
第3章 防災上の課題抽出のための調査

3.1 調査の主旨及び概要

平成24年度から平成27年度にかけて小山工業高等専門学校が中心となり早稲田大学や東京都市大学、さらに地域の方々と共に科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業「伝統的建造物群保存地区における総合防災事業の開発」プロジェクトが進められた。このプロジェクトにおいて、嘉右衛門町伝統的建造物群保存地区（以下、伝建地区）の防災に資する様々な知見が蓄積された。さらに、平成28年度には伝建地区の防災計画策定に向けた補足調査を小山工業高等専門学校横内研究室が実施した。

本章では、伝建地区で想定される災害から歴史資産を保護するとともに、安全安心な暮らしを確保するための課題とその方策を検討するために、上記の研究及び調査の結果から地区の現況や脆弱性を明らかにする。

伝建地区周辺では、平成23年の東日本大震災で多くの歴史的建造物に被害が生じた。さらに、平成27年9月関東・東北豪雨によって伝建地区の広い範囲が浸水する被害を受けた。その他にも周辺では竜巻が発生するなど、自然災害が少ないと言われてきた伝建地区周辺において、近年になり様々な災害が発生している。そのため、伝建地区の防災計画では、火災だけでなく、様々な災害にも対応できるような地域防災の視点が必要と考える。さらに防災を広義的に見れば、単に個々の建造物を護るだけではなく、高齢化や市街化が進む伝建地区においては災害に耐えられる地域づくりを進めていくことも防災対策の一環として重要である。

そのため、本章では以下についての調査を行い整理した。

- 人々の意識や繋がりに関する調査
 - ・地域の印象
 - ・各種災害やその対策に対する心配
 - ・高齢化の現状
 - ・災害時に頼れる親族の有無
 - ・近隣住民間の繋がり
 - ・災害時の対応行動の認識
- 建物や沿道工作物などの現況に関する調査
 - ・建物の現存状況
 - ・屋敷地の奥や裏通りの現況
 - ・細街路や沿道工作物の現況
 - ・駐車場・空き地・広場の現況
- 火災に対する調査
 - ・消防体制

- ・ 消防水利の現況
- ・ 地域住民の消防力の現状
- ・ 消防隊の到着及び放水開始の時間
- ・ 延焼シミュレーションによる市街地火災性状
- ・ 土蔵造の町並みにおける無線連動式住宅用火災警報器の電波伝搬特性
- 地震に対する調査
 - ・ 伝建地区の地震リスク
 - ・ 地盤性状と地盤増幅特性
 - ・ 家屋の耐震性能に関する総体的傾向
 - ・ 歴史的建造物の建物規模及び構造耐力上主要な部材等の傾向
 - ・ 歴史的建造物の固有周期と減衰定数の傾向
 - ・ 伝建地区周辺の仕様の土塗壁の構造性能
 - ・ 伝統的建造物の保有水平耐力等の評価
 - ・ 構造部材の劣化状況
 - ・ 地域住民の地震に備えた取り組みの動向
 - ・ 沿道工作物や設置物の現況
- 水害に対する調査
 - ・ 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨災害の浸水状況
 - ・ 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨災害での伝統的建造物の被害状況
 - ・ 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨時の住民の様子
 - ・ 水害後のボランティアによる取り組み
- 災害時避難に関する調査
 - ・ 地震時の避難先に関する住民の認識
 - ・ 災害時に避難が困難になり得るエリア
 - ・ 細街路の閉塞危険性
 - ・ 高齢者の避難に対する留意点
- 復旧・復興に関する調査
- 環境物件に対する調査

ここで、調査では前述した既往の調査研究で平成 25 年に行われた地域防災力や防災意識に関するアンケート調査を用いるとともに、平成 28 年に伝建地区周辺の居住者及び事業者を対象として新たにアンケート調査を実施し、分析を行った。

なお、延焼シミュレーションによる市街地火災性状については、早稲田大学理工学術院創造理工学研究科長谷見研究室・佐藤秀樹氏の修士論文「在郷町型伝建地区における火災被害低減対策に関する研究～栃木市嘉右衛門町地区におけるケーススタディ～」を、伝統的建造物の保有水平耐力等の評価については、東京都市大学大学院工学研究科大橋研究室・樋口美早紀氏の修士論文「関東型町屋の架構形式とその保有水平耐力～栃木市・桜川市の伝建建物について～」による知見を引用させていただいた。

3.2 人々の意識や繋がりの現状

日頃からの地域の繋がりや住民の意識と行動力などが災害時に有機的に機能することによって地域の防災力は高まる。そこで、伝建地区周辺に居住する方を対象としたアンケート調査（資料3参照）から人々の意識や繋がりの現状について把握した。

3.2.1 地域の印象

生活している地域の印象を把握するために図 3.2.1 に示す項目について、5段階で評価してもらった(回答総数 530 件)。多くの方が「魅力的に思う」「古い町並みを残したい」と回答しており歴史的町並みへの愛着が見てとれる。しかし、その一方で各種災害への強さやその対策については、十分でないと思っている方が4～5割を占めた。さらに「どちらでもない」と回答する方が多く、災害リスクを良く理解しておらず災害に対して関心が低い住民も多い様子が窺える。

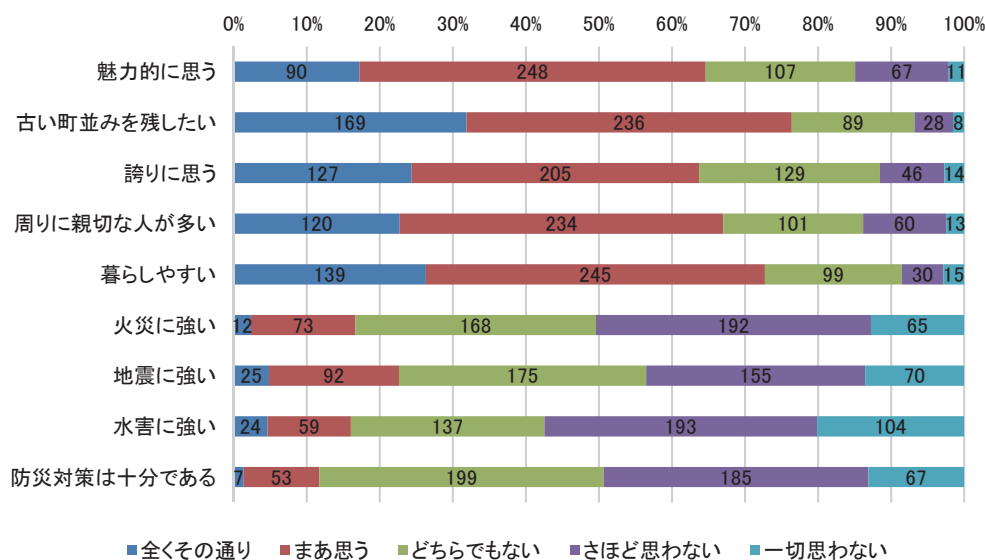


図 3.2.1 生活している地域の印象

3.2.2 各種災害やその対策に対する心配

平成 25 年と平成 28 年のアンケート調査において、防災について心配なこととして選択肢の中から上位 3 つを順に尋ねる全く同じ質問をしたところ、両年とも「大規模な火災の発生」と「地震時の建物倒壊」に対する回答が多く、平成 27 年 9 月関東・東北豪雨災害を経験した後では「台風や豪雨などの風水害」に対する回答が増加し、火災と地震に並んだ（図 3.2.2）。また、地域で早急に対策すべきと思うこととして 1 番に挙げているものの上位は火災や地震に関することであり、さらに平成 28 年では水害対策が急増した（図 3.2.3）。身近で起こり得る火災や一度発生すると甚大な被害をもたらす地震に対して恒常的に気にかけている様子が見え、さらに直近で経験した災害被害を教訓に風水害に対する備えの必要性を感じていることがわかった。なお、伝建地区が含まれる嘉右衛門町と泉町、大町の各自治会にはそれぞれ自主防災会があるものの、アンケート結果からは自主防災活動に対する意識が高くない様子が見えた。

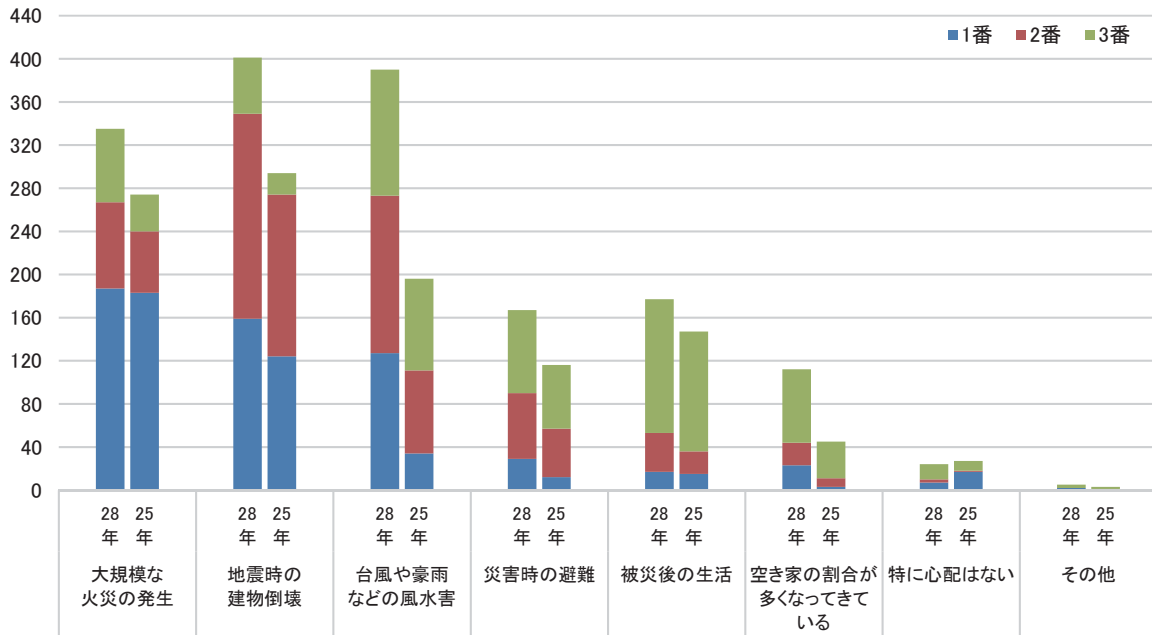


図 3.2.2 防災について心配なこと

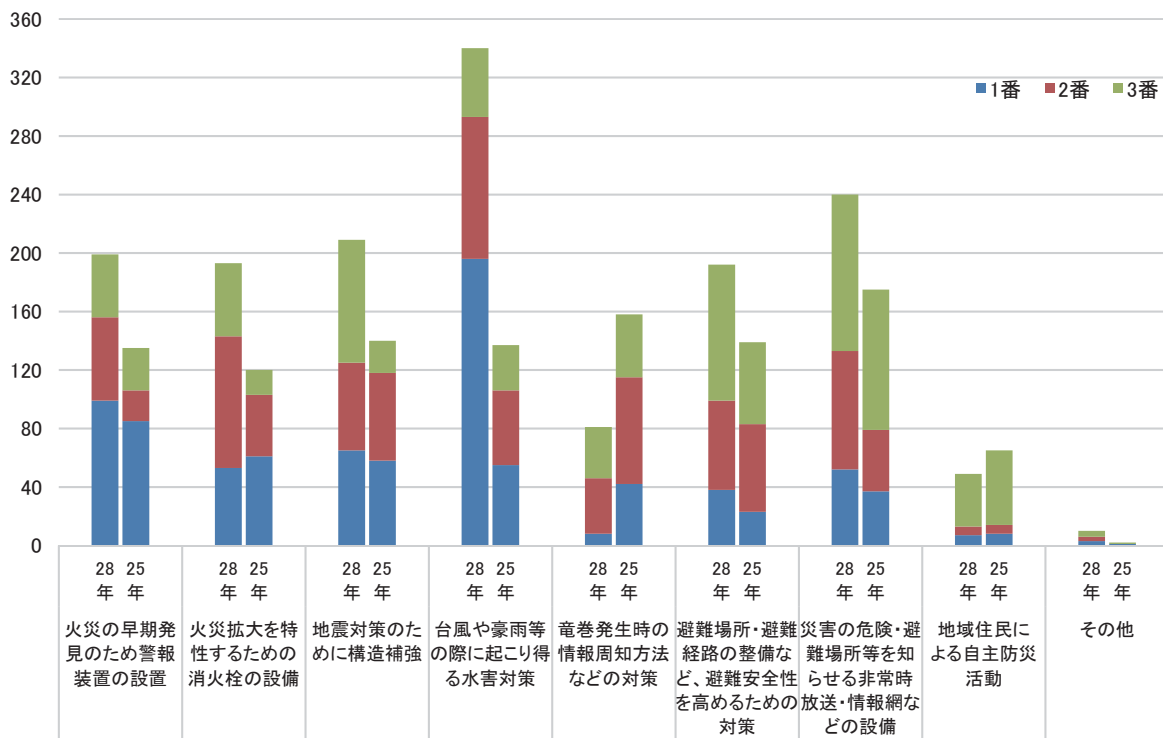


図 3.2.3 地域で早急に対策すべきと思うこと

3.2.3 高齢化の現状

平成 28 年の全国の高齢化率は 26.7%であるのに対して、栃木市総合政策課統計係が発表している「人口状況 地区別・年齢別人口(平成 28 年 3 月 31 日現在)」によると、栃木市全域では 29.2%、伝建地区を持つ 3 自治会（嘉右衛門町・泉町・大町）だけで見ると 34%となる。アンケートで家族構成を年代別に確認した結果から評価すると、アンケート対象エリアの高齢

化率は 36.2%、伝建地区内に限ると 37.3%であった。このように、伝建地区は栃木市内でもとりわけ高齢化が進んでいる様子がわかる。さらに、独居世帯の 64%が高齢者であり、高齢者のみで暮らす世帯が 200 世帯近くあることがわかった。大規模な災害が起こった際の避難行動や生活再建などにおいて、高齢者など災害時要援護者の負担は大きく、親族や近隣住民との助け合いの必要性が改めて浮き彫りとなった。伝建地区周辺の人口分布を図 3.2.4 に、近年の高齢化率の推移を図 3.2.5 に示す。

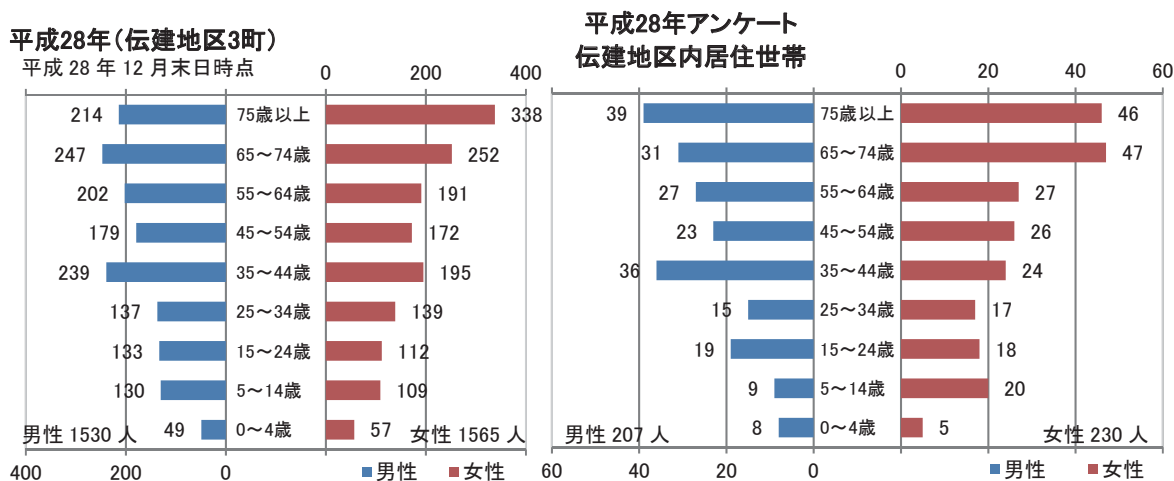


図 3.2.4 伝建地区周辺の人口分布

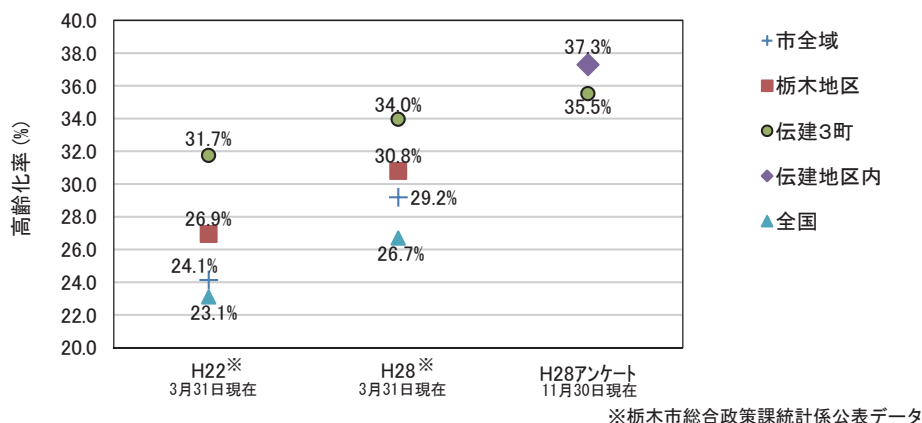


図 3.2.5 近年の高齢化率の推移

3.2.4 災害時に頼れる親族の有無

親子が同居はせずに移動手段を問わずに 30 分から 1 時間程度で往来できる場所に居住する、いわゆる「近居」と呼ばれる生活形態が近年広まっている。そのような中、「同居していないご親族で、相談できたり、定期的に訪問し合うような方はいますか?」という質問で災害時に親族に頼ることが出来るか確認し、さらに「はい」と回答した方には移動手段と所要時間を尋ねた。それによると、回答者(494件)の79%が「はい」と回答し、図 3.2.6 の様に回答総数の 66%の世帯が緊急時に移動手段を問わず、30 分程度で駆けつけることのできる「近居」であることがわかった。しかし、大規模災害の時には道路閉塞等によって自動車による通行が出来ないことも想定される。そこで、移動手段と所要時間から、徒歩については 80m/分、自転車については 250m/分、自動車については 50km/時間として、移動距離を概算

すると、47%の世帯が徒歩1時間程度の位置に暮らしていることがわかった。

独居者113名について見ると、定期的に訪問し合う親族がいない方が全体で47名おり、その内、高齢者は28名だった。また、同様に65歳以上の高齢者だけで構成された高齢世帯について見ると、178世帯中54世帯で近隣に親族がいないことがわかった。

これらより、半数以上の世帯で大規模災害直後には親族を頼りにできない実態が窺える。

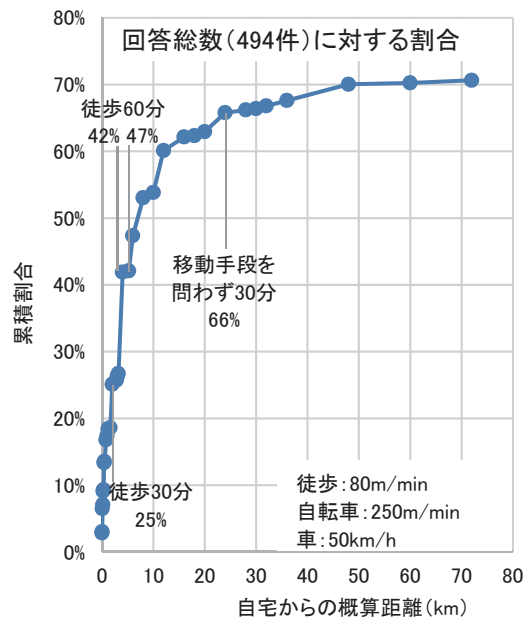


図 3.2.6 頼れる親族の居住地までの推定距離

3.2.5 近隣住民間の繋がり

前述 3.2.4 項の状況下では、近隣住民との助け合いが必要になってくる。そこで、住民同士の関係を把握するために「向こう三軒両隣は顔見知りですか?」と尋ねたところ、図 3.2.7 のように 92% (回答総数 514 件) が「はい」と回答した。この結果は非常に高く、災害時に近隣住民間の円滑な協力関係が期待できる。

参加したことがある地域活動について、参加者と参加頻度を確認したところ、図 3.2.8 のように「町内会総会」「町内会の清掃活動」といった自治会行事と、地域で継承されてきた「秋祭り」「夏祭り」といった活動への参加頻度が高くなっており、地域の祭礼や習俗が結束力を高めている様子が見える。

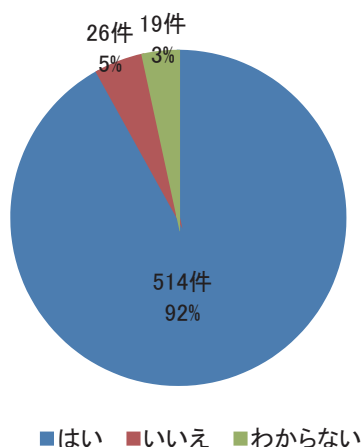


図 3.2.7 向こう三軒両隣は顔見知りか?

