から 3 時間の平均風速）とした。真南から 11 度東寄りとした理由は、火災時の空撮映像から煙が国道 8 号にほぼ直交する方向に流れていたことから図上計測により国道 8 号に直交する角度を 11 度東寄りと確認したことによる。

建物構造は、図 6.2.1 に示した再現市街地（以下「市街地①」という。）を基本ケースとして、以下に示す一部の建物構造を変更した 2 種の仮想的な市街地データを作成し、それぞれの延焼状況を比較した。

- i) 裸木造建築物が、全ての外壁面及び開口部に防火措置を施した防火構造建築物となった場合を想定した市街地（以下「市街地②」という。）
- i i) 上記 i) に加えて、全ての防火構造建築物の屋根の仕様が現代仕様であると仮定して、市街地①及び市街地②に比べて飛び火係数を 1/40 倍に低減した市街地（以下「市街地③」という。）

飛び火係数の倍率 1/40 は、以下の仮定に基づいて式 6.3.1 により求めた。

- a) 5 章に示した火の粉による出火実験においては昭和初期仕様の屋根に比べて現代仕様の屋根では炭化痕の数が 1/80 であった。炭化痕の数の比は必ずしも飛び火確率の比そのものではないが、炭化痕の数は火の粉の侵入の可能性と火の粉侵入後の野地板等の燃え抜けの可能性を含めた飛び火に対する抵抗性を示した結果と考えられることから、飛び火確率が炭化痕の数の比例すると見なして、屋根仕様の違いによる木造建物の飛び火確率が 1/80 であると仮定
- b) 今回の火災時に昭和初期仕様の屋根がどの程度の割合で混在していたかは不明であることから、昭和初期仕様の屋根と現代仕様の屋根が 1/2 ずつであったと仮定

$$k = \frac{\text{市街地③の木造建物の飛び火確率}}{\text{市街地①及び市街地②の木造建物の平均飛び火確率}} = \frac{b}{xa + (1-x)b} = \frac{r}{x + (1-x)r} \approx \frac{1}{40} \quad (\text{式 6.3.1})$$

k : 市街地①及び市街地②において設定する飛び火係数に対する市街地③において設定する飛び火係数の比

a : 昭和初期仕様の瓦屋根の飛び火確率

b : 現代仕様の瓦屋根の飛び火確率

x : 市街地①及び市街地②における、木造建物のうちの昭和初期仕様の瓦屋根の建物の割合（= 1/2）

r : 昭和初期仕様の瓦屋根の飛び火確率に対する現代仕様の瓦屋根の飛び火確率の比（= $b/a = 1/80$ ）

計算対象のデータ範囲は、データ作成範囲全域を対象とした範囲と図 6.2.1 の赤枠内のみを対象とした範囲の 2 種類を設定した。以上により、建物構造 3 種の市街地（市街地①～③）に対してそれぞれ計算対象のデータ範囲を 2 種設定し、計 6 種（Case1～Case6）の計算を行った（表 6.3.1）。

なお、計算対象のデータ範囲を図 6.2.1 の赤枠内のみとした場合の計算は、消防活動によって周囲への延焼が阻止されることを想定したものである。今回の火災による焼損区域は、消防活動等によって周囲への延焼が阻止された結果としてできた区域であることから、今回の火災時に行

われた消防活動と同程度の消防活動が行われる状況を計算するために、計算対象のデータ範囲を焼損の激しい範囲に限定した。

また、糸魚川市消防本部によれば、出火点のある街区から東側街区への延焼は、一旦北方面へ延焼が進んで街区北端付近で東側街区へ延焼し、その後東側街区を南向きに延焼が進んだとされている。同様の証言は現地の周辺住民へのヒアリングでも確認された。出火点周辺ではこれらの街区間では消火活動が行われたために延焼が阻止されたと考えられる。火災初期の延焼性状の違いは火の粉の発生源となる燃焼建物数の違いでもあり、市街地全体の火災性状への影響が極めて大きいことから、消防活動を想定した赤枠内のみを対象とした計算においては、出火点のある街区とその東側街区間の延焼が街区北端部以外では発生しないように設定した。

表 6.3.1 シミュレーション条件

出火点		今回の火災の火元建物		
風向・風速		南風（真南から 11 度東寄り）12.5 m/s		
計算時間		出火から 6 時間		
建物構造		市街地①	市街地②	市街地③
計算対象の データ範囲	全域	Case1	Case2	Case3
	赤枠内 （消防活動を想定）	Case4	Case5	Case6