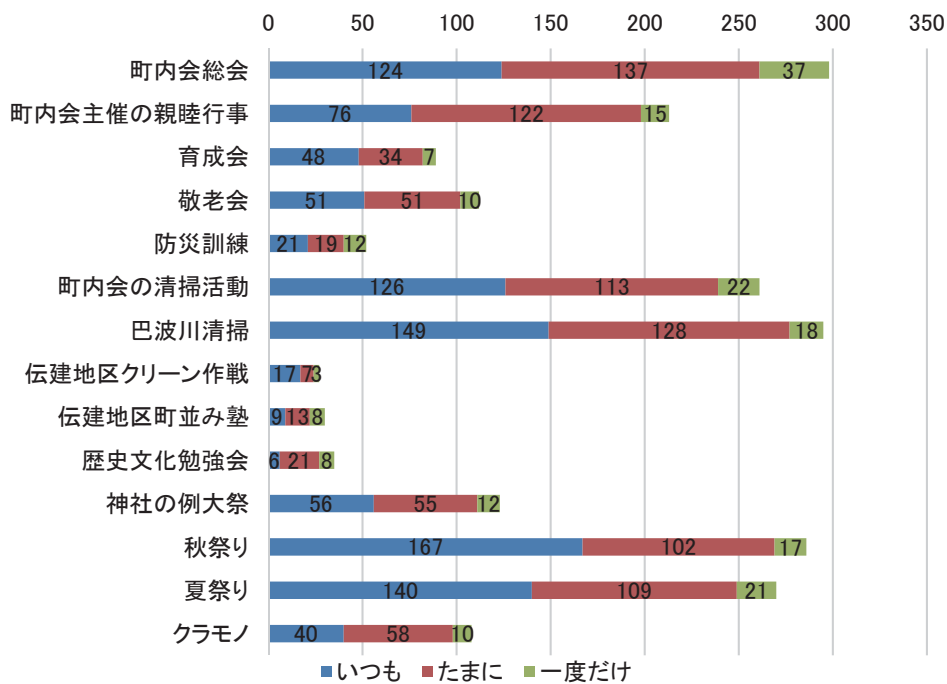


図 3.2.8 地域活動への参加状況

3.2.6 災害時の対応行動の認識

地震災害時にまず行う行動として「ガスを止める」と回答した方が全体の 53%となった(図 3.2.9)。しかし、現在のガスメーターは震度 5 以上の地震を感知すると自動でガスを遮断する様になっており、2次災害を防ぐためにも近年はそれを推奨しない場合が多い。一方、水害発生時に 1番にする行動として、図 3.2.10 のように 35%が「外の様子を見に行く」と回答している。回答者が設問から想像した水害の状況にもよるが、実際に川の様子や浸水の様子を見に行くことは大変危険であり、各種災害の対応行動について適切な判断ができる知識を各自が備える必要がある。

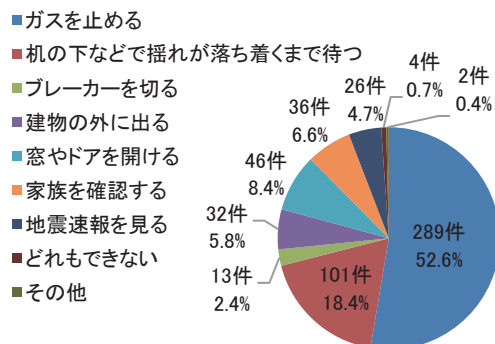


図 3.2.9 地震災害時に行う行動

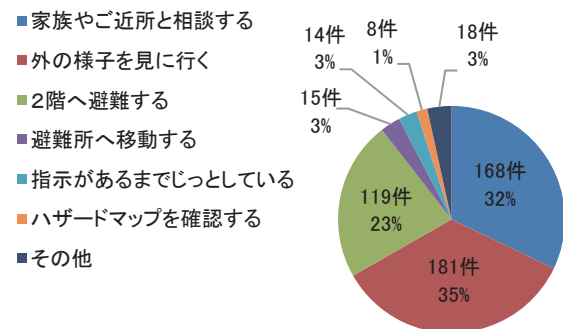


図 3.2.10 水害時に行う行動

3.3 建物や沿道工作物などの現況

3.3.1 建物の現存状況

伝統的建造物及びそれと同等の歴史的価値を持つ建造物の配置図を図 3.3.1 に示す。伝建地区には、伝統的建造物が 92 棟あり、さらにそれに類する建物が 43 棟となる。図 3.3.1 には、土蔵造の倉庫や見世蔵及び石造の蔵を色分けして示している。この図を見て明らかのように、伝統的建造物の多くが土蔵造であることがわかる。栃木の蔵造りの建物は、幕末の度重なる大火によって防火性が改めて見直され、急速にその数を増やしていったと考えられており、先人の災害経験に基づく防災対策を保存していくと共に、防災資源として有機的に活用していくこともあり得るであろう。

伝建地区内に現存する建物の防耐火性能に関する構造分布を把握するため、伝建地区に隣接する街区が延焼遮断帯になり得る道路や河川に達するまでの範囲（図 3.3.2 中の調査範囲）について目視調査を行い、耐火造、準耐火造、防火造、裸木造の 4 種類に分類した。ここで、土蔵及び見世蔵は準耐火造と同等の防耐火性能を有する³⁻¹⁾とされているため、本調査においても土蔵及び見世蔵を準耐火造として分類した。図 3.3.2 に建物の防耐火構造の分布を示す。

耐火目的につくられた土蔵造の見世蔵や倉庫及び石蔵を除く、いわゆる裸木造の建造物は伝建地区内の建物の 55%（伝建地区周辺の調査対象範囲内で見ると 46%）を占める。地震時等において大規模な火災の可能性があり重点的に改善すべき密集市街地を抽出する際の判断基準の一つとして、木防率（全棟数に占める裸木造及び防火木造の棟数の割合）がある。木防率が 2/3 以上の地域（不燃領域率 40%未満相当）では、延焼危険性が高い地域とされる。伝建地区の木防率を評価すると 84.2%（伝建地区周辺の調査対象範囲内で見ると 88.1%）となり、延焼危険性の高い地域であるといえる。

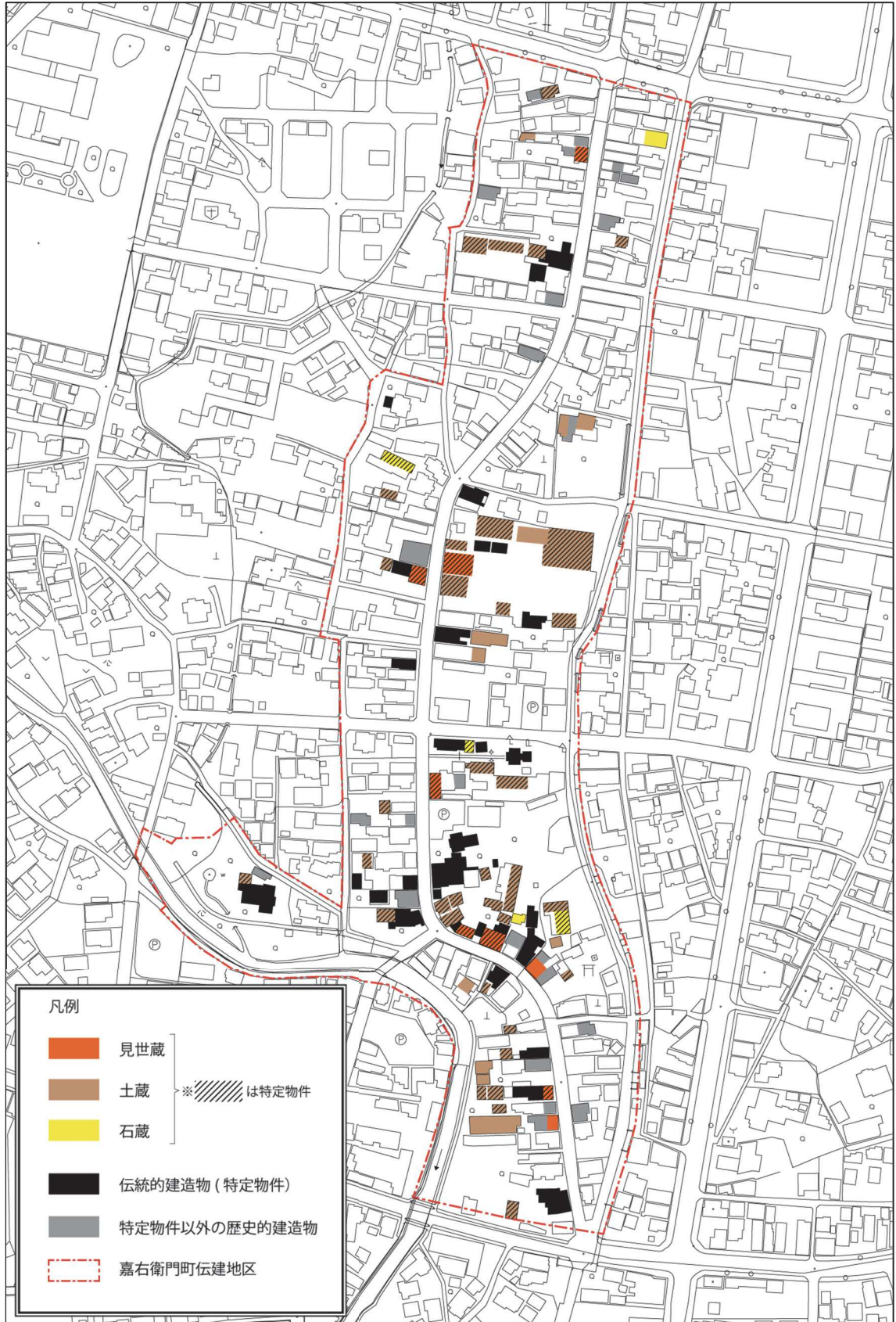


図 3.3.1 伝統的建造物及びそれと同等の歴史的価値を持つ建造物の配置図

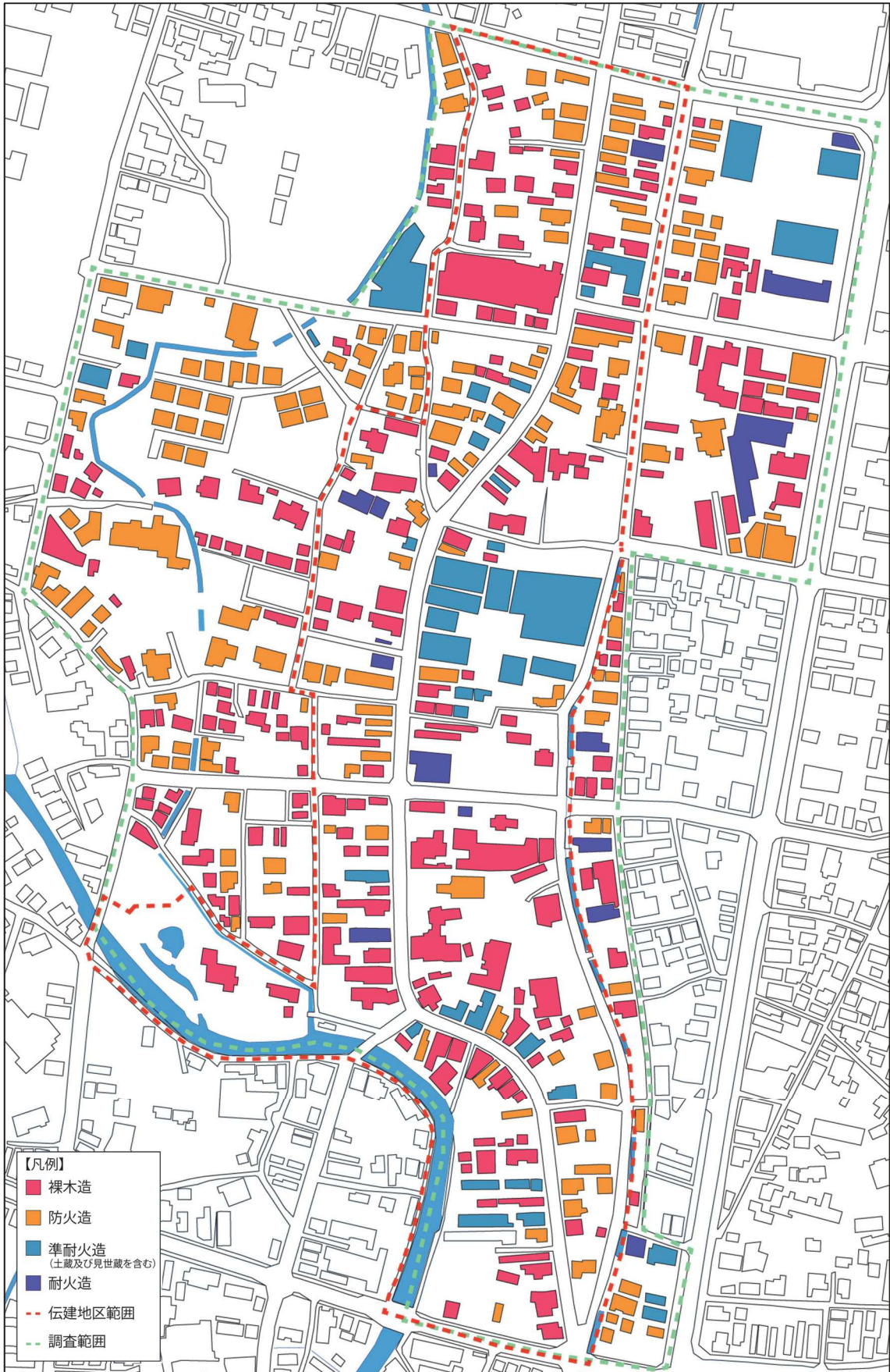


図 3.3.2 建物の防耐火構造の分布

3.3.2 屋敷地の奥や裏通りの現況

写真 3.3.1 のように屋敷地の奥の土蔵等は処分に困った不要品の倉庫として使用されている場合もある。これらの雑然と置かれた可燃物から出火・延焼しやすいことや、屋敷地の奥で火災を発見しにくいこと、消火活動が困難なことが想定され、敷地奥や裏通りの消火対策が課題といえる。

また、図 3.3.3 にはアンケートで居宅から敷地外へ避難する経路が2方向以上確保できないと回答した世帯の居住エリアを班別に示している。短冊状の敷地割が多い中で、2方向避難に不安を抱えるエリアが地区全域に存在していることがわかり、このことは住民の避難だけでなく、消火活動にも影響を及ぼす恐れが想定される。



写真 3.3.1 屋敷地の奥や裏通りの状況

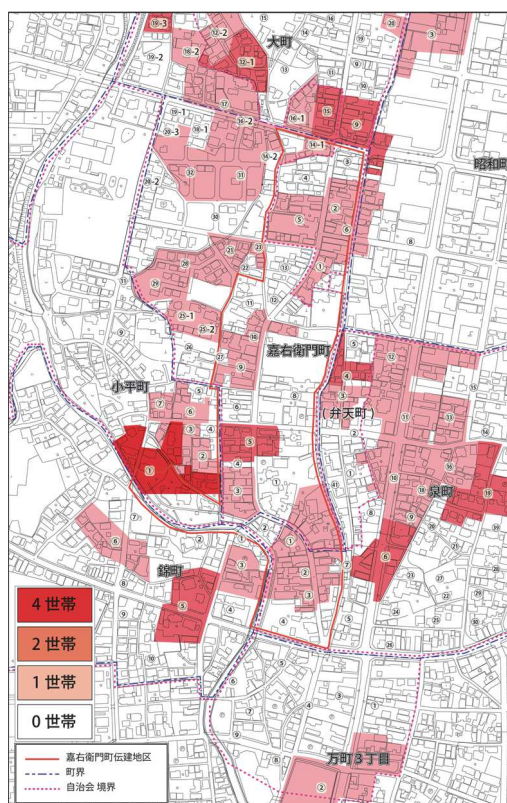


図 3.3.3 2方向避難に不安を抱えるエリアの分布

3.3.3 細街路や沿道工作物の現況

阪神・淡路大震災では、幅員 6 m 以上の道路であれば約 70%の歩行者は通行可能であったが、幅員 6 m 未満になると歩行者の通行が可能であったのは 40%にまで下がったという報告がある³⁻²⁾。そこで、日常的に通路として使われている民地も含め、幅員 6 m 未満の道を細街路と定義し、伝建地区及び周辺の幅員 6 m 以上の道路に通じるまでの細街路を調査した。調査の結果、図 3.3.4 に示すように通路の総延長は 8,298m あり、細街路はその内の 47%にあたる 3,862m だった。

(a) 細街路の幅員

細街路の幅員分布を図 3.3.5 に示す。ここで、幅員は基本的に塀や外壁等で挟まれた内法寸法としているが、鉢植え等の通行の妨げとなる要素が存在する場合には、それを含まない内法寸法としている。全体的に見ると、概ね幅員 2～4 m のものが 64%を占める。最も狭い路地の幅員は 0.8m と極めて狭隘であり、1m 未満の箇所が総延長で 69m (調査対象の 2%) 存在することがわかった。これらの路地では、例えば担架や建具を使い要救援護者の救出もしくは避難することが物理的に不可能な箇所となる。

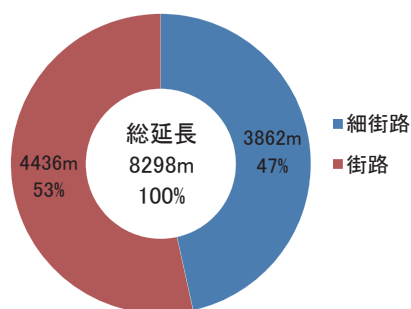


図 3.3.4 通路の総延長に占める細街路の割合

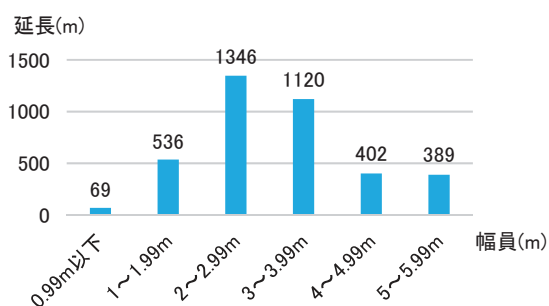


図 3.3.5 細街路の幅員分布

(b) 塀の種類や高さ

細街路の沿道にある塀の総延長は 2,886m であり、種類別の割合は図 3.3.6 の通りである。コンクリートブロック（化粧ブロックを含む）が最も多く全体の 54%を占め、大谷石などによる石塀も含めると組積塀が 67%存在する。塀の高さについては、図 3.3.7 に示すように 2.0m 未満の塀がほとんどであるが、2.5m 以上の高い塀が全体の 4%存在する。

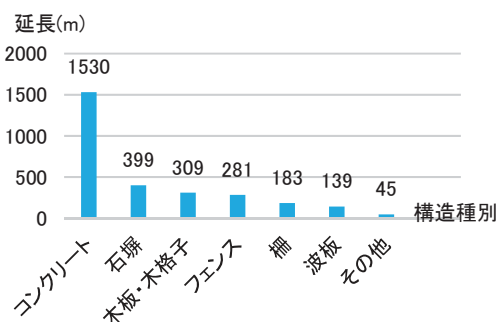


図 3.3.6 塀の種類分布

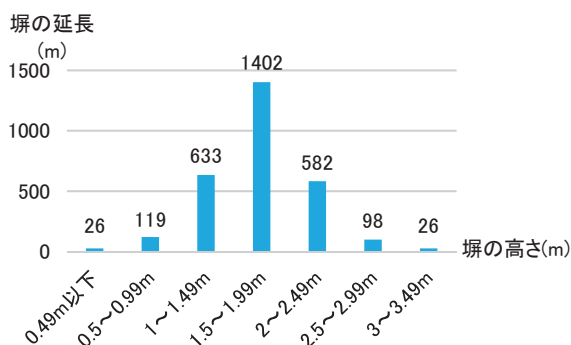


図 3.3.7 塀の高さの分布

3.3.4 駐車場・空き地・広場の現況

一時避難場所になり得る敷地を表 3.3.1 のように定義して、その分布を図 3.3.8 に示す。

表 3.3.1 一時避難場所になり得る敷地の定義

用途	定義
駐車場	自動車を駐車するための場所（マンションなどの公共の駐車場なども含む）
空き地	建物が建っておらず、利用されていない場所
広場	集会場・遊び場などに使えるほどの広い平らな場所



図 3.3.8 駐車場・空き地・広場の現況

3.4 火災に対する調査結果

3.4.1 消防体制

(a) 消防署

伝建地区周辺における火災発生時に対応するのは、伝建地区から北方に約1kmのところにある栃木市消防本部と栃木市消防署（写真 3.4.1）である。現在の栃木市の消防体制は、昭和46年に旧栃木市周辺の藤岡町、大平町、都賀町、西方村の1市3町1村において栃木地区広域消防組合として発足し、平成23年の市町村合併によって現在の栃木市消防本部となった。

栃木市消防署が保有する消防車は、普通ポンプ車、水槽付ポンプ車、化学車、はしご車、災害支援車、救助工作車の6台であり、一般住宅で火災が発生した場合は最大3台が駆け付けることが可能である。



写真 3.4.1 栃木市消防本部・栃木市消防署

(b) 消防団

伝建地区やその周辺で火災等の災害が発生した場合に対応する消防団は、主に栃木方面隊第1分団と第5分団である。消防団員には、火災等の災害発生時に消防本部から災害情報が送られてくるようになっている。栃木方面隊第1分団及び、第5分団は普通ポンプ車を所有しており、栃木地域を管轄区域として火災発生時は栃木市消防本部と協力して鎮圧消火にあたる。栃木方面隊「建物・中高層・危険物・林野火災」出動計画によると、伝建地区周辺では図3.4.1のような出動計画となっている。第1出動の消防団詰所の位置を図3.4.2に示す。

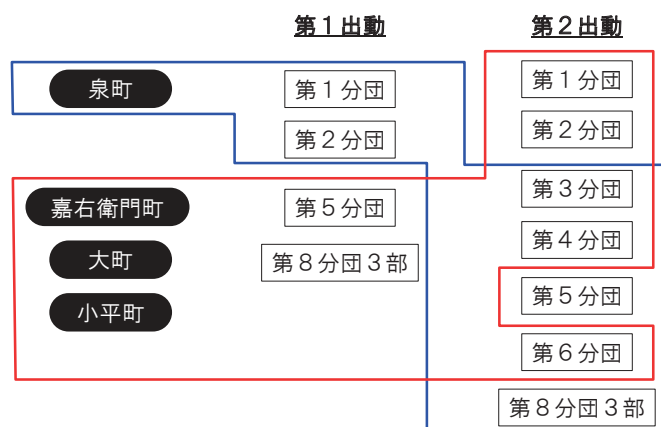


図 3.4.1 消防団栃木方面隊出動計画

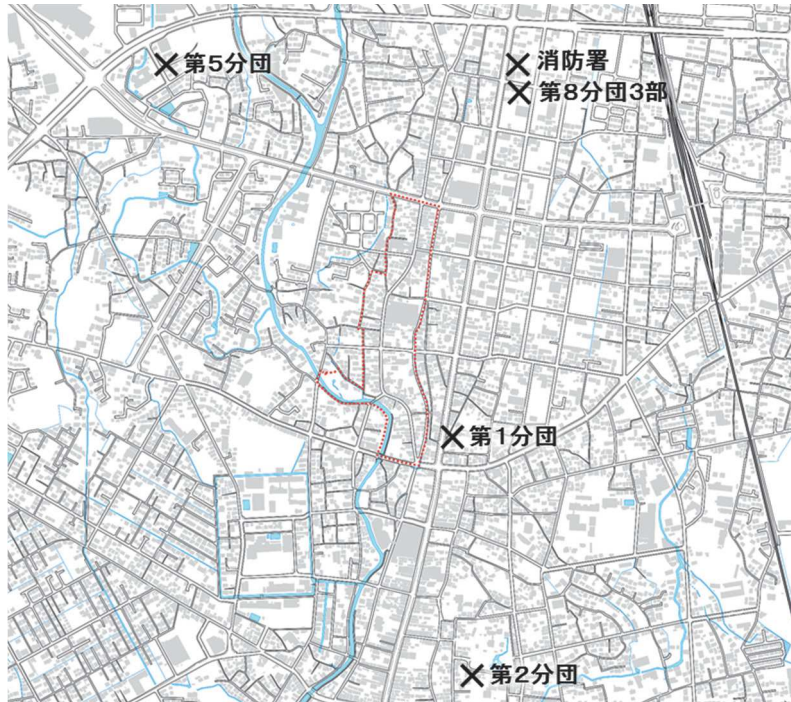


図 3.4.2 消防団詰所の位置

(c) 自主防災会

- 大町自主防災会 昭和 57 年 3 月 26 日設立（平成 24 年 4 月に再結成）
- 泉町自主防災会 昭和 57 年 10 月 3 日設立（平成 25 年 4 月に再結成）
- 嘉右衛門町自主防災会 平成 26 年 4 月 26 日設立

3.4.2 消防水利の現況

伝建地区には、消防署や消防団が用いる消火栓（写真 3.4.2）が 19 ヶ所と防火井戸（写真 3.4.3）が 2 ヶ所ある。消火栓は全て地下式で、地区全域にわたり比較的数量多く設置されている。ただし、ホース格納箱などの設置が見られないことから、これらを用いた地域住民の消火活動への参加は想定されていない。また、防火水槽は伝建地区から北西に進んだ児童公園内に 1 ヶ所あるが、伝建地区内には無い。



写真 3.4.2 消火栓

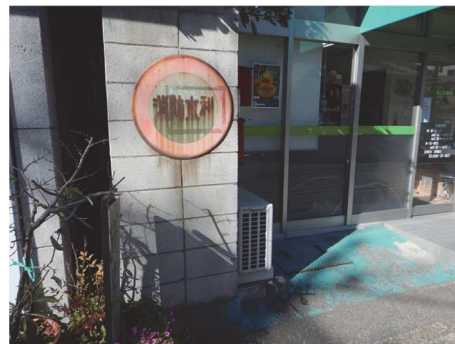


写真 3.4.3 防火井戸

自然水利については、巴波川は消防水利として使用できるだけの水量(図 3.4.3)はあるが、巴波川から消火が可能な範囲は小さい。また、先に示した2カ所の防火井戸についても図 3.4.4のように水量が確保できている。これらについては、消防隊や消防団の消防用水として想定されている。一方、その他の自然水利として、旧日光例幣使街道の東側には街道と並行する大ぬかり沼用水がある。現在は濁水しており消防水利として利用できる水量が確保できないため消防用水として想定されていない。さらに用水路には暗渠が多い。したがって、消火栓を用いた消火活動は行いやすい一方で、停電や水道管の破損等による断水時でも確実に利用できる水源が少ないといえる。伝建地区の消火栓や防火井戸の位置及び自然水利の現況を図 3.4.5 に示す。

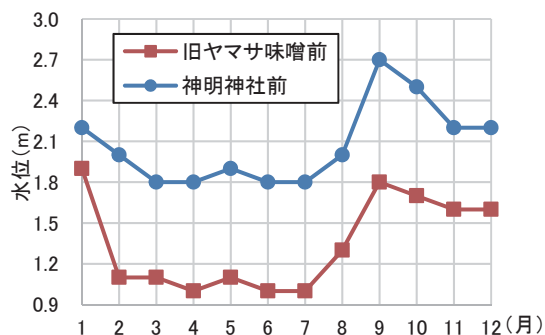
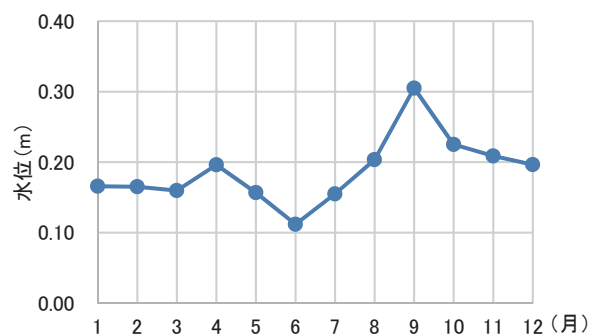


図 3.4.3 巴波川の月別平均水位(倭橋・平成 28 年) 図 3.4.4 伝建地区内防火井戸の月別水位

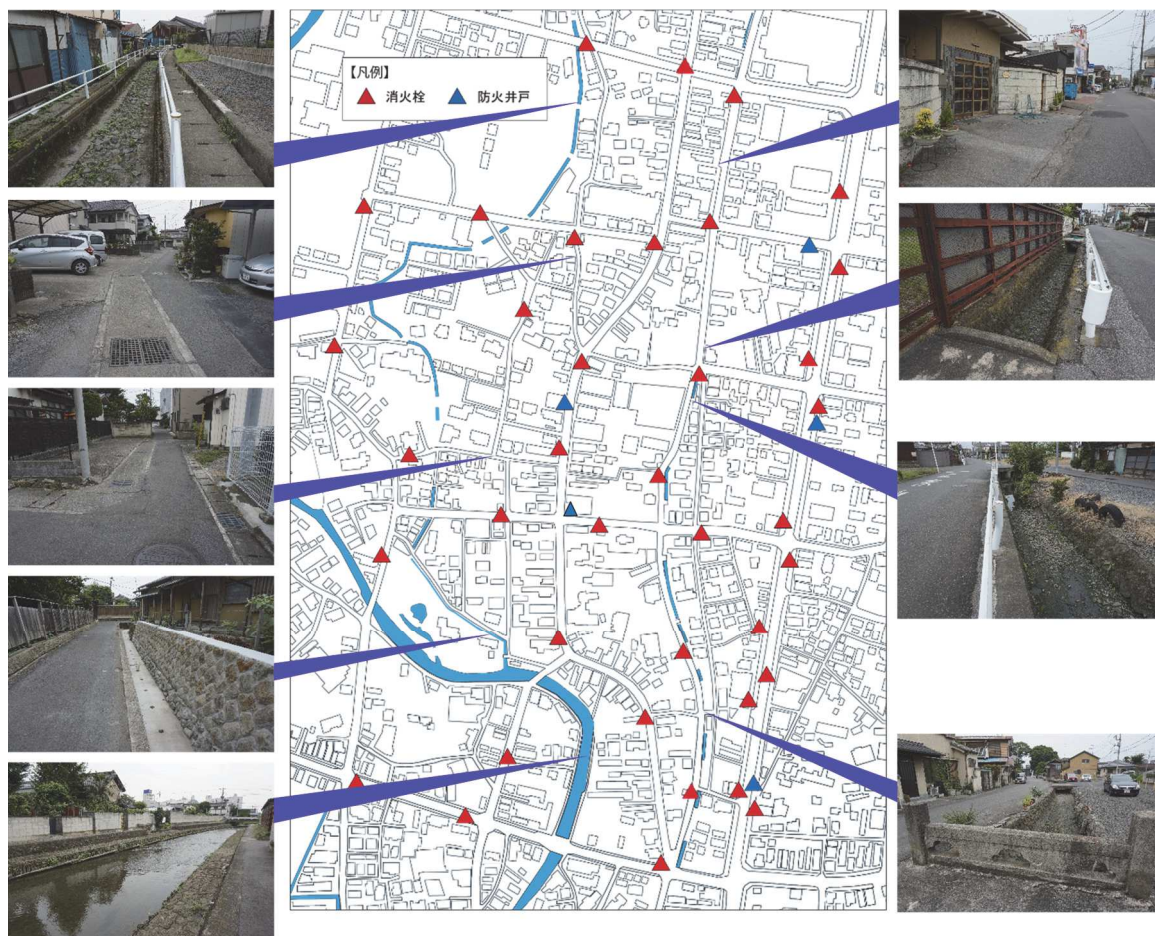


図 3.4.5 消火栓や防火井戸の位置及び自然水利の現況

3.4.3 地域住民の消防力の現状

アンケートで家にある物を尋ねた結果を図 3.4.6 に示す。全国の主な出火原因別の出火件数（図 3.4.7）の上位にある機器を所有している家庭が伝建地区周辺でも多い。さらに、歴史的市街地の特徴として碍子（がいし）を使った電気配線を使用している家屋が 30 戸はあった。

一方、火災の早期発見に有効な「火災警報器」の設置率は 40%であり、全国（81.7%）及び栃木市（68%）よりも低く、築年数が経った建物が多い地域において、既存建物への住宅用火災警報器の設置が進んでいない様子が見えてくる。また、初期消火に役立つ「消火器」の保有率は 37%であり、全国（41%）よりも低く、現地調査では沿道や道路から望見できる建物内部に消火器を確認することが出来なかった。したがって、住民による早期発見や初期消火の対策は不十分な傾向にある。

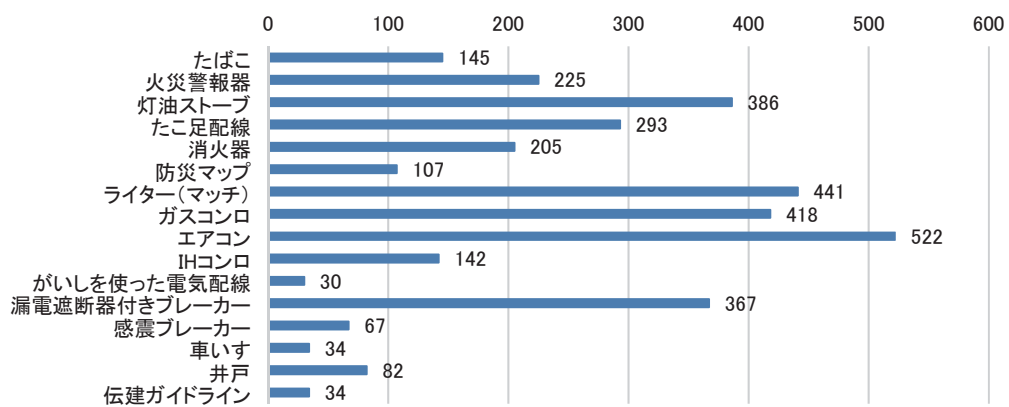


図 3.4.6 家にある物

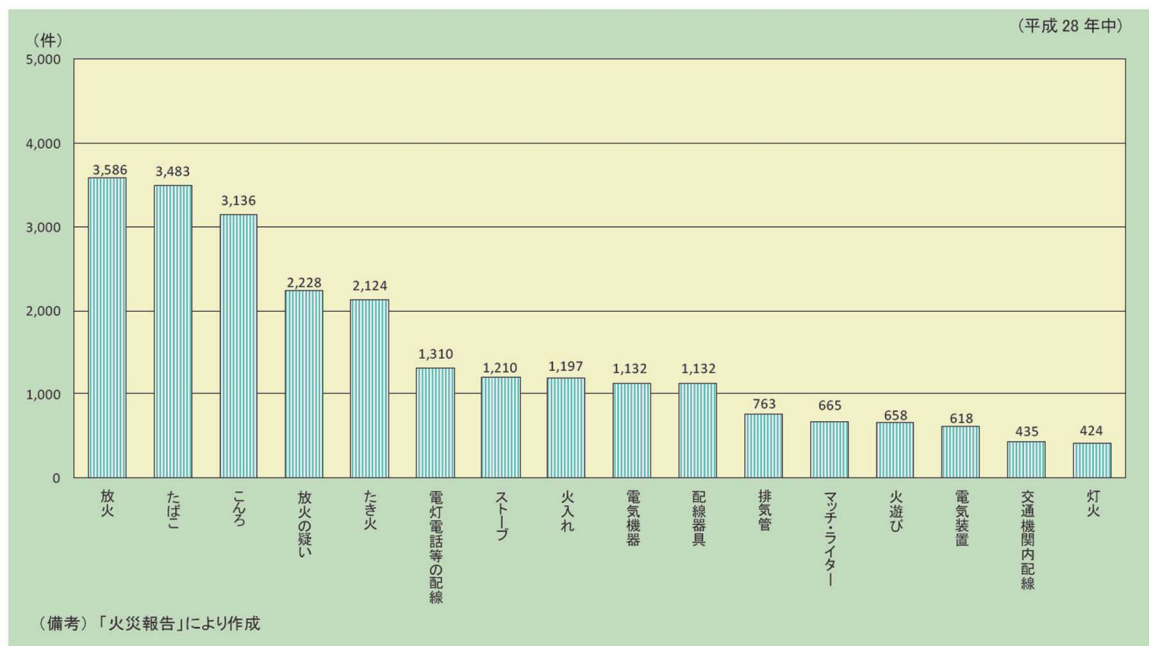


図 3.4.7 主な出火原因別の出火件数（平成 29 年版消防白書（消防庁）より引用）

可能な消火活動をアンケートで尋ねた結果を図 3.4.8 に示す。他の伝建地区では自衛消防組織や地域住民が使用できる可搬消防ポンプや消火栓などを配備する地区もあるが、本伝建地区では、それらを用いた住民らによる自衛消防力は直ぐには期待できそうもない。本伝建地区は消防署が近くにあり、通常であれば早期の現場到着が期待できることから、まずは住民による火災の早期発見と 119 番へ確実に通報すること及び消防署・消防団による 1 秒でも速い注水が望まれる。

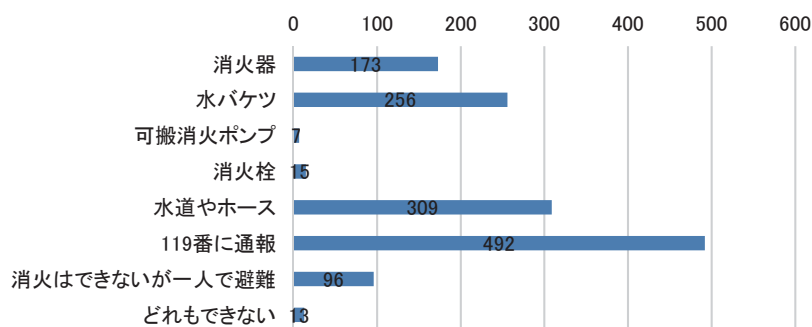


図 3.4.8 あなたが可能な消火活動

3.4.4 消防隊の到着及び放水開始の時間

(a) これまでの消火活動実績に基づく分析

図 3.4.9 は、昭和 40 年から平成 28 年末までに嘉右衛門町・泉町・大町・小平町・昭和町・万町・錦町・湊町・入舟町・倭町・室町・富士見町・境町で発生した火災について、出火から放水開始までに要した時間を消防署から現場までの直線距離と対応させて整理したものである。ここで、出火時間については、火災報告書に記載された第一発見者や火元住民などの証言に基づく時刻である。分析対象とした、いわゆる蔵の街と呼ばれているエリアでは、放水開始までに要した時間が、消防署からの距離に影響する傾向は見られず、早ければ出火から 5 分程度で放水ができています。

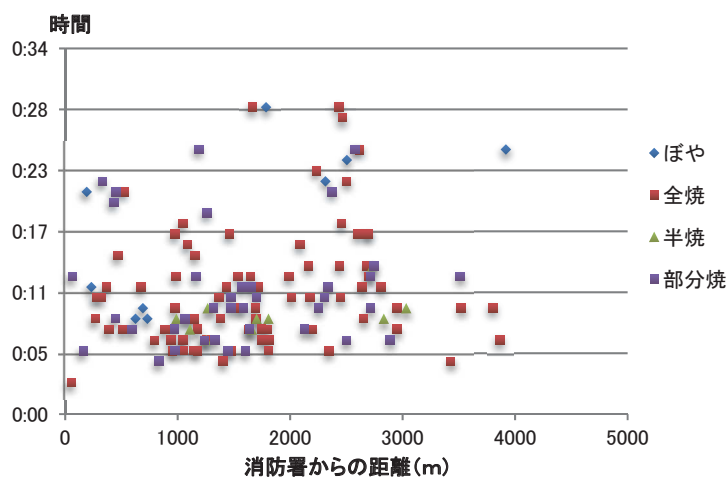


図 3.4.9 放水開始までに要した時間と消防署からの距離の関係

図 3.4.10 には、火災覚知時間と放水開始時間の関係を示している。出火から消防署が覚知するまで3分未満であれば93%の火災で10分未満に放水を開始できており、出火から消防覚知まで5分未満であれば79%が10分未満に放水を開始できている。このデータより、改めて早期発見の重要性がわかる。

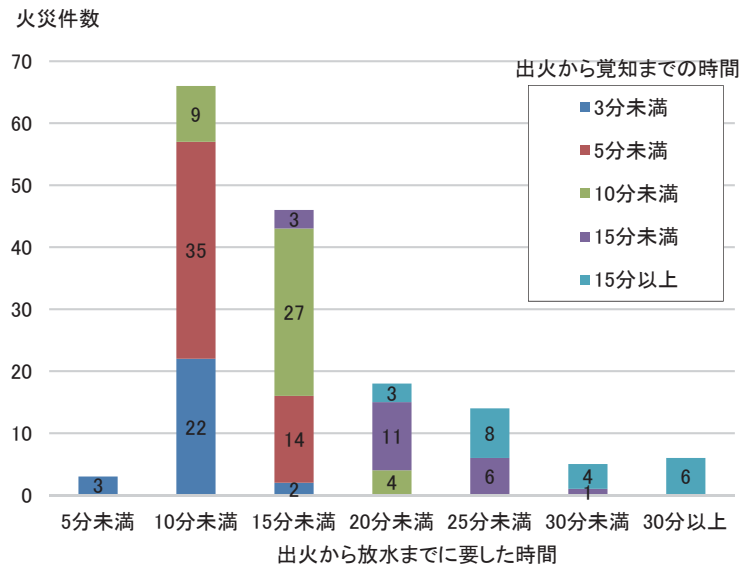


図 3.4.10 出火から放水開始までの時間

(b) 消防隊消火活動開始時間の算出方法

以上の分析より、これまでの消火活動実績に基づく傾向を確認できたが、ここでは通常火災時と地震後の火災時（地震火災時）における、伝建地区各所への消防隊の到着時間を予測する。ここで、火災発生から消火活動開始までのフロー（図 3.4.11）に沿って、各行動に必要な所要時間を算出し、消火活動開始時間を評価する。

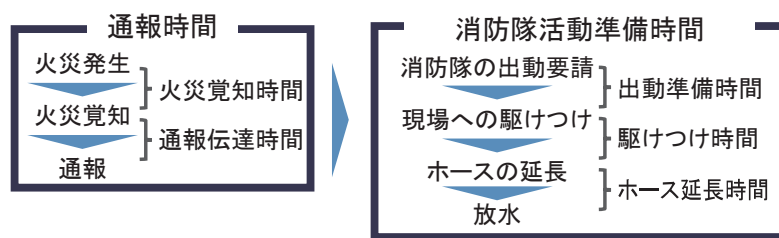


図 3.4.11 火災発生から消防隊の活動開始までのフロー

①通報時間：

通常火災時では、先に示した伝建地区周辺における消火活動実績を参考に3分と5分を仮定した。通報時間3分は、出火元の家屋にいた人が住宅用火災警報器（以下、住警器）の発報によって火災に気づき通報した場合を想定した。また、通報時間5分は、無線連動式住警器によって近隣とのグループ化などが行われ、火災発生による住警器の発報によって近隣住民が火災に気づき通報する場合を想定した。そして、通報時間10分は、住警器が設置されておらず火災覚知が遅れてしまった場合や、出火元の住民が不在で通りがかりの人が火災を発見