6. 4. 計算結果と考察

（1）データ作成範囲全域を対象とした計算

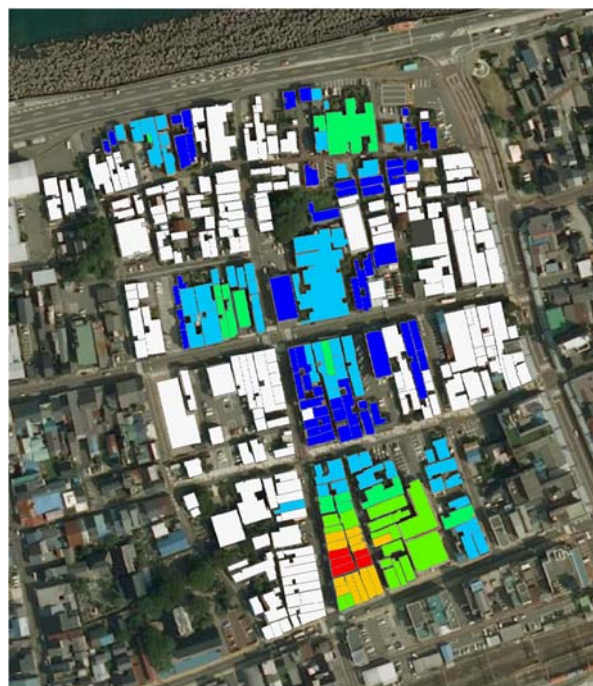
シミュレーションでは飛び火の発生する時刻や場所はランダム性があるため、計算ごとに異なる結果となることから、各市街地それぞれ 100 回ずつの計算を行った。図 6.4.1 は一例として 100 回の計算を行ったうちの典型的な 1 回の計算結果を図示したものである。また、図 6.4.2 に 100 回の計算を行った結果を集計し、経過時間ごとに焼損棟数の最大及び平均を求めた結果を示す。

Case1 では出火から 1 時間以内に仲道線を挟んだ両側の街区に広範囲に延焼が及んでおり、これが大量の火の粉を発生する原因となって飛び火の発生を助長して急速に火災が拡大する様子が見られる。飛び火計算のランダム性により計算ごとに延焼棟数の増加速度に差はあるが、4 時間後には平均でみても市街地のほぼ全ての建物が焼損する結果となった。

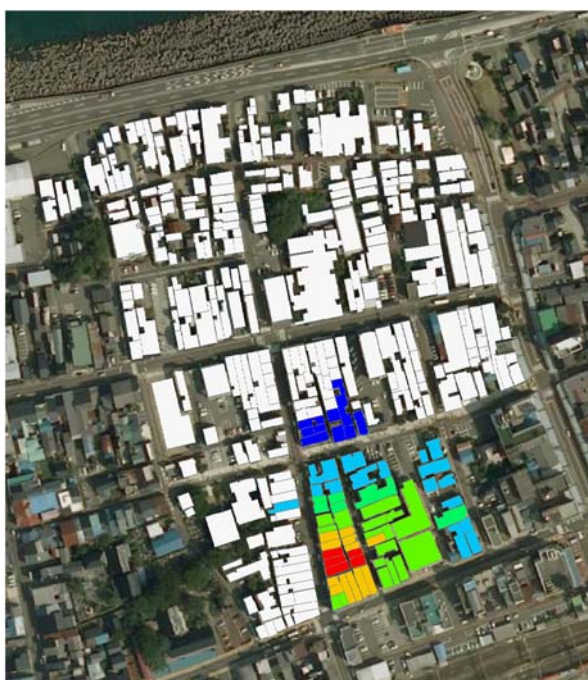
Case2 では火元建物とその周囲の防火性能が向上しているため、出火から 1 時間では数棟の火災に止まっている。広範囲に延焼が及ぶのは 3~4 時間経過後でありその頃から徐々に飛び火が発生し始めるが、飛び火した建物やその周囲の建物の防火性能が向上していることから、延焼範囲の拡大は緩慢で 6 時間経過時点でも延焼が及んだ建物の割合は平均で 1/3 程度、最大でも 1/2 程度に止まっている。Case3 では飛び火があったのは 100 回の計算中 8 回のみであり、ほとんどの計算で図 6.4.1(c)に示す延焼範囲に止まる結果となった。なお、飛び火は Case1 では 100 回の計算中 100 回、Case2 では 100 回の計算中 98 回で発生した。



(a) Case1 (再現市街地)



(b) Case2 (裸木造を全て防火構造に変更)



(c) Case3 (市街地②+飛び火係数 1/40 倍)