し通報する場合を想定した。

地震火災時では、通報時間を火災覚知時間と通報伝達時間の和とし、火災覚知時間は文献3-3)と同様の5分と設定した。また通報伝達時間は、地震の影響によって電話が使えないことを想定し、火災発見者が火災の発生を直接消防署まで徒歩で伝えに行くことを仮定する。出火点から消防署までの直線距離に道路屈折率 1.4 を乗じたものを必要移動距離とし、通報伝達時間は必要移動距離を 80m/分で移動するのに要する時間とした。

②出動準備時間：

通常火災時と地震火災時のどちらも1分と設定する。

③駆けつけ時間：

駆けつけ時間は、消防車が栃木市消防署から出火点最寄りの消防水利まで移動するのに必要な時間である。火災現場の最寄り水利から消防署までの直線距離に道路屈折率 1.4 を乗じた値を移動距離とし、通常火災時は時速 30km/時間³⁻³⁾、地震火災時は 15km/時間³⁻³⁾と設定して移動に要する時間を評価する。

④ホース延長時間：

文献3-3)より、水利から出火点までに必要なホースの本数を使って(3.4.1)式より算出する。

$$T=15+37n \quad (T:\text{ホース延長時間、}n:\text{使用ホース数}) \quad (3.4.1)\text{式}$$

必要なホース本数の算出は、図 3.4.12 に示すように出火点から水利までの距離によって算出する。また、使用する水利は通常火災時は消火栓、河川、防火井戸であり、地震火災時は水道管の損傷による断水を想定し、河川及び防火井戸とした。

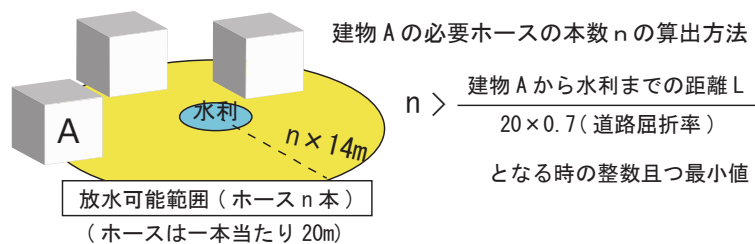


図 3.4.12 必要ホース本数の算出方法

(c) 消防隊による消火活動開始時間の算出結果

通常火災時と地震火災時の消防隊による消火活動準備時間の算出結果を図 3.4.13 に示す。通常火災時には、消防隊による消火活動準備時間は3分から5分となり、これに通報時間を加えた時間が消防隊による活動開始時間となる。一方、地震火災時には消防隊は24分から29分の間で消火活動が開始可能と算出された。

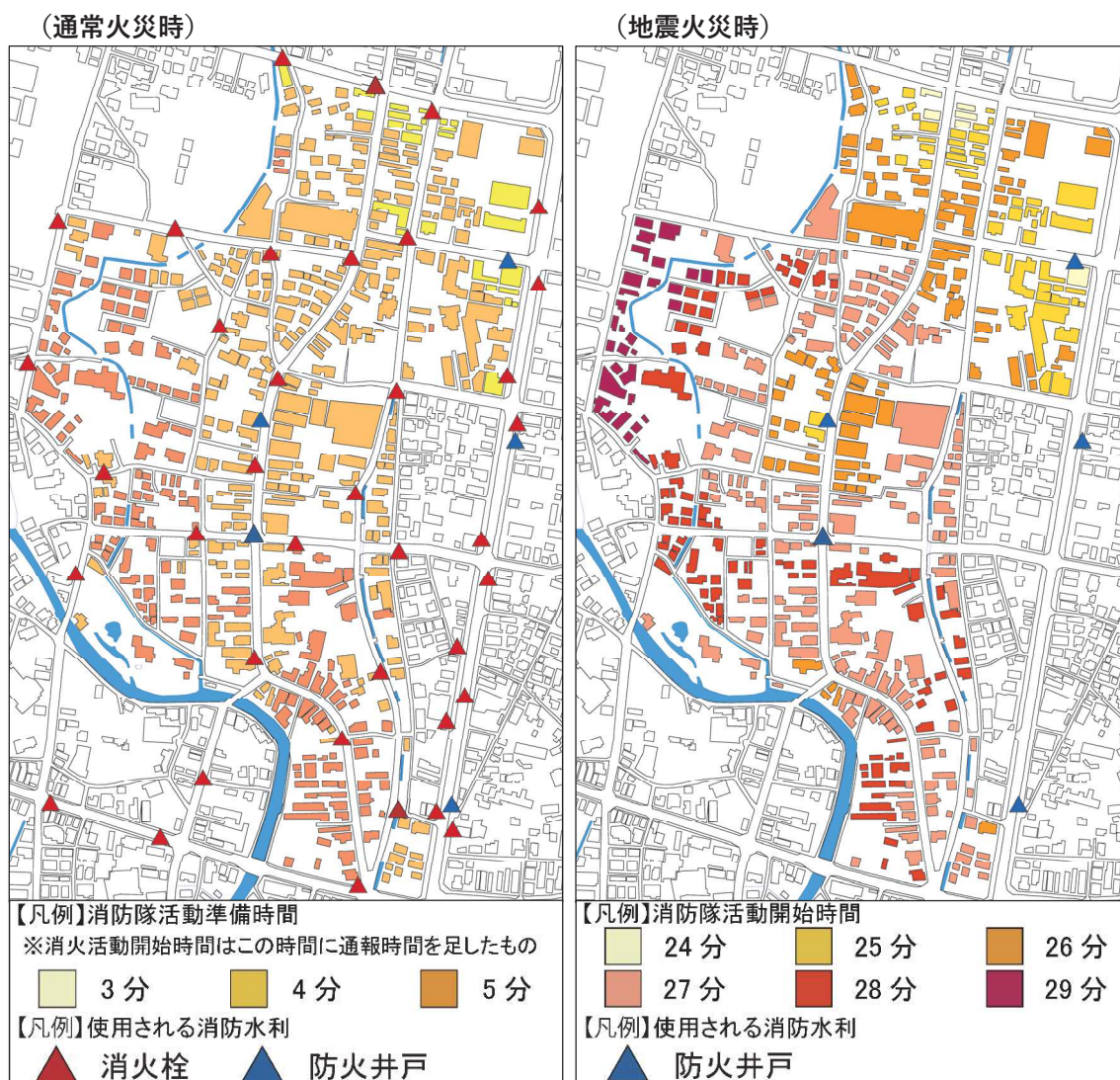


図 3.4.13 消防隊による消火活動準備時間の評価

3.4.5 延焼シミュレーションによる市街地火災性状

伝建地区周辺の建物の防耐火構造の分布より、シミュレーションソフトによって現況の市街地火災性状を把握する。想定する火災は通常火災と地震火災とする。通常火災の場合は、時間経過ごとの延焼規模と隣家への延焼開始時間の把握を行う。また、地震火災の場合は、消防隊到着の遅延が予想される中で、延焼被害拡大の要因である道路を跨いだ延焼について着目し、それが起こり得る経路と時間を把握する。本検討では、延焼シミュレーションプログラムとして「総プロ型延焼シミュレーション」を用いた。

(a) シミュレーションの解析諸元

対象範囲：

伝建地区及びその周囲で延焼遮断帯となり得る道路までの街区を対象範囲とした。

建物の防耐火構造種別の設定：

図 3.3.2 に示した耐火造、準耐火造、防火造、裸木造の 4 種類に分類する。ここで、土蔵及び見世蔵は準耐火造と同等の防耐火性能を有している³⁻¹⁾とされているため、本シミュレーションにおいてもそれらは準耐火造として扱う。また、地震時には外壁の剥落等による防耐火性能の低下が予想される。実際に平成 23 年東北地方太平洋沖地震では、本伝建地区を含む関東地方北部や東北地方の歴史的市街地において、土壁の亀裂や剥落及び屋根瓦の落下等の被害が生じた。そこで、地震後の土蔵、見世蔵、防火造の防耐火性能は、裸木造と同等と仮定した。シミュレーション解析における通常火災時と地震火災時の建物の防耐火性能の分布を図 3.4.14 に示す。

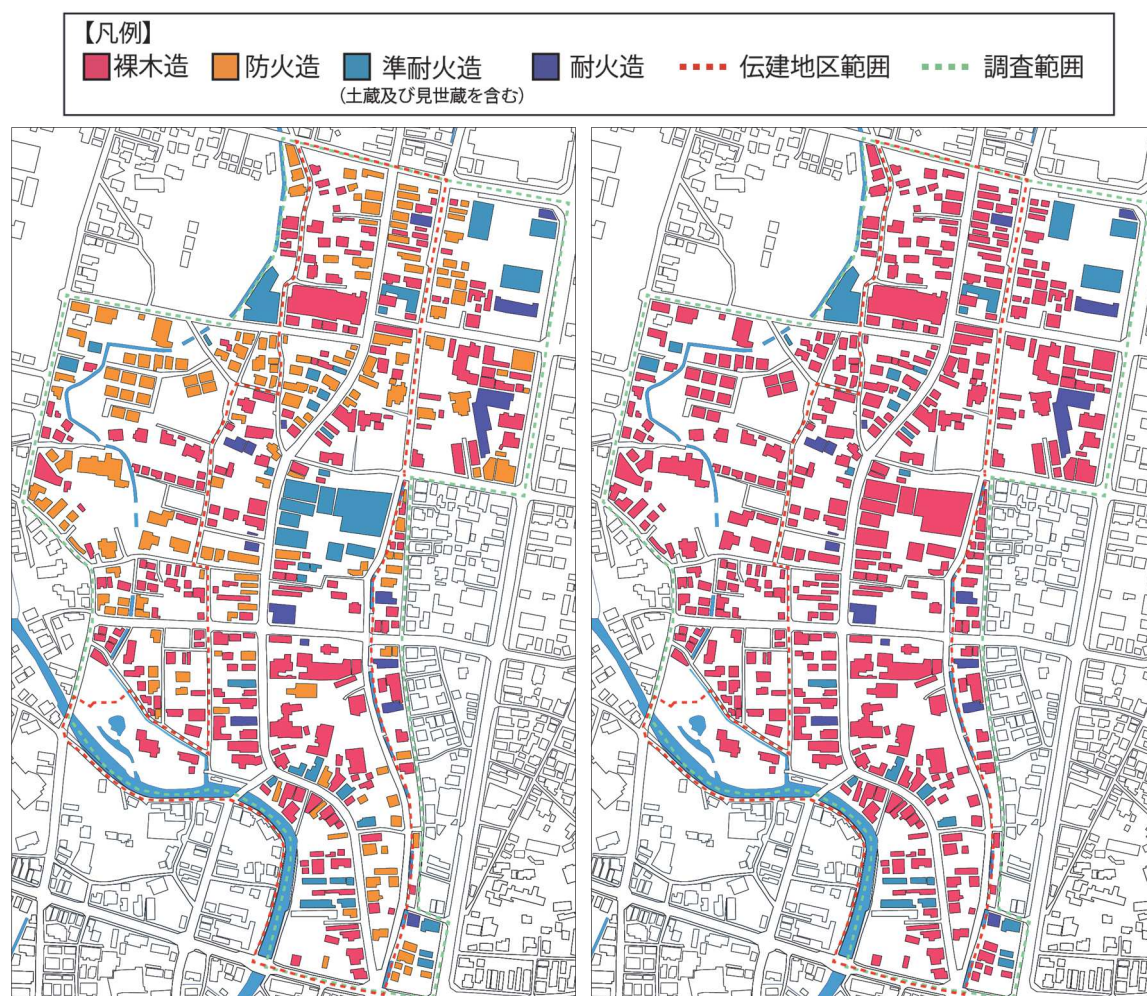


図 3.4.14 建物構造の分布（左：通常火災時、右：地震火災時）

風速・風向の設定：

シミュレーション解析における風速及び風向は、伝建地区から最も近い小山市のアメダスのデータを参考に設定した。平均風速及び平均月別最大風速は、表 3.4.1 に示すように平均風速が 1.6m/秒、月別最大風速の平均が 7.9m/秒であった。ただし、伝建地区周辺で過去に発生した 5 棟以上の延焼火災時の風速（表 3.4.2）を見ると、先に示した平均風速を上回る状況が 14 件中 9 件で確認でき、大規模火災が風の強い日に起こりやすいことがわかる。そこで、本

シミュレーションでは、風速条件として2通りを設定した。風速条件1は、やや通常風速より強い風を想定して、表3.4.1に示した平均風速の最大以上となる4.0m/秒を設定した。また、風速条件2は、平成28年(2016年)に発生した火災のように最も風が強い状況下で最も大きな被害が生じていることから、強風時を想定して平均月別最大風速7.8m/秒の危険側を考慮して10m/秒を設定した。

表 3.4.1 対象地区の平均風速及び平均月別最大風速

	風速(m/s)	割合
平均風速(V1)	1.6	61%
V+標準偏差($\sigma 1$)	1.9	92%
最大風速(V2)	7.9	55%
V2+標準偏差($\sigma 2$)	9.7	87%

表 3.4.2 延焼被害5棟以上の火災履歴と出火時の風速

事例番号	発生日月	時間帯	延焼被害(棟)	風速(m/s)	風向	分類
1	2016/5/24	15時頃	14	6	南南東	通常風速以上
2	2014/12/12	12時頃	5	3	南西	通常風速以上
3	2005/3/25	3時頃	5	4	西南西	通常風速以上
4	1999/12/29	4時頃	5	0	-	通常風速以下
5	1990/8/7	20時頃	7	2	北東	通常風速以上
6	1989/5/13	0時頃	5	1	北北東	通常風速以下
7	1989/3/16	18時頃	9	3	北東	通常風速以上
8	1988/5/8	13時頃	5	3	北	通常風速以上
9	1984/4/21	20時頃	9	3	北北東	通常風速以上
10	1984/1/7	20時頃	5	3	北東	通常風速以上
11	1983/12/26	3時頃	9	1	北北西	通常風速以下
12	1983/1/1	3時頃	6	1	北	通常風速以下
13	1982/1/11	2時頃	11	2	北北東	通常風速以上

風向については、風速条件1は過去10年の最多風向であった北北西から90°ずつ回転させた4方向を設定し、風速条件2は最大風速時の出現率が高い南・北北東・西南西の3方向を設定した。

本シミュレーションにおける風速・風向条件を表3.4.3に示す。

表 3.4.3 シミュレーション解析における風速・風向条件

	風力(m/s)	風向	想定
風速条件1	4.0	北北西、東北東、南南東、西南西	やや強い風
風速条件2	10.0	南、北北東、西南西	強風

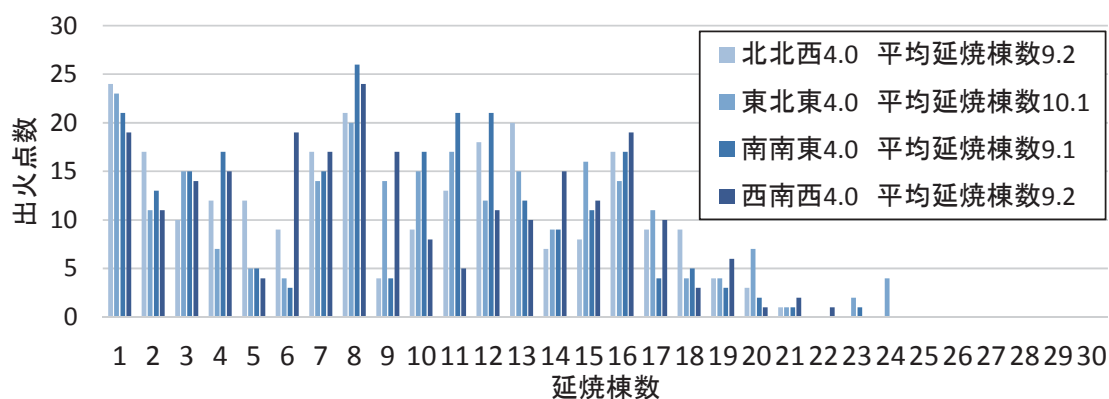
出火点：

想定する火災は、対象範囲内における単独火災として出火点を1軒ずつ設定する。裸木造の家屋は火災で早期に周囲への延焼が広がり易いことから、通常火災時は対象範囲内のすべての裸木造を出火点として設定した。地震火災時は、道路を跨いだ延焼について着目するため、沿道のすべての建物を出火点と設定した。

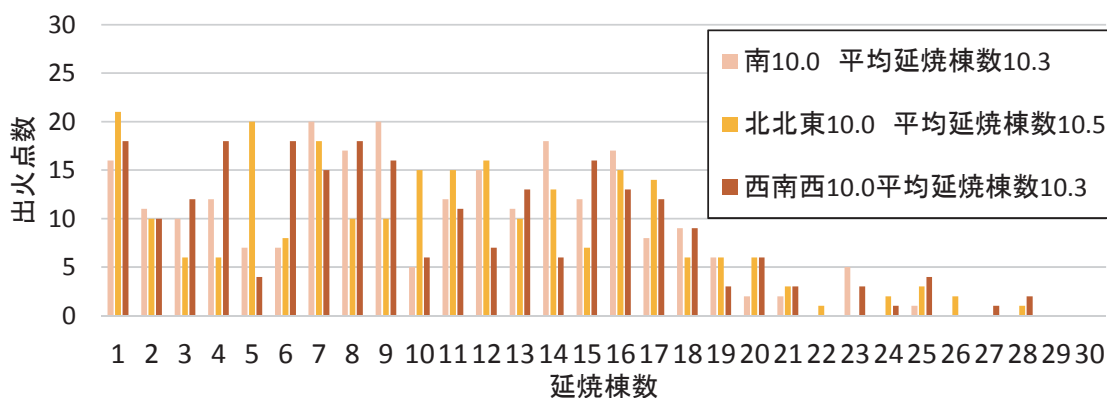
(b) 通常火災時のシミュレーション結果

消防活動を考慮しない場合の出火から60分経過した場合の延焼棟数の分布を図3.4.15に示

す。風速条件 1 の全風向における平均延焼棟数は 9.4 棟、風速条件 2 の全風向における平均延焼棟数は 10.4 棟であり、大きな差は見られなかった。これは、対象範囲には幅員が小さい道路が多く、強風時に限らず道路を跨いで延焼していくためと考えられる。また、伝建地区中心に位置する最も幅員の大きい道路においても、伝統家屋から道路を跨いだ正面の家屋への延焼が確認されており、延焼遮断帯としての効果はあまり期待できず、伝建地区内において延焼火災が発生すると被害が拡大し続けていく危険性があることがわかる。



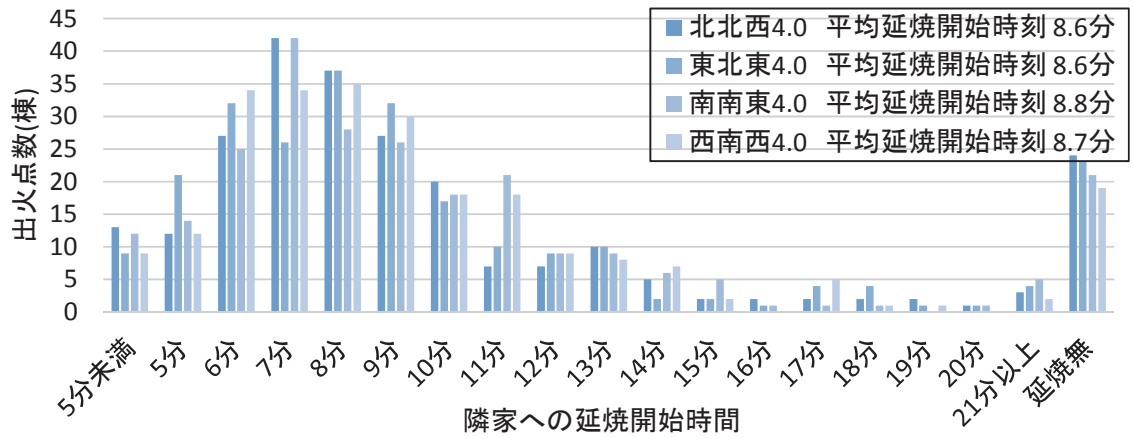
(a) 風速条件 1



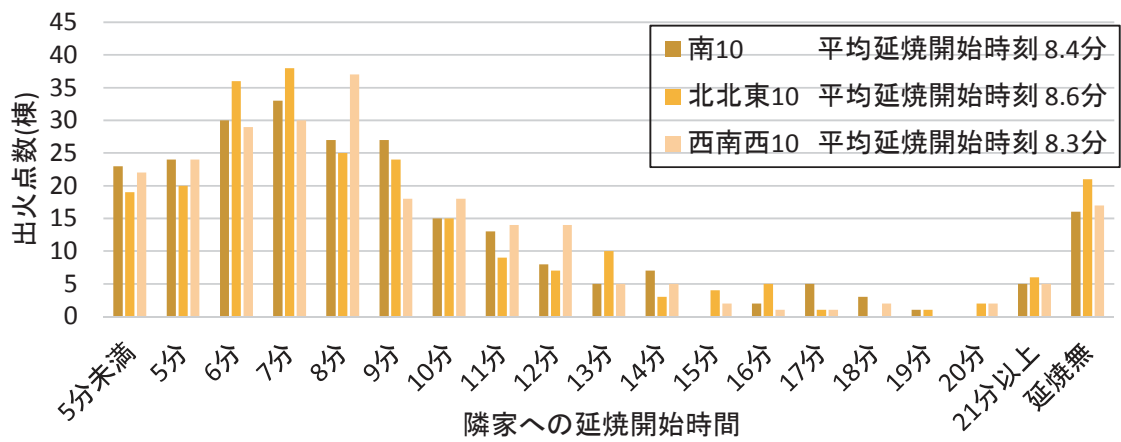
(b) 風速条件 2

図 3.4.15 出火から 60 分経過した場合の延焼棟数の分布（消防活動は考慮しない場合）

通常火災時において、消防活動を考慮しない場合に隣家への延焼が開始する時間を図 3.4.16 に示す。5 分未満で延焼が始まってしまう出火点の割合は、風速条件 2 の方が風速条件 1 よりも 2 倍近く多いものの、先に示した 60 分後の延焼棟数と同様に風速条件による大きな差異は見られない。隣家への延焼開始時間は、風速条件 1 で全風向における平均は 8.7 分、風速条件 2 で全風向における平均は 8.4 分であり、いずれの風速条件でも全解析ケースの 7 割以上で 10 分以内に隣家に延焼する結果となった。



(a) 風速条件 1



(b) 風速条件 2

図 3.4.16 隣家への延焼開始時間の分布（消防活動を考慮しない場合）

(c) 特徴的な火災の延焼ケース

伝建地区における特徴的な市街地火災性状として、シミュレーション解析結果の一例を以下に示す。ここでは、火災の延焼経路が旧日光例幣使街道を跨いだ火災や複数の街区を跨いだ火災に発展してしまった延焼などを取り上げている。

●事例 1：旧日光例幣使街道を跨いで延焼が拡大した事例（図 3.4.17）

風速条件 1 (4.0m/秒)、風向：北北西

旧日光例幣使街道沿いの建物からの出火によって、延焼が道路を跨いで拡大した一例である。旧日光例幣使街道の道路幅員は 6m 以上と伝建地区内では広い道路であるが、出火から 17 分後に道路を跨いで延焼が確認された。この出火点近傍は裸木造の密度が比較的高いエリアであり、早期に火災が成長して大きな火源になってしまうことが起因していると考えられる。また、この街道沿いはこの出火点と同様に、通りに面して町家形式の裸木造が多く存在しており、これらを出火点としたケースでも同様に道路を跨いで延焼が拡大した例が確認できた。これらより、旧日光例幣使街道に長時間にわたる延焼遮断帯効果は期待できず、十数分で道路を跨いだ延焼火災に発展する恐れがあるといえる。

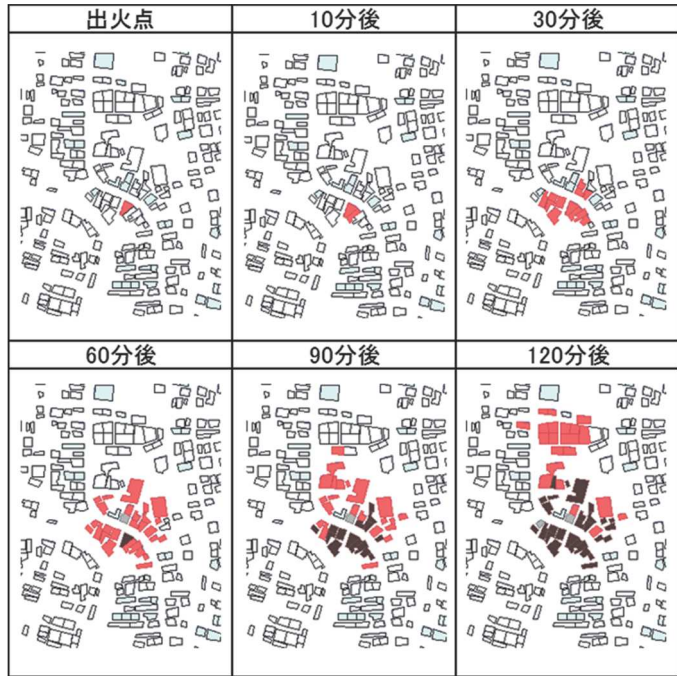


図 3.4.17 旧日光例幣使街道を跨いだ延焼拡大の事例

●事例 2：巴波川を跨いで延焼が拡大した事例（図 3.4.18）

風速条件 1 (4.0m/秒)、風向：西南西

巴波川沿いの建物からの出火によって巴波川を跨いで延焼が拡大した一例である。出火から 27 分で巴波川を跨いで延焼が広がっている。この延焼経路は、風速条件 1 では西南西もしくは南南東の風向で、風速条件 2 では西南西もしくは南の風向で発生した。この火災において危険と考えられるのは、大通りの裏手における火災であり、発見が遅れる恐れがあることや、消火活動が行いにくいこと、さらに風向によっては巴波川からの消防用水の取水が難しいことがなど挙げられる。また、正面の防御で人手を取られてしまい、裏手の延焼に気が付かないといったことも考えられる。風向や発見の遅れによっては、このような状

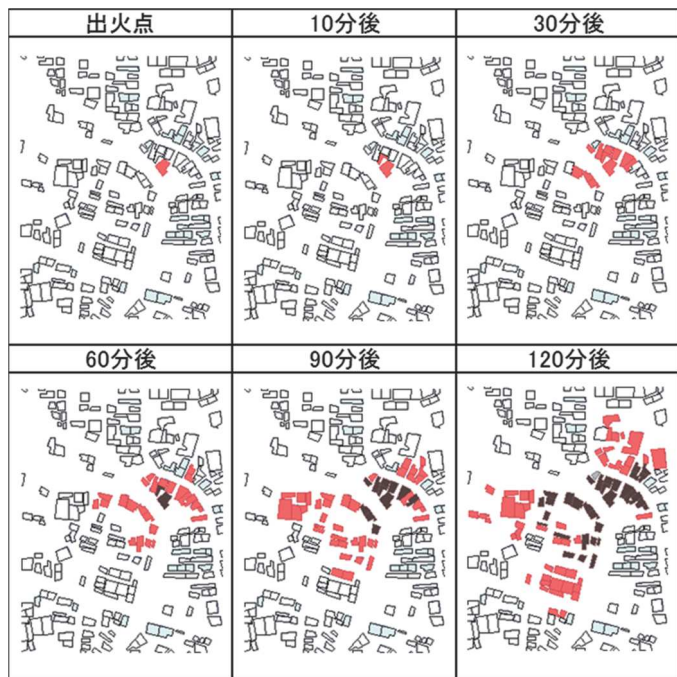


図 3.4.18 巴波川を跨いで延焼が拡大した事例

況に陥ることを留意しておくことが重要である。

●事例3：規模が比較的大きい木造家屋からの出火事例（図 3.4.19）

風速条件 1 (4.0m/秒)、風向：西南西

規模が比較的大きい木造家屋から出火した事例である。出火点とした建物は、比較的大規模の大きい伝統的建造物である。隣家へ延焼する時間は、風速条件 1 で全風向による延焼開始時間の平均が 8 分ほどであったが、この出火点では 10 分を超えても延焼することは無かった。しかし、ひとたび延焼が始まると多方向への延焼が確認でき、30 分後には道路を跨いで 2 つの街区へ火災が拡大し、60 分後には 3 つの街区へ延焼している。規模が大きい木造家屋に関しては、火災が成長する前の制圧を可能にできるよう、建物内における対策などが必要と考える。

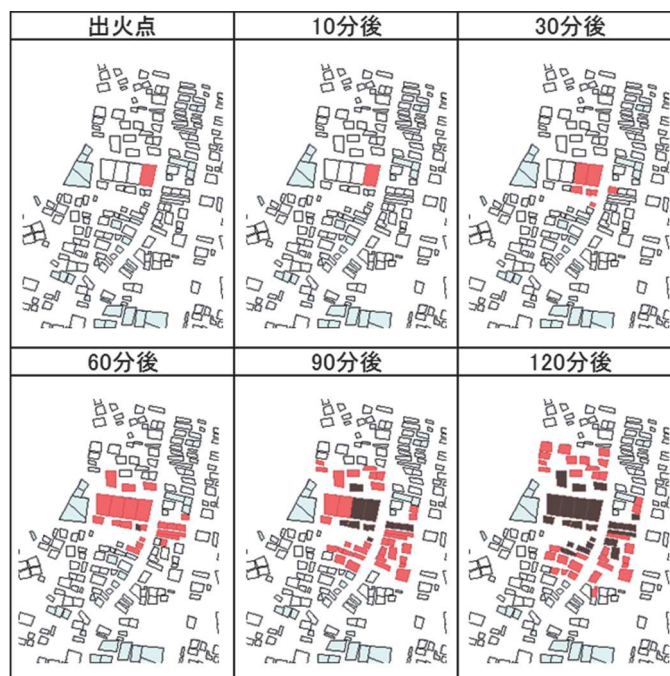


図 3.4.19 規模が比較的大きい木造家屋からの出火事例

●事例4：土蔵造の延焼遮断効果（図 3.4.20）

風速条件 1 (4.0m/秒)、風向：南南東

準耐火構造と同等の性能を保有する土蔵造の近隣を火元とした場合の土蔵造の延焼遮断効果に着目する。出火点南側に位置している建物が準耐火造の見世蔵である。その見世蔵自体は 30 分後に延焼開始するものの、90 分が経過するまで反対側の建物まで延焼が進んでいないことが確認でき、土蔵造に延焼遮断効果が期待できることがわかる。地区内には複数の準耐火性能を持つとされる土蔵造が存在しており、それらは保存修理事業によって防耐火性能を維持していくとともに、土蔵造内部の財産などを守るためにも開口部の

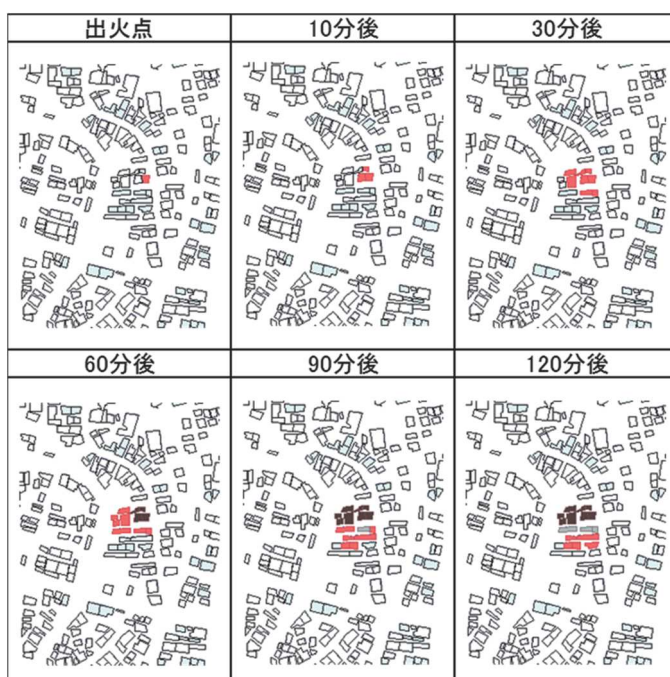


図 3.4.20 土蔵造の延焼遮断効果

開閉などの点検を日頃から行っておくことが大切といえる。

●事例5：街区内部における火災の拡大（図 3.4.21）

風速条件 1（4.0m/秒）、風向：南南東

街区の中心付近にある建物から出火した場合の街区内部における火災の拡大について着目する。街区の中心付近の建物から出火すると出火点から全方向に延焼が進展し、火災が容易に拡大して行く様子を見ることができる。例示している出火点においては、出火から 30 分後には 11 棟が延焼するまでに火災が拡大した。街区内部における火災は、火の手がどこまで拡大しているのか把握しにくい場合がある。このような事態が起こらないためにも、建物の密度が高いエリアでは、特に火災を早期に発見し火災初期段階での消火が求められる。

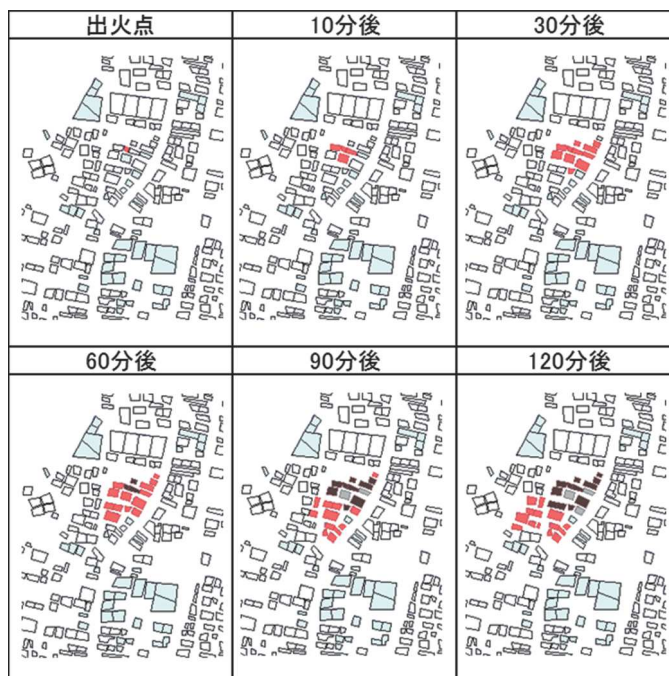


図 3.4.21 街区内部における火災の拡大

●事例6：最も延焼が拡大するケース（図 3.4.22）

風速条件 2（10.0m/秒）、風向：南

最も被害が拡大した延焼は、風速条件 2 の南風であった。出火点は、比較的規模の大きい木造家屋に隣接する家屋である。時間の経過と共に隣家の比較的規模の大きい木造家屋に類焼し、以後、急速に延焼が進展する様子が見てとれる。天候に加えて、これまでに示した事例の「道路を突破して延焼が広がる危険性」や「規模の大きな木造家屋から多方向へ延焼が拡大する危険性」などが組み合わさることによって起こり得る被害の一例である。

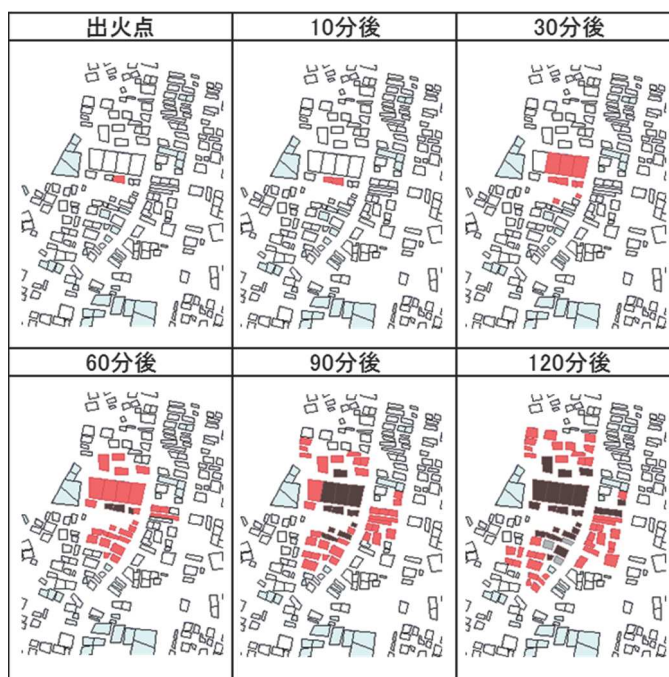


図 3.4.22 最も延焼が拡大するケース

(d) 地震後火災時における道路を跨いだ延焼経路と最短道路突破時間

延焼経路の分布：

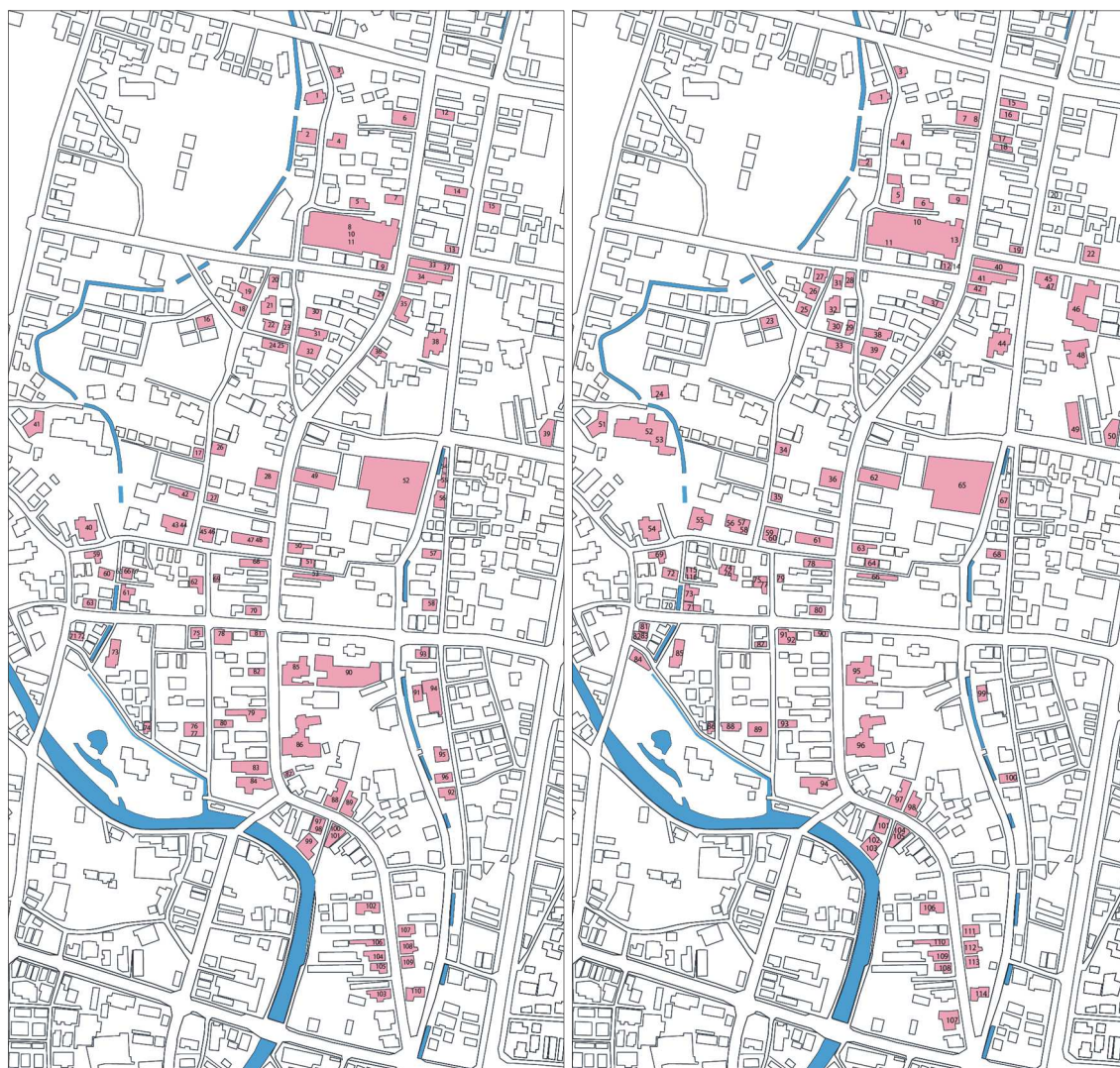
風速条件1の4方向の風向ケースと風速条件2の3方向の風向ケースにおける、道路を跨いだ延焼経路の分布を図3.4.23に示す。



図 3.4.23 地震火災時において道路を跨いだ延焼経路

最短道路突破時間の把握：

先に示した道路を跨ぐ同じ延焼経路を辿る火災の内、最速で道路を跨ぐ延焼が発生するケースにおける出火からの経過時間を最短道路突破時間と定め、被害が最も拡大するケースになり得る道路突破時間の把握を行った。最短道路突破時間を記録した出火点の分布を図3.4.24に示す。



(a) 風速条件 1

(b) 風速条件 2

図 3.4.24 最短道路突破時間を記録する出火点

道路突破経路と最短道路突破時間のまとめ：

地震火災時に道路を跨いだ延焼が起こる経路の分布を図 3.4.25 に示す。道路を跨いで延焼する経路は、風速条件 1 で 109 経路、風速条件 2 で 116 経路存在した。また、最速で道路を跨ぐ延焼が発生する場合の出火からの経過時間（最短道路突破時間）が 10 分以下となる経路は風速条件 1 で 11 経路、風速条件 2 で 18 経路あり、出火点によっては出火から早い段階で道路を跨ぎ延焼が拡大する危険性があることが確認できた。