火災発生から当該建物に
延焼するまでの経過時間

- ～1時間
- ～2時間
- ～3時間
- ～4時間
- ～5時間
- ～6時間

6時間の計算終了時点で
延焼しなかった建物

図 6.4.1 データ作成範囲全域を対象とした計算結果の一例

(写真出典：国土地理院撮影の空中写真 (2009 年撮影))

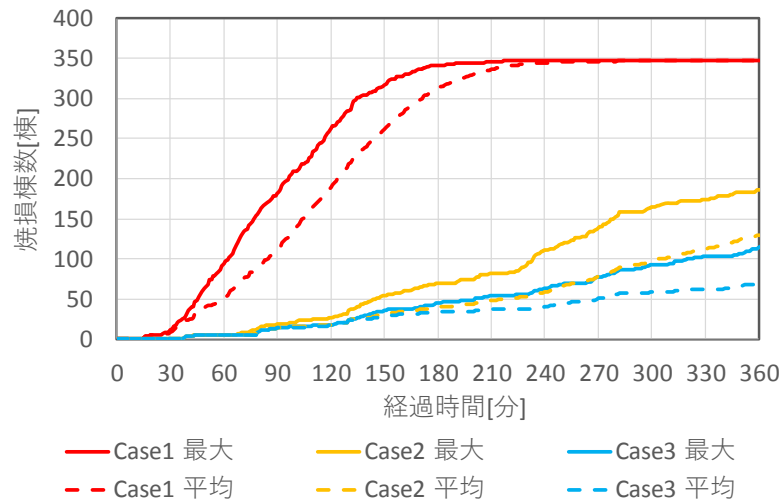


図 6.4.2 100 回計算を行った最大及び平均焼損棟数
(データ作成範囲全域を対象とした計算)

(2) 消防活動を想定して焼損の激しい範囲のみを対象とした計算

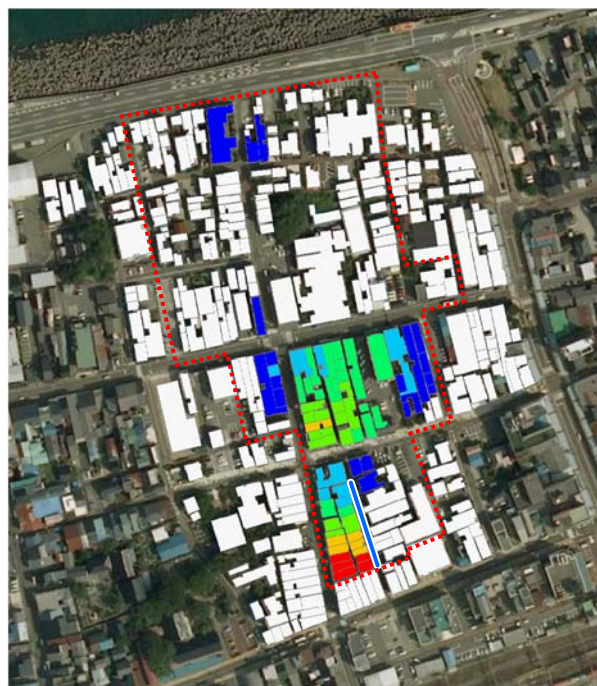
消防活動を想定して行った焼損の激しい範囲のみを対象とした計算においても(1)と同様に100回の計算を行った(図 6.4.3 及び図 6.4.4)。全般的な結果の傾向も(1)と同様であるが、特に火災初期の段階において消防活動の影響により延焼範囲は比較的狭い範囲に抑えられている。

図 6.4.4 には、図 4.1.1 に示した今回の火災で確認された実際の延焼動態から求めた焼損棟数の時刻歴を併せて示している。実際の火災に最も近い計算条件となる Case4 と今回の火災を比較すると、Case4 の平均値は、今回の火災をやや上回っているものの、焼損棟数の増加傾向は概ね同様の経過を示しており、シミュレーションによる計算の有効性を確認することができる。

(1) に示す Case1~Case3 との比較では、Case4 では1時間経過程度までは、焼損棟数の増加は Case1 に比べて緩慢であるが、東側や北側の街区に延焼が及ぶ頃に急激に加速し、平均で5時間程度で計算対象のデータ範囲の全域が焼損する結果となった。なお、Case4 では100回の計算全てで飛び火が発生した。Case5 及び Case6 に関しては、火元建物のある街区では、北方向にのみ1時間あたり数棟ずつの緩慢な延焼性状を示しており、飛び火の影響を除けば火元建物のある街区北側の仲道線を越えずに計算が終了する結果となった。これにより、飛び火の発生が Case2 や Case3 に比べて大幅に抑制され、飛び火の発生は Case5 では100回の計算中66回、Case6 では100回の計算中1回のみであった。