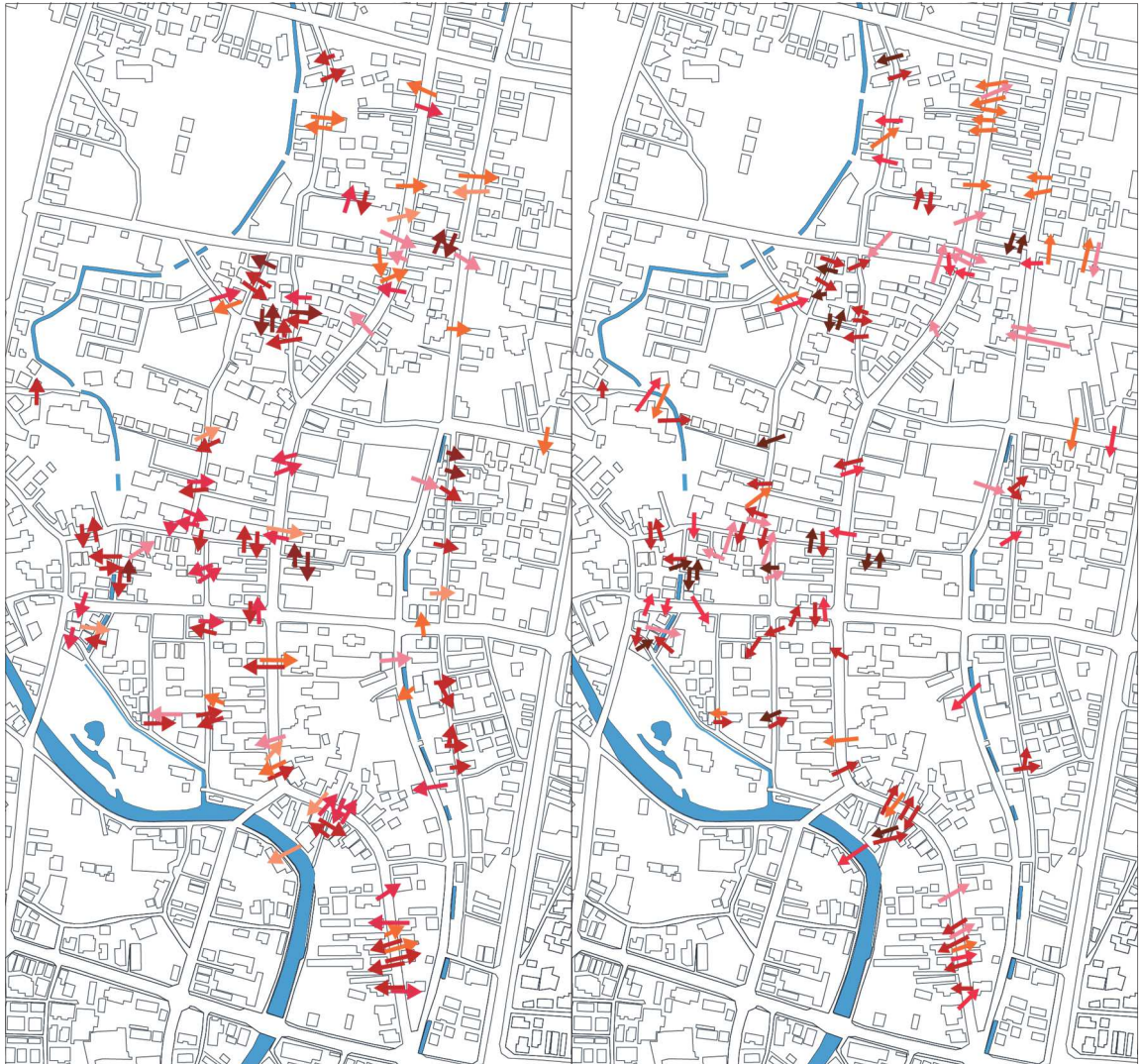
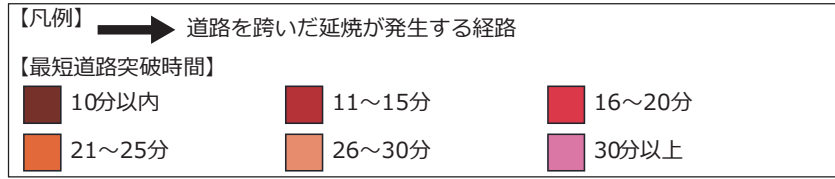


図 3.4.25 道路突破経路の分布（左：風速条件1 右：風速条件2）

(e) 消防隊到着時における火災被害の推定（通常火災時）

検討方法：

シミュレーションによって得られた時間経過毎の延焼規模や隣家への延焼開始時間と図 3.4.13 に示した消防隊の消火活動開始時間の関係から、消防隊が消火活動を開始する時点における隣家への延焼の有無の把握と消防隊による火面包囲の可否評価を行う。ここで、火面包囲の可否評価は放水開始時の火面周長による。火面周長とは、図 3.4.26 に示すように炎上中の建物を取り囲むために必要な長さであり、消防隊は1放水口で10mまで対応可能³⁻⁴⁾とする。栃木市消防署から3台の消防車が出動し、各車両から3放水口まで展開することを想定

して火面周長は 90m までと設定する。

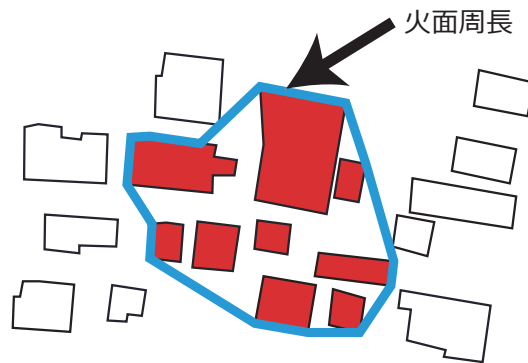


図 3.4.26 火面周長のイメージ

評価結果：

検討結果を図 3.4.27 と表 3.4.4 に示す。風速条件 1 では、通報時間を 5 分とした場合、風向に関らず約 9 割の出火点において火面包囲が可能であった。しかし、消火活動開始時に既に隣家への延焼が始まっている場合が多く、特に東北東の風向では、72% の出火点で隣家への延焼が確認された。また風速条件 2 においても風向に関らず約 9 割の出火点で火面包囲が可能であるが、北北東の風向で 73% の出火点で隣家への延焼が確認された。さらに、通報まで 10 分を要すると想定した場合では、消防隊が火面包囲できない出火点の割合は両風速条件ともに 3 割程度となり、火災覚知時間の遅延によって大規模火災に発展する可能性が高まることが把握できた。

なお、通報時間が短縮されて 3 分となった場合には、消防隊が火面包囲できる出火点の割合は全風速条件で約 95% となった。この時に火面包囲できない建物の傾向としては、比較的規模の大きな家屋やそれに隣接する家屋である。消防隊到着時に隣家への延焼が始まっている出火点の割合は、風速条件 1 の全風向で約 4 割、風速条件 2 の全風向で 5 割程度と通報時間の短縮による効果が見られる。

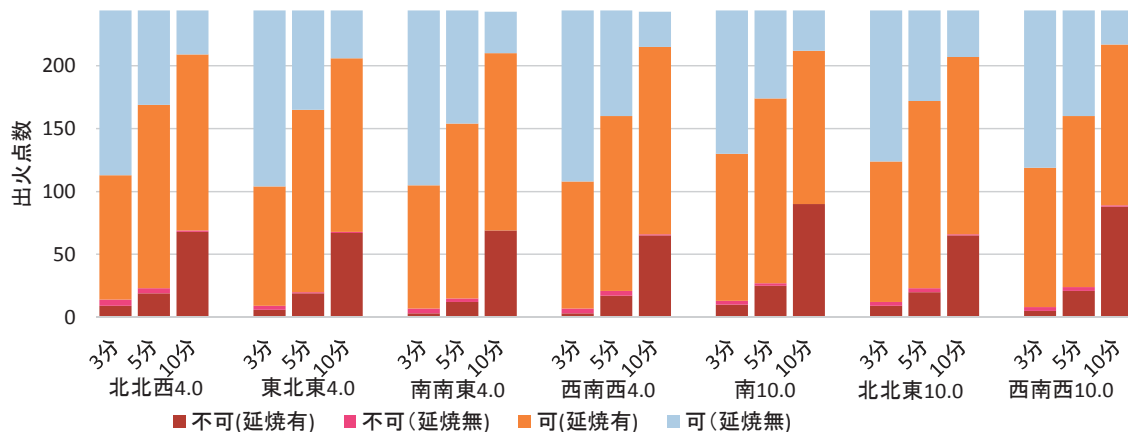


図 3.4.27 消防隊の火面包囲判定

表 3.4.4 対策後の火面包囲可能割合と消防隊到着時の延焼の有無の割合

消防隊の火面包囲可能な出火点の割合							
通報時間	北北西 4.0	東北東 4.0	南南東 4.0	西南西 4.0	南 10.0	北北東 10.0	西南西 10.0
3分	94%	96%	97%	97%	95%	95%	97%
5分	91%	92%	94%	91%	89%	91%	90%
10分	72%	67%	71%	73%	63%	69%	64%
消防隊到着時の隣家への延焼が有る出火点の割合							
通報時間	北北西 4.0	東北東 4.0	南南東 4.0	西南西 4.0	南 10.0	北北東 10.0	西南西 10.0
3分	44%	41%	41%	43%	52%	50%	48%
5分	68%	72%	62%	64%	70%	73%	64%
10分	85%	84%	86%	88%	87%	84%	89%

(f) 消防隊到着時における火災被害の推定（地震火災時）

地震火災時の消火活動開始の可否判定を先に示した通常火災時と同じ方法で行う。ただし、道路を跨いだ延焼先の建物の消火活動開始時間が、最短道路突破時間より早い場合には消防隊到達可能と判断した。

道路突破箇所数と最短道路突破時における消防隊の到達可能な割合を表 3.4.5 に、最短道路突破時間内の消火活動の可否を可視化した延焼経路図を図 3.4.28 に示す。最短道路突破時間内に消防隊が放水を開始できる経路は、風速条件 1 で 10%、風速条件 2 で 12%とわずかであり、到達できない経路が多くあることがわかった。本検討は、最速で道路を突破する延焼火災を対象にして最悪の状況下を想定したため、到達可能率は低い、道路を突破してしまった場合の被害拡大の危険性を考えると、それを抑制できる消防対策を備えておく必要がある。そのためには、住民による初期消火の対策などの検討も必要である。

表 3.4.5 道路突破箇所と最短道路突破時における消防隊の到達可能割合

	風速条件1	風速条件2
道路突破箇所	109カ所	116カ所
到達可能箇所	11カ所	14カ所
到達不可箇所	98カ所	102カ所
到達可能割合	10%	12%

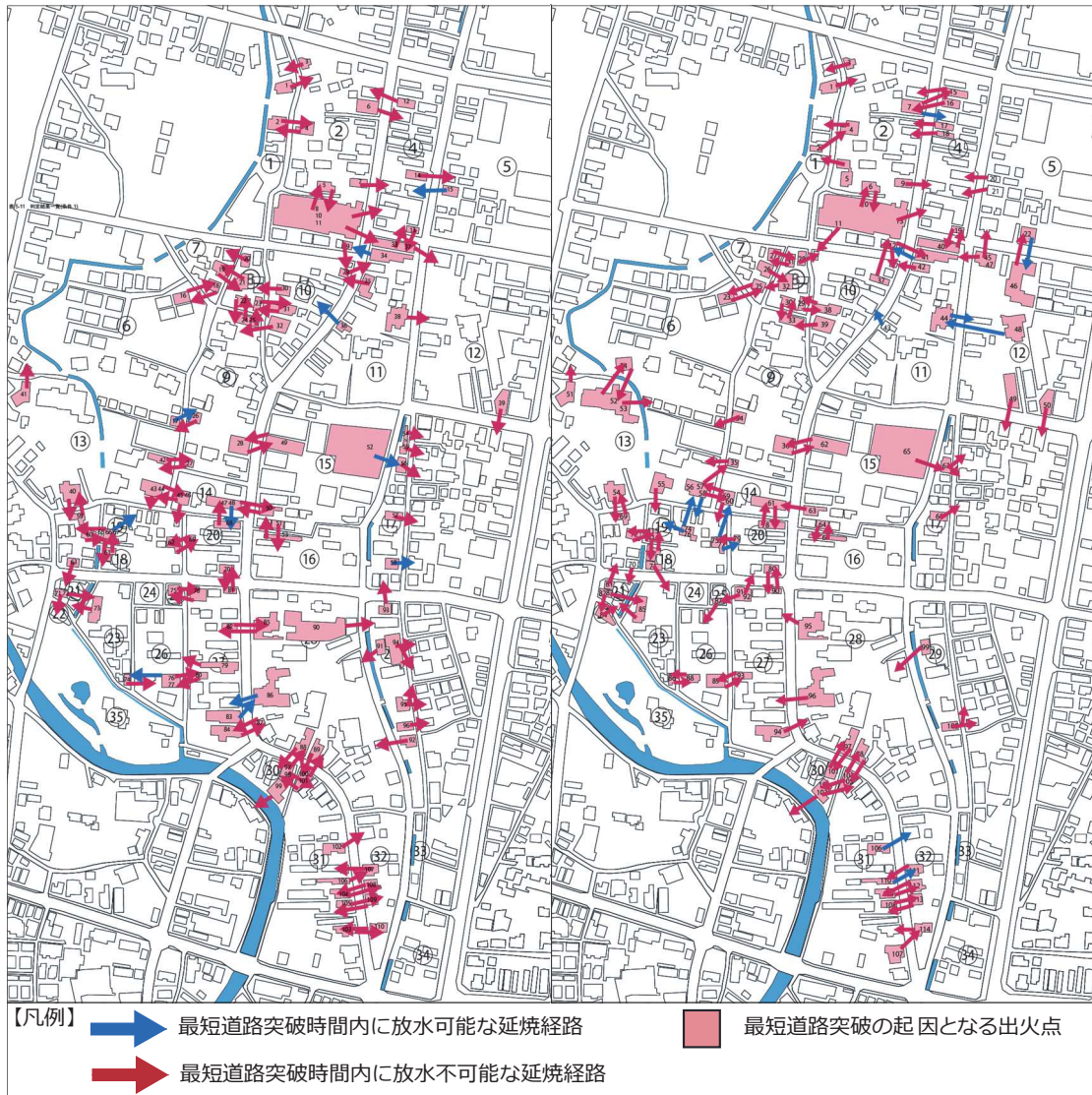


図 3.4.28 延焼経路と最短道路突破時間内の消火活動の可否
(左：風速条件 1、右：風速条件 2)

3.4.6 土蔵造の町並みにおける無線連動式住宅用火災警報器の電波伝搬特性

木造住宅の火災では、早期発見と初期消火が重要であり、火災の早期発見に効果を発揮する機器として、全ての住宅に対して住宅用火災警報器（以下、住警器）の設置が義務付けられている。特に歴史的市街地のような木造住宅の密度が高く、なおかつ歴史的価値の保存と人々の安全確保の両立が求められるような地域では、文化財的価値の焼失を防ぐためにも、火災を早期に発見し消火に成功することが望まれる。最近では複数の住警器を無線によってグループ化できる無線連動式住宅用火災警報器（以下、無線連動住警器）を活用し、子器を近隣世帯と共有することで、火災を早期に近隣にも知らせる取り組みを行っている地域があり、近隣住民による初期消火に効果をあげている事例が見られる。一方で、それらの地域では稀に誤報が発生しており、その原因の一つとして無線通信のエラーが挙げられている。無線連動住警器は、見通しの良い場所で 100m まで通信可能とされている。しかし、無線の電波伝搬の安定度や電界強度は、自然現象の影響を受け、周波数や時間、位置関係などによって大きく

左右することから、建物内部に設置した場合の通信可能距離は短くなる。本伝建地区のように厚さが20~30 cmもある土壁で覆われた土蔵造が多い歴史的市街地において、土壁や敷地特性が電波伝搬特性に及ぼす影響は未だ検討されていない。そこで、伝建地区周辺を対象に、無線連動住警器の電波伝搬特性を確認する現場実験を実施した。

(a) 一般的な電波の伝搬特性

電磁波の分類を図 3.4.29 に示す。無線連動住警器の無線に使用される周波数は 426MHz 前後で極超短波 UHF と呼ばれ、テレビや宇宙通信にも用いられる周波数である。電波の一般的な性質を以下に纏める。

- 電波は一般的には直進するが、建物などの遮蔽物体があると回折が起こる。
- 電波が遮蔽物体の裏側へ回り込むことで、周波数が低いほど回折しやすい。
- 一般に雨や雪などによる電波の減衰は、低い周波数ではあまり問題にならないが、マイクロ波帯以上の周波数においては重要な問題である。
- 大気の屈折は高さと共に減少する。電波の通路は地表のほうに曲げられる。
- 電子レンジは、家庭用であっても数百 W の出力電力を持ち、仮に 60dB のシールドがあっても、数百 W の電力の干渉となる。また、これらの干渉波は、通信用の電波と異なり、広い帯域幅を持つとともに、中心周波数が大きく変動する特徴を持つ。
- 同一あるいは近隣の場所で近い周波数帯を使用する無線システムが複数使用される場合は、対干渉性を高めるだけでなく、ほかのシステムに与える影響が小さくなるように工夫が必要である。

波長		呼称		用途	
100	10pm	電離放射線	ガンマ線	医療・材料検査	
10	100		エックス線	医療・材料検査	
1EHz	1nm	光	紫外線	殺菌灯・電子デバイス製造装置	
100	10		可視光線	赤外線コタツ	
10	100		赤外線		
1PHz	1μm		遠赤外線		
100	10	非電離放射線	サブミリ波	レーザー	
10	100		EHF ミリ波		衛星放送
100	1mm		SHF センチ波	テレビ・携帯電話・電子レンジ	
1THz	10		UHF 極超短波		VHF 超短波
100	10		HF 短波	短波ラジオ	
10	100		MF 中波	AMラジオ	
1GHz	1m		LF 長波	船舶 航空機用通信・I・H調理器	
100	10		VLF 極長波	50/60Hz 高圧送電線 家庭電化製品 (電気コタツ・ドライヤー……)	
100	10 ⁻³ km		ELF 極超長波		
10	10 ⁻⁴ km		ULF		生体現象・地震震源域
10	10 ⁻⁵ km				
1Hz	10 ⁻⁶ km				

図 3.4.29 電磁波の分類 (<http://www.microdenshi.co.jp/microwave/>)

(b) 栃木市の歴史的市街地における電波伝搬特性の確認実験の概要及び方法

実験概要及び実験で使用する無線連動住警器の仕様を表 3.4.6 に示す。伝建地区と同じように短冊状の細長い敷地に見世蔵と木造住居、土蔵が建つ小山高専サテライトキャンパス周辺（写真 3.4.4）及び伝建地区内の旧日光例幣使街道沿いに建つ伝統的建造物周辺（写真 3.4.5）において無線連動住警器の連動実験を行った。実験で使用する無線連動住警器は、電界強度が発信元の出力から 30[dB μ V]を下回ると正常に連動しない可能性がある。そこで実験では、30[dB μ V]を下回らない範囲を確認することとした。実験方法は、まず親器と子器の 2 台の無線連動住警器を使用し、親器を定点に設置する。そして、子器から無線電波をテスト発信した時の親器の受信電界強度を親器近傍に設置したデータロガー（写真 3.4.6）で計測する。これを子器の位置を変えて繰り返し実施した。ここで、無線連動住警器は地面もしくは 1 階床面から 1,500 mm の位置で固定し、親器と子器の間には人が入らない状態を原則として行った。また、実験では、計測時の天候、送受信点の温湿度、2 点間の距離、2 点を結ぶ直線上の遮蔽要素の仕様、周辺立地の状況なども併せて記録した。さらに、電波伝搬に影響すると考えられる条件（開口部の開閉状態、壁・建具の種類、家具の有無等）を考慮して複数の実験ケースを計画した。なお、実験は使用した住警器メーカー立会いのもとで実施し、計測にはメーカーのデータロガーを借用した。

表 3.4.6 実験概要及び実験で使用する無線連動住警器の仕様

実験実施日	平成28年10月24日(月) 晴れ
実験実施場所	天海邸(伝統的建造物)周辺 小山高専サテライトキャンパス周辺
無線連動住警器の仕様	使用台数: 親器1台、子器1台 種別: 光電式住宅用防災警報器 警報音量: 1mにて70dB以上 使用周波数: 426.7125MHz 電波到達距離: 約100m (障害物のない場所での水平見通し距離)



写真 3.4.4 小山高専サテライトキャンパス周辺での実験の様子



写真 3.4.5 伝統的建造物周辺での実験の様子

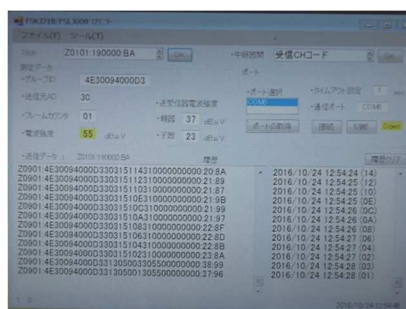


写真 3.4.6 計測状況

(c) 小山高専サテライトキャンパス周辺における結果

実験は表3.4.7に示す①～⑧のケースについて行った。各ケースの建物平面と計測点及び計測結果を図3.4.30に示す。図中で親器設置位置を■印で、子器設置位置を○印で示している。測定結果の概要は以下の通りである。

- 測定ライン上に土蔵が立地するケース④⑤は、土蔵が立地しないケース②③に比べて、連動可能な最大距離が明らかに短くなった。
- ケース①で親器から西方向の測定では、東方向の測定で電界強度の低下が見られなかった距離と同等の距離でも、交通量の多い道路を挟むことにより測定時の車両走行の有無等で電界強度に変化が見られた。
- ケース②③を比較すると、親器から東方向の測定では近接する土蔵付近から強度が低下して行く様子が見られた。また、開口部に設置された木製ガラス戸の開閉状態による大きな差異は見られないものの、開けた状態の方が通信可能距離は10m長くなった。さらに、ケース①と同様に親器から西方向の測定では、大通りを挟むことにより車両の通行のため電界強度の低下が見られた。
- ケース④⑤でも西方向の大通りを挟んだ測定では、車両の通行があったため電界強度の低下が見られた。ケース⑤で見世蔵の厨房を挟んだところにおいて17[dB μ V]の低下が見られた。ケース②③はライン上に開口部が多いのに対して、ケース④⑤は壁が多く土蔵と木造家屋の間での電界強度の低下が大きい。また、ライン上に土蔵がある為、ケース②③と比較すると開口部をすべて開けた場合で25m、閉めた場合で5m、電波の到達可能距離に差があった。子器の位置が蔵の奥に行くほど電界強度が低下し、蔵の一番奥に