(a) Case4 (再現市街地)



(b) Case5 (裸木造を全て防火構造に変更)



(c) Case6 (市街地②+飛び火係数 1/40 倍)

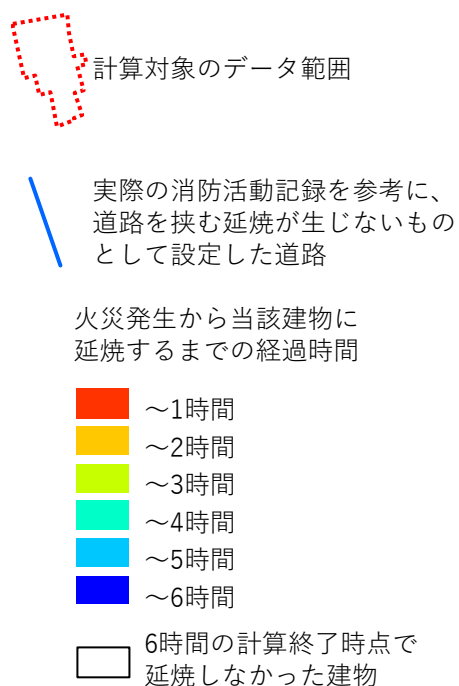


図 6.4.3 消防活動を想定して焼損の激しい範囲のみを対象とした計算結果の一例

(写真出典：国土地理院撮影の空中写真 (2009 年撮影))

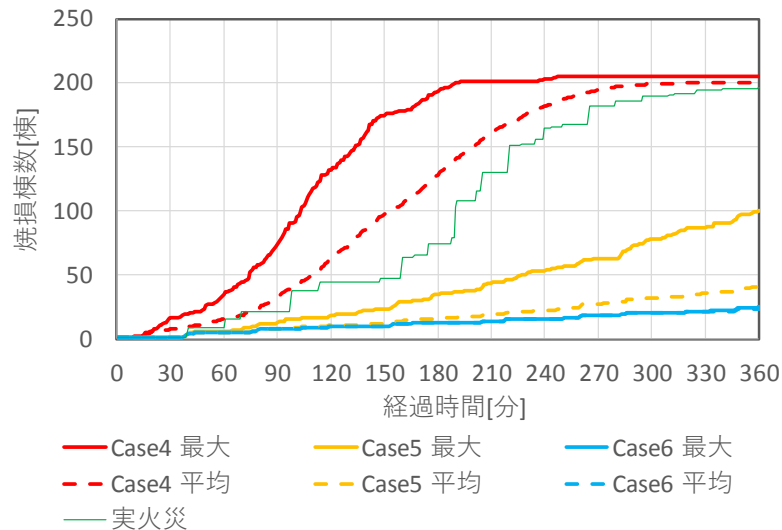


図 6.4.4 100 回計算を行った最大及び平均焼損棟数
(消防活動を想定して焼損の激しい範囲のみを対象とした計算)

(3) 考察

データ作成範囲全域を対象とした計算と消防活動を想定して焼損の激しい範囲のみを対象とした計算を行ったが、これら 2 種の計算範囲の計算に共通して次の傾向が確認された。

市街地①：再現市街地では、実際の火災と同様に多数の飛び火が発生し、市街地北端まで 3 時間程度で延焼。計算範囲内のほとんどの建築物が焼失。

市街地②：裸木造の外壁や開口部全てに防火措置を施した防火構造とした場合には、延焼速度が遅くなり、飛び火の発生数及び焼損棟数が大きく減少。

市街地③：市街地②に対して現代仕様の瓦屋根を想定して飛び火係数を 1/40 倍に低減した場合の計算を実施。飛び火がほとんど発生しなくなり、焼損棟数がさらに減少。

裸木造を主体とする市街地では、出火後早期に隣棟への延焼拡大が生じ、飛び火が発生する可能性も高くなる。計算では、実際の火災と同程度あるいはさらに早く市街地北端の海岸沿いの建築物にまで延焼が拡大する状況が確認された。一方で裸木造建築物の外壁や開口部の全てに防火措置を施した防火構造建築物とした場合には、急激に延焼速度が遅くなり、出火後 2 時間程度までは、飛び火が生じにくい状況が確認できる。ただし、時間経過と共に燃烧範囲が拡大し、4～5 時間後には飛び火の影響により焼損棟数の増加が徐々に早くなっている。さらに、屋根の仕様を現代仕様に変更した場合を想定して、5 章に示した火の粉による出火実験の結果に基づいて飛び火係数が 1/40 倍に低減すると設定すれば、飛び火はほとんど発生せず、焼損棟数の極端な増加も見られなくなることが確認された。