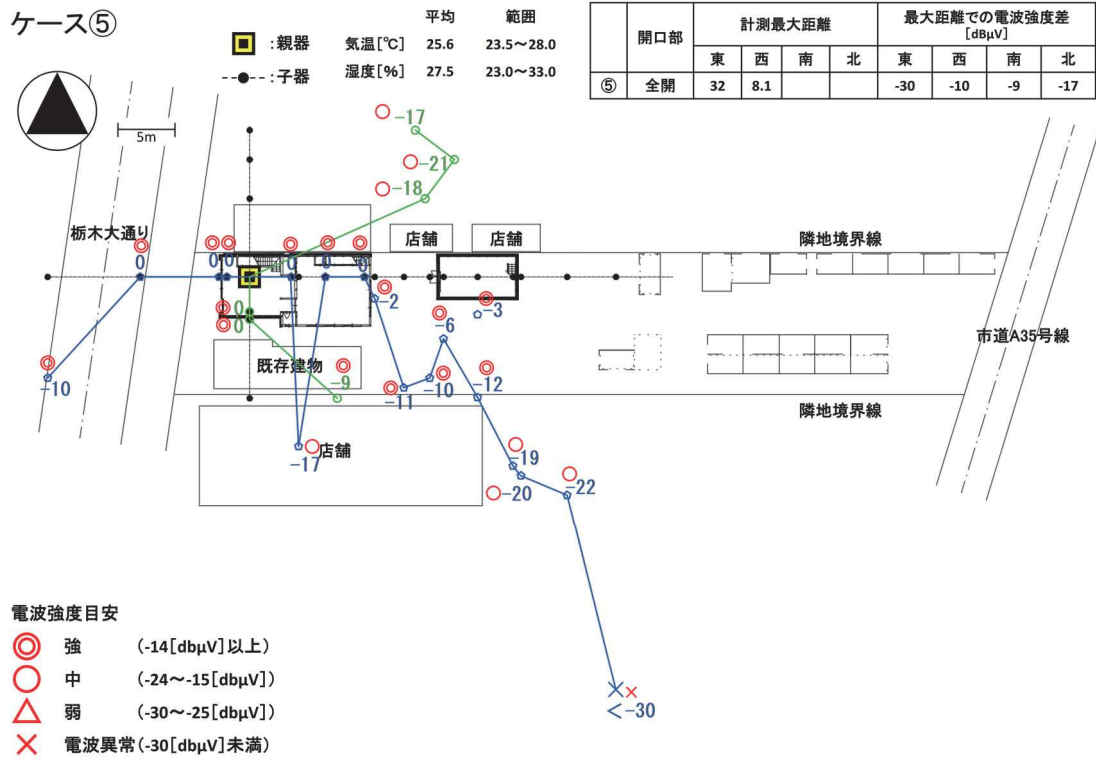
子器を置き、開口部をすべて閉めると通信不可能となった。しかし、その後土蔵の外に出し、距離を離して実験を続けると再び通信は可能になった。

- ケース⑥⑦では、他のケースに比べて電界強度の低下が開始する距離が短く、通信可能距離も最も短くなった（ケース⑥：東32m、西8.1m、南10.8m、ケース⑦：東31m、西8.1m、南12.8m）。親器から西方向の測定において、土蔵の扉を全開もしくは木製ガラス戸のみを閉めた場合は電界強度の低下は無かったが、厚さ20cmの土製観音扉を閉めた場合は電界強度が9 [dB μ V]低下した。
- ケース⑧は、親器が屋外にあり、親器から東方向では周囲の建物との距離もあるため、長い距離で通信が可能であった。西側において、道路に出る直前の既存建物の隣での測定よりも、道路に出てからの測定の方が電界強度の低下が小さいことから、親器からの距離だけでなく子器周辺の見通しなどによっても影響することがわかる。

表 3.4.7 実験ケース一覧

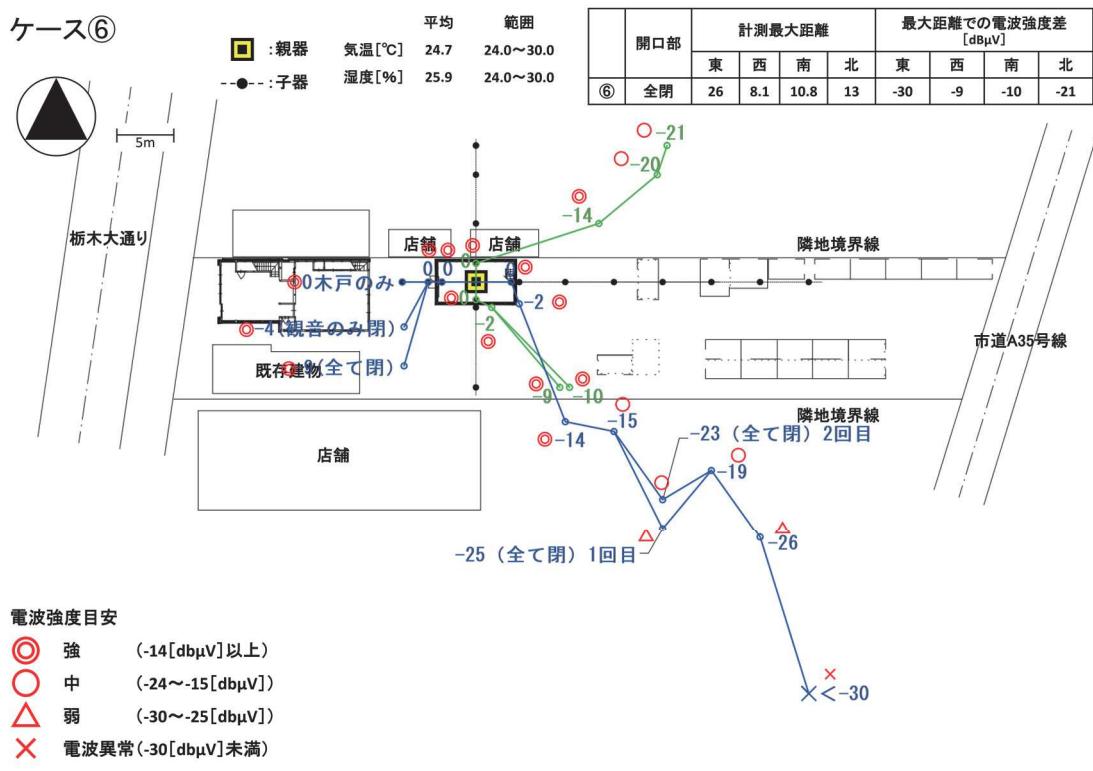
ケース	親器の位置	親器-子器間の直線上にある開口部の状態
①	路地(見世蔵南側)	
②	見世蔵内部(南側)	全て閉める
③		全て開ける
④	見世蔵内部(中央)	全て閉める
⑤		全て開ける
⑥	土蔵内部(中央)	全て閉める
⑦		全て開ける
⑧	路地(土蔵南側)	全て閉める

ケース⑤



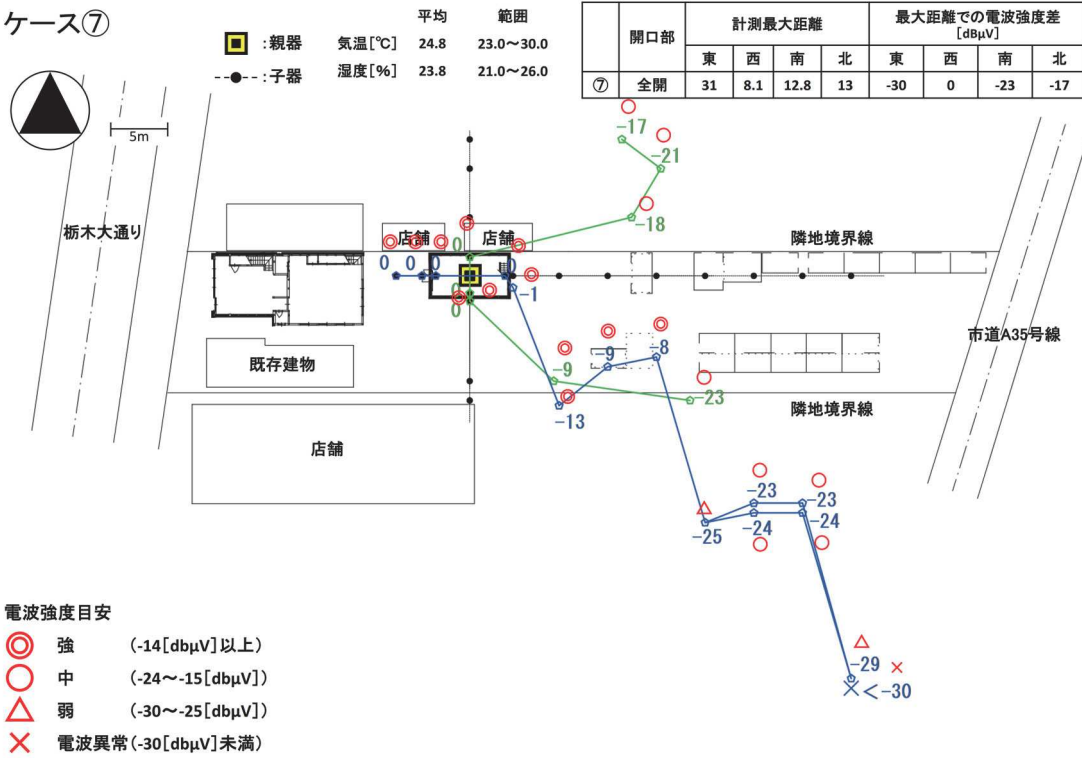
(e) ケース⑤

ケース⑥



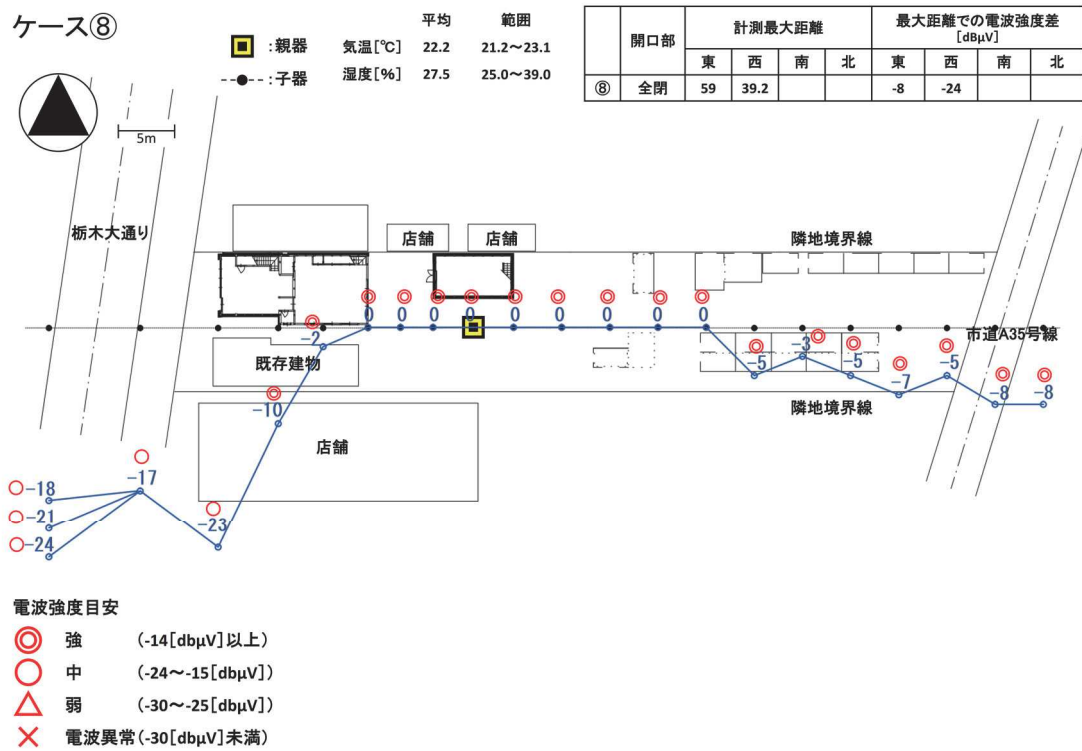
(f) ケース⑥

ケース⑦



(g) ケース⑦

ケース⑧



(h) ケース⑧

図 3.4.30 小山高専サテライトキャンパス周辺での測定結果

(d) 伝建地区内の伝統的建造物周辺における結果

実験は表3.4.8に示す①～④のケースについて行った。各ケースの建物平面と計測点及び計測結果を図3.4.31に示す。図中で親器設置位置を■印で、子器設置位置を○印で示している。測定結果の概要は以下の通りである。

- 木造の住居及び店舗内に子器を設置した場合には電界強度の変化は見られなかった。
- 親器を住居部分に設置したケース①②では、開口部の開閉に拘わらず住居に接続している土蔵に入ったところで電界強度が低下することは無かった。しかし、親器を店舗に設置したケース③④では低下が見られた。
- 土蔵の扉を含めて開口を全て閉めると、開いている場合に比べて親器からの距離と共に電界強度の低下の程度が大きい。
- 全てのケースにおいて、土蔵西側の壁に近接する位置で電界強度が最小になった。

表 3.4.8 実験ケース一覧

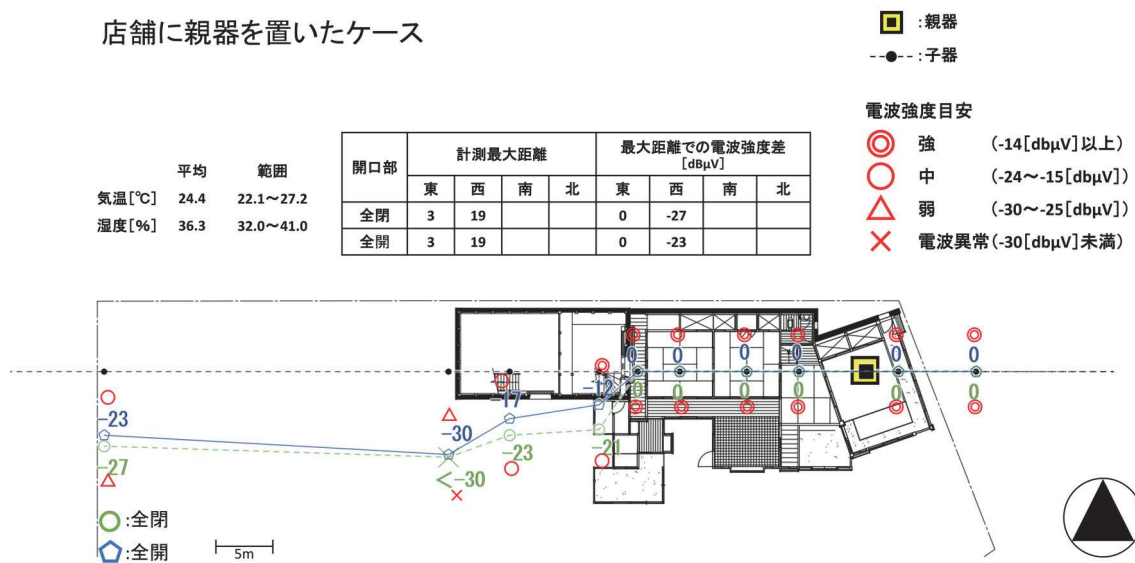
ケース	親器の位置	親器-子器間の直線上にある開口部の状態
①	居室	全て開ける
②		全て閉める
③	店舗	全て開ける
④		全て閉める

居室に親器を置いたケース



(a) ケース①②

店舗に親器を置いたケース



(b) ケース③④

図 3.4.31 伝統的建造物周辺の結果

(e) 伝建地区周辺における電波伝搬の留意点

以上の検証より確認された事項を以下に整理する。実際の設置に際しては、以下の事項に留意して、グループの構成方法や設置位置を検討していく必要がある。

- 親器と子器の間に木製建具やガラス戸があっても電界強度の低下は小さい。
- 土蔵造の厚い扉が電界強度を遮る影響は大きい。
- 車両の通行や厨房などの薄い鋼板が貼られた部屋など、金属が電界強度を遮る影響は大きい。
- 電子レンジ等の電波を発するものは、電界伝搬に影響を与える。
- 土蔵の内部や周囲では、親器と子器の設置距離が短くても設置位置によって電界強度が不安定になる場合がある。
- 本検証では、温湿度が電界強度に及ぼす影響は確認できなかった。既往の研究によると、気圧や水蒸気圧との関係で電波の通路である大気屈折率が決まるため、温度や湿度は電界強度の大きさではなく、電波の通り道が変わることが影響するようである。一般的に降雨や降雪によって電波の伝搬性能は低下するとされている。

3.5 地震に対する調査結果

3.5.1 伝建地区の地震リスク

伝建地区周辺では、これまで地震による被害の報告は少ない。防災科学技術研究所の J-SHIS 地震ハザードステーションによる今後 30 年の発生確率（表 3.5.1）を見ても極めて高い値ではない。

しかし、伝建地区周辺では油断はできない。何故ならば、一つは東日本大震災において、地震規模の割に損傷した歴史的建造物が多かったからである。その時の本震で入舟町（旧栃木市市庁舎）における発表震度は 4、旭町（栃木市図書館）における発表震度は 5 弱であり、国内で年に 1 度は起こり得る地震規模であった。それに対して第 2 章で示したように、伝建地区周辺の歴史的建造物の 148 棟に何らかの損傷が確認された。

そして、もう一つは大久保断層（図 3.5.1）の存在である。大久保断層は、群馬県前橋市、桐生市、みどり市、栃木県足利市にかけて西北西－東南東方向に分布する逆断層で、平成 29 年 2 月に政府の地震調査研究推進本部が主要活断層帯に追加した。地表では、桐生市、みどり市に分布する長さ約 9 km の断層トレースが確認されており、最新活動は不明だが平均活動間隔は 5 千年程度の可能性が言われている。断層の長さに基づくと、活動時の地震規模はマグニチュード 7.0 程度以上の可能性も示唆されている。

震源からの距離に応じた最大加速度や最大速度の推定式として司・翠川式³⁻⁵⁾がある。図 3.5.2(a)は、平成 28 年熊本地震の各地の観測データと推定式の関係を示している。これを見てわかるように、推定結果は観測データと概ね良い対応を示している。そこで、大久保断層において平成 28 年熊本地震と同じ規模の地震が発生した時の伝建地区周辺における最大加速度を評価したところ、図 3.5.2(b)のように最大加速度 290 ガル(cm/sec^2)程度の地震動が想定されることがわかった。これは、建築基準法で想定している「大地震レベル」に近い大きさであり、伝建地区周辺に入力された平成 23 年東北地方太平洋沖地震よりも大きいため、歴史的建造物にさらに大きな被害をもたらすことが想定される。

表 3.5.1 J-SHIS 地震ハザードステーションによる伝建地区における地震発生確率
(平成 29 年 12 月 1 日時点)

	今後 30 年の発生確率 (平均ケース)
震度 5 弱以上	96.8 ~ 96.9%
震度 5 強以上	59.2 ~ 59.6%
震度 6 弱以上	11.3 ~ 11.5%
震度 6 強以上	0.6 ~ 0.7%

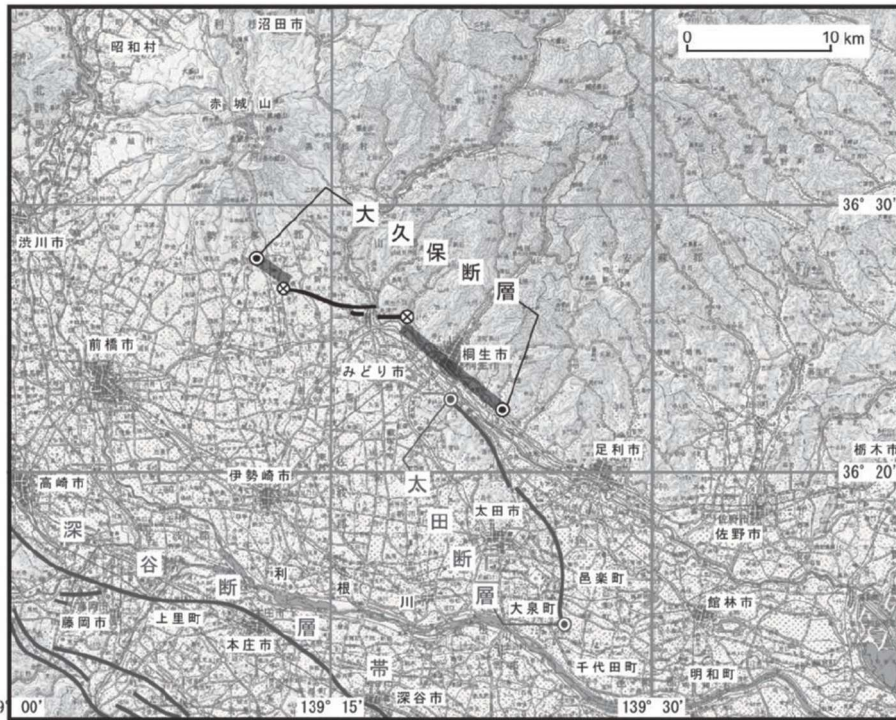
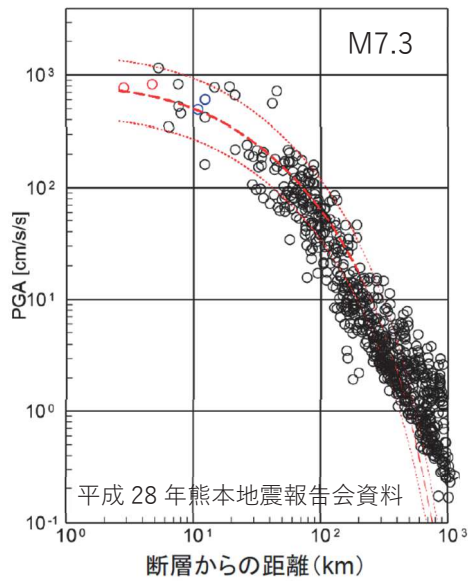
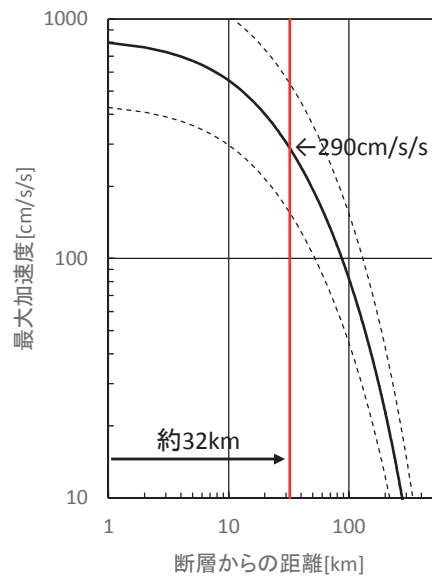