なお、今回のシミュレーションによる検討は糸魚川市を対象として、特定の条件に基づいて行ったものであり、既存の市街地における延焼可能性を評価する際には、様々な気象条件や市街地特性などの条件を設定する必要がある。また、シミュレーションを用いた空地や広幅員道路の確保、延焼遮断帯の整備等の市街地整備による防災性能の向上効果の評価に関する技術的検討を進める必要がある。

7. おわりに

平成 28 年 12 月に新潟県糸魚川市で発生した大規模火災において、火災映像分析等により延焼動態を明らかにしていく過程で、飛び火による延焼拡大がみられたことが確認された。そこで、その要因を検討するために、火の粉が瓦の隙間から入って屋根下地が燃えるのかどうかを確認する火災実験、当該地区において求められる防火性能を建物が有している場合や現代仕様の瓦屋根とした場合の焼失状況を確認する市街地火災シミュレーションを行った。

火災実験からは、今回行った実験条件においては、現代仕様の瓦屋根は風速 10m/s の状況下であつても燃え抜けることは無かったことから、現代仕様の瓦屋根であれば飛び火の影響がきわめて小さいことが分かった。

また、市街地火災シミュレーションによる検討では、建築物の外壁及び開口部における防火措置に応じて、飛び火の発生や焼損棟数は大きく減少することや、さらに屋根の仕様を現代仕様とした場合には、その傾向はさらに顕著となることが分かった。

これらのことから、準防火地域に本来期待される性能が確保されるよう、建替えや防火改修が進んでいる場合は、火災による被害が小さくなる可能性が示唆された。

今後、既存の市街地における延焼可能性を評価する手法の精度を高めるため、市街地火災シミュレーターにおいて、様々な気象条件や市街地特性などを適切に条件化することや、空地や広幅員道路の確保、延焼遮断帯の整備等の市街地における防災性能の更なる向上に係る効果を含め、引き続き技術的検討を進める必要がある。

謝辞

今回の火災で被災された方々に心からお見舞いを申し上げますとともに、被災地の一刻も早い復興を祈念いたします。また、本調査を実施するにあたり、被災直後の混乱した状況下、あるいは復興・生活再建に向けて大変お忙しい中、被災建築物の調査に御協力いただいた方々、関係資料を御提供いただいた方々に対し、ここに深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 糸魚川市駅北大火対策本部「糸魚川市駅北大火対応状況 平成 29 年 3 月 23 日正午現在」,
<http://www.city.itoigawa.lg.jp/secure/19850/>【3 月 23 日午後配布】記者発表資料.pdf, 平成
29 年 6 月 27 日閲覧
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 国立研究開発法人建築研究所「平成 28 年 (2016 年)
12 月 22 日に発生した新潟県糸魚川市における大規模火災に係る現地調査報告 (速報)」,
<http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h28/itoigawa01.pdf>, 平成 29 年 1 月 13 日
- 3) 糸魚川市大規模火災を踏まえた今後の消防のあり方に関する検討会「糸魚川市大規模火災を
踏まえた今後の消防のあり方に関する検討会報告書」,
[http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h29/itoigawa_daikibokasai/06/houkokus
yo.pdf](http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h29/itoigawa_daikibokasai/06/houkokusyo.pdf), 平成 29 年 6 月 7 日閲覧
- 4) 糸魚川市「eまっぷ いといがわ」,
<http://itoigawa.geogeo.jp/>, 平成29年5月29日閲覧
- 5) 糸魚川市「糸魚川市火災概図」
- 6) 国土地理院技術資料 C・1-No.400「高度な画像処理による減災を目指した国土の監視技術
の開発総合報告書」, <http://www.nilim.go.jp/lab/jdg/doc/gensai.pdf>, 平成29年6月20日閲覧
- 7) 岩見達也, 林吉彦, 大宮喜文「飛火を反映した市街地火災シミュレーションの構築 (その 2)
火災実験に基づいた飛火現象のモデル化とシミュレーションの構築」,

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

N o . 9 8 0 July 2017

建築研究資料

Building Research Data

N o . 1 8 4 July 2017

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

©国立研究開発法人建築研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

国土技術政策総合研究所企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675

〒305-0802 茨城県つくば市立原1番地

国立研究開発法人建築研究所企画部企画調査課 電話:029-864-2151 (代)