図 3.5.1 大久保断層（地震調査研究推進本部 HP より）



(a)平成 28 年熊本地震で観測された各点の最大加速度と推定式の関係



(b)平成 28 年熊本地震と同じ規模の地震が発生した場合の推定

図 3.5.2 距離減衰による最大加速度の推定

3.5.2 地盤性状と地盤増幅特性

(a) ボーリングデータの分析

建物の地震被害の分析や地震対策を考える上で、当該地域の入力地震動特性やそれと密接に関わりのある地盤構造を把握することが極めて重要である。そこで、伝建地区周辺におい

て実施されたボーリング調査データを収集し、伝建地区周辺の地盤性状を見る。収集したボーリング調査地点を図 3.5.3 に、N 値分布を図 3.5.4 に示す。伝建地区周辺の複数地点のボーリングデータを確認したところ、いずれのボーリング地点も表層直下から主に砂礫層で構成されており、部分的にコントラストの大きい層が存在する地点もあるが、概ね GL-4～6 m 以深に N 値が 40 以上の締まった層が存在する。なお、地下水位はいずれの地点でも GL-1.8～2.5m 付近にある。現地調査での地域住民へのヒアリングにおいて、伝建地区は地盤が良いことによって地震被害がこれまで少なかったという話しをされる方もいたが、ボーリングデータからも伝建地区周辺の地盤は比較的良好であることが確認できた。

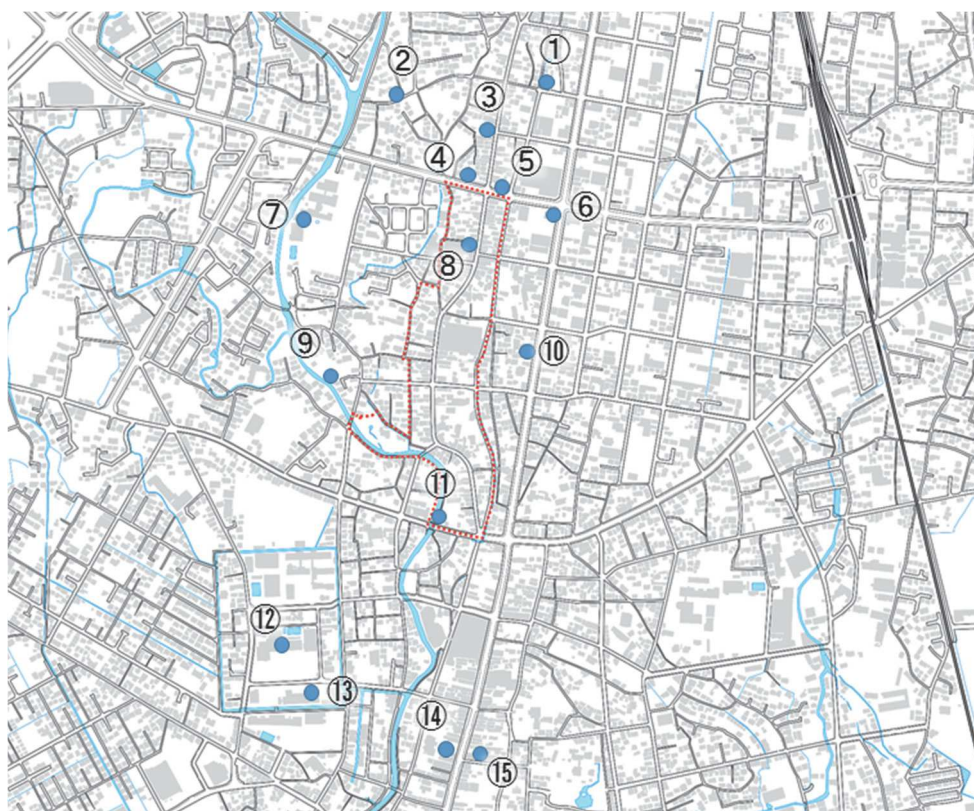


図 3.5.3 ボーリング調査地点

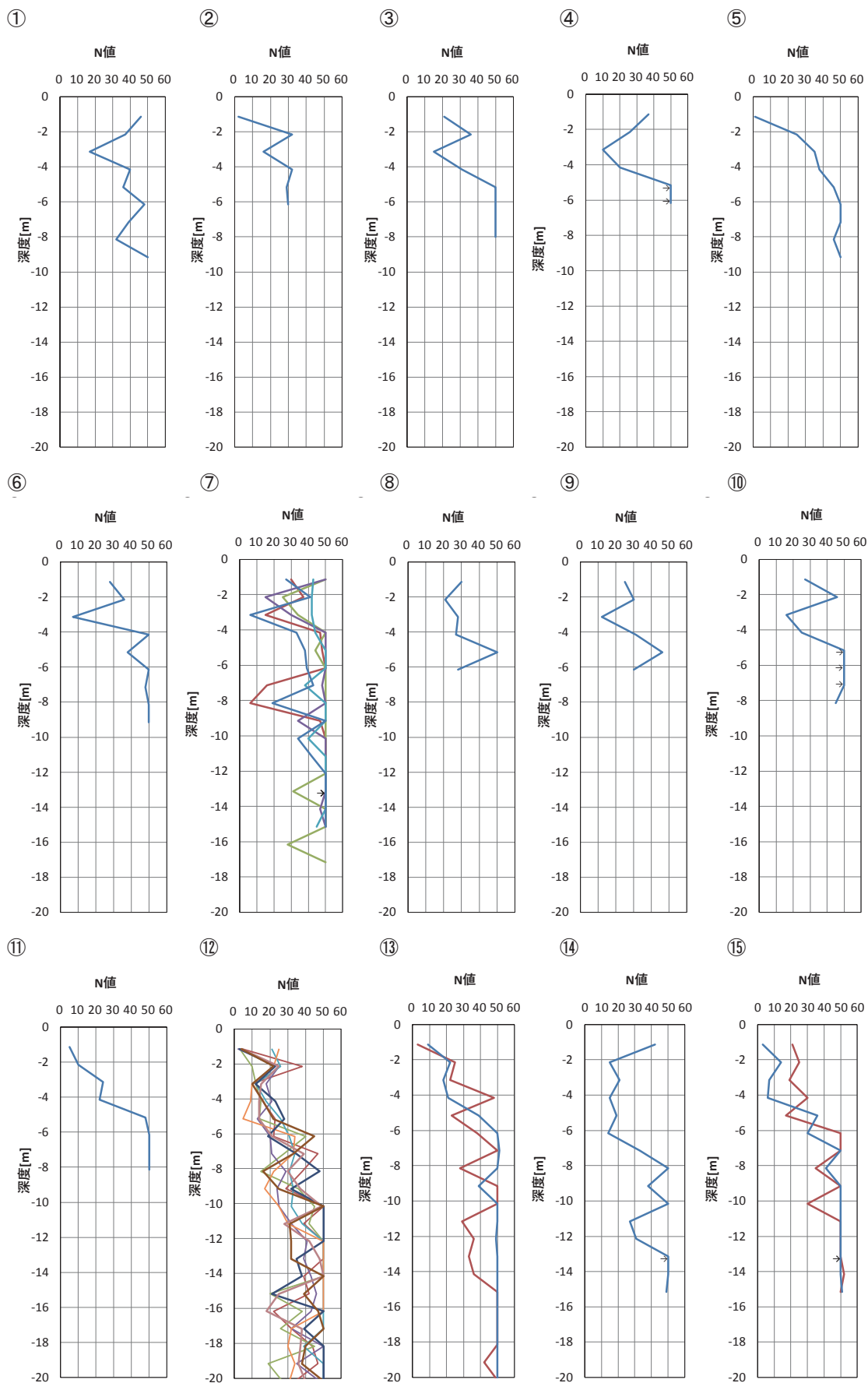


图 3.5.4 N 值分布图

(b) 地盤増幅による地震応答性状の評価

地震時の地表での揺れの大きさは、特に地表付近の地盤の状況によって変わることが知られている。一般的に、地表付近の地盤が軟弱な場所では、硬い地盤の場所に比べて大きな揺れになる。また、地下の深い部分の地盤の構造によって、地震波の振幅が大きくなることもある。これらの現象は、地震波が硬い岩盤から軟らかい地盤に伝わる時に振幅が大きくなることや、屈折や反射などにより地震波が重なり合って振幅が大きくなるという地震波の性質によるものである。

他方、近年、主として地震防災を目的に様々な地震ハザードマップが作られ、多くの住民の目に触れるようになってきた。また、2000年の建築基準法改正以降、建築構造物への設計用入力地震動策定の重要度が高まってきている。これらハザードマップ作りや設計用入力地震動の評価において、地震波が地下深くから地表面に伝搬される過程でどの程度増幅されるかが大きく依存する。

ここでは収集した地盤データに基づき、限界耐力計算で用いられる手法によって地点⑦⑫⑭⑮の表層地盤の地盤増幅特性を評価し、各地点の特性やそれらの差異について把握する。なお、地盤の増幅特性は、地盤のモデル化が結果に大きく影響する。本検討に用いた地盤データの質と量、及び解析手法は、極めて簡便なものであるため、結果についてはおよその目安として参考にされたい。

解析方法：

本検討では、限界耐力計算で使われている表層地盤増幅特性を計算するための簡易計算プログラム³⁻⁶⁾を用いて計算を行った。限界耐力計算とは、平成10年6月に改正され、平成12年6月に施行された建築基準法において、性能を明確に規定し、それを直接検証する性能検証方法として位置付けられたものである。この検証方法では、解放工学的基盤で規定された加速度応答スペクトルから表層地盤の増幅特性、建築物と表層地盤の相互作用を考慮して求めた建築物の基礎底面における加速度応答スペクトルより建築物の応答値を求めるようになっている。この中で、表層地盤の増幅特性については、平成12年建設省告示第1457号第7第一号において、表層地盤の1次、2次卓越周期と増幅率で評価するように規定されている。表層地盤の増幅特性は、土の剛性と減衰定数が地震時に生じるひずみに依存する、いわゆる非線形性の影響によって変化する。この非線形性を考慮するために、増幅率の算定において収斂計算が必要となる。

本検討で用いた計算プログラムは、非線形応答解析や等価線形化法のような技術的に厳密な方法ではない。表層地盤の非線形性を考慮する計算には三浦らの方法³⁻⁷⁾に準じているが、工学的基盤のポアソン比は0.4と固定にしている。

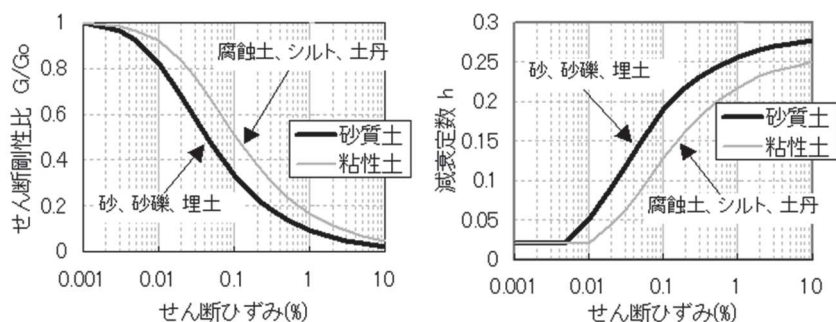
本来、地盤の非線形性は、建設地点の地盤の堆積年代及び土質により異なった値となるため、個々の建築物ごとに調査を実施して、その結果に基づいて建設地点を代表する特性を使用する必要がある。しかしながら、伝建地区周辺の土質のせん断剛性や減衰定数に関する資料を得ることが出来なかったため、平成19年の改正前の告示で示されていた値(平12建告第1457号の別表1及び2)³⁻⁸⁾を使用することとした。土質ごとのせん断ひずみと減衰定数、せ

せん断剛性の関係を図 3.5.5 に示す。また、告示に示されるせん断ひずみの範囲(0.00001 ≤ γ ≤ 0.1、γ：せん断ひずみ)では、任意のせん断ひずみに対する低減係数と減衰定数を内挿補完により求めている。告示の範囲を超えるせん断ひずみに対しては、せん断ひずみ最小・最大時の低減係数と減衰定数がせん断ひずみの範囲の外まで続いている(同じである)と仮定している。収斂計算の終了判定には表層地盤の一次卓越周期 T1 を使用し、変動が 1 % 以下になった時点で計算を終了している。

解析に用いるせん断波速度は、標準貫入試験結果の N 値から、太田・後藤による(3.5.1)式³⁻⁹⁾によって評価した。使用した地質年代係数や土質に応じた係数については、表 3.5.2 及び表 3.5.3 に示す通りである。土質各層の密度は、「入門・建物と地盤の動的相互作用」³⁻¹⁰⁾を参照し、表 3.5.4 を用いて設定した。

$$V_s' = 6879 N^{0.171} H^{0.199} Y_g S_t \quad (3.5.1) \text{式}$$

ここで、 V_s' ：換算せん断波速度
 N：N 値
 H：地表面からの深さ (m)
 Y_g ：地質年代係数 (表 3-6 参照)
 S_t ：土質に応じた係数 (表 3-7 参照)



(a) せん断剛性比 - せん断ひずみ (b) 減衰定数 - せん断ひずみ

図 3.5.5 土質ごとのせん断ひずみと減衰定数及びせん断剛性の関係

表 3.5.2 地質年代係数

	沖積層	洪積層
Y_g	1.000	1.303

表 3.5.3 土質に応じた係数

	粘土	砂			砂礫	礫
		細砂	中砂	粗砂		
St	1.000	1.086	1.066	1.135	1.153	1.448

表 3.5.4 単位体積重量 γ_t (t/m³) の目安

(a) 文献 3-11) より引用

地盤	土質	緩いもの	密なもの
自然 地盤	砂および砂礫	1.8	2.0
	砂質土	1.7	1.9
	粘性土	1.4	1.8

(b) 文献 3-12) より引用

	N 値	γ_t		N 値	γ_t
砂質土	50 以上	2.0	粘性土	50 以上	2.0
	30 ~ 50	1.9		30 ~ 50	1.9
	10 ~ 30	1.7		10 ~ 30	1.7

解析結果：

限界耐力計算では、稀に発生する地震（稀地震）と極めて稀に発生する地震（大地震）の地震動レベルとして解放工学的基盤における加速度応答スペクトルを図 3.5.6 のように規定している。解放工学的基盤でこのような特性を持つ地震動が、伝建地区周辺の地盤データに基づきモデル化した地層を介して地表面に伝搬された場合の地震動の特性（加速度応答(Sa)スペクトル）を図 3.5.7 に示す。図には、第 2 種地盤に対する告示で定める略算によって求められる地盤増幅率を考慮したスペクトルを破線で示している。解析結果による応答加速度は、ボーリング地点によって差異が見られるが、略算法によって第 2 種地盤として地盤増幅を考慮した加速度応答スペクトルが解析結果を包含している。ただし、建物周期がおよそ 0.2~0.7 秒の範囲では略算法から地盤増幅を評価した場合よりも応答加速度が最大で 2 割程度大きくなるので、留意する必要がある。

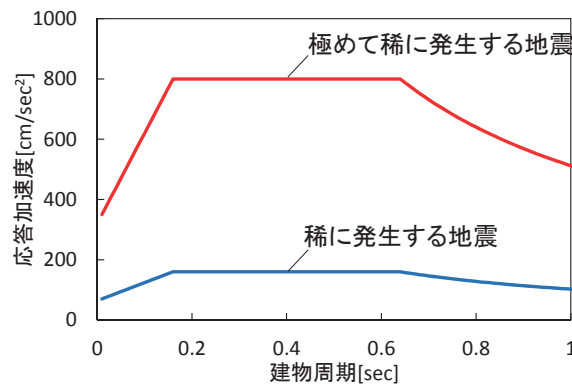


図 3.5.6 解放工学的基盤における加速度応答スペクトル (h=5%)

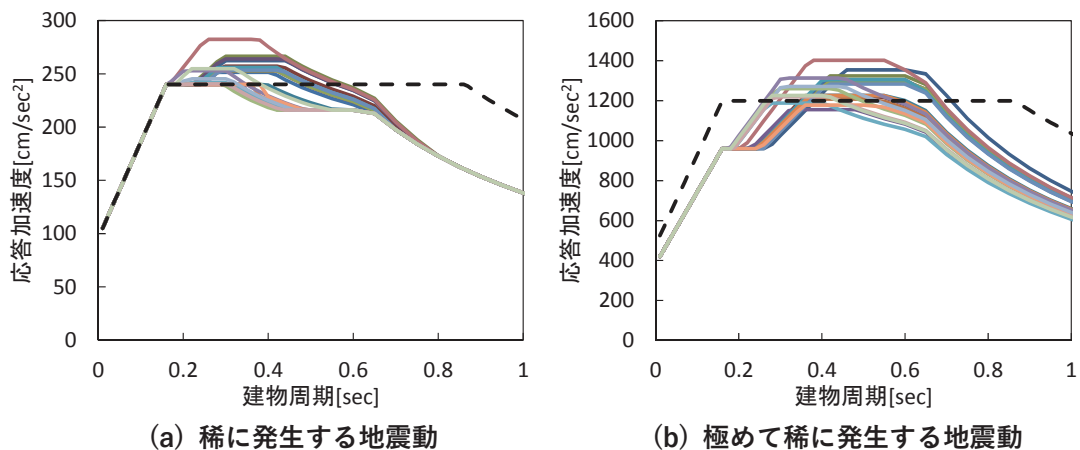


図 3.5.7 地盤増幅を考慮した地表面の加速度応答スペクトル(h=5%)

3.5.3 家屋の耐震性能に関する総体的傾向

平成 25 年に実施したアンケートでは家屋の構造に関する質問を行っている。そこで、その結果から伝建地区に現存する家屋の耐震性能について総体的な評価を行った。まず、家屋の壁の構造について尋ねた。その結果、近年では伝建地区周辺で土塗壁を施工する家屋がほと

んど無くなった中で、少なくとも回答があった437世帯の18%で土塗壁が使用されていることがわかった（図3.5.8）。

戦後の住宅の構造性能を判断する目安の一つとして、「住宅金融公庫融資を受けているか」がある。その理由は、住宅金融公庫（現、住宅金融支援機構）の融資を受けると、公庫が定める仕様書を守って建てる必要があるため、構造についても一定の品質が確保されるからである。伝建地区周辺の住宅金融公庫の融資利用状況は図3.5.9に示すように19%であり、全国における利用率（31.6%）に比べて低い傾向が確認できた。

住宅の構造性能は、真壁（柱が見える造り方）か大壁（壁で柱が見えない造り方）かによっても異なる。一般に、和室は真壁、洋室は大壁であるが、廊下やトイレ・台所に柱が見える家屋は56%であった（図3.5.10）。さらに、88%の世帯で1階に和室があり、図3.5.11に示すようにその内の7割近くの世帯で和室が2室以上あることがわかった。和室を2室以上設ける住宅が少なくなった現在において、廊下やトイレなどで柱が見え、なおかつ1階に和室が2室以上ある建物、つまりここから築年数が経っているものの水回り等の改修もした様子が無い家屋の量を推測すると全体の39%を占めることがわかった（図3.5.12）。これらの家屋については、耐震性や耐久性に不安を抱えるものも少なくないと推察でき、歴史的な町並みを残していくためにも、家屋の健全化や耐震化を進めていく必要が見られる。

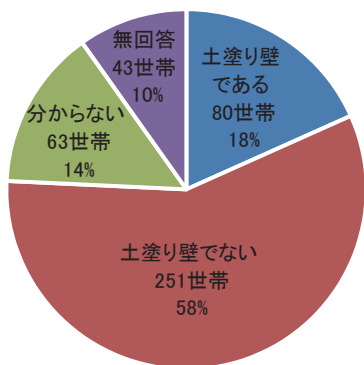


図 3.5.8 家屋の壁の構造

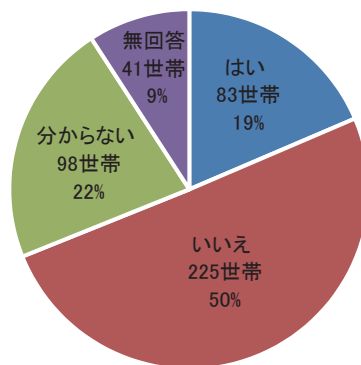


図 3.5.9 住宅金融公庫の融資利用状況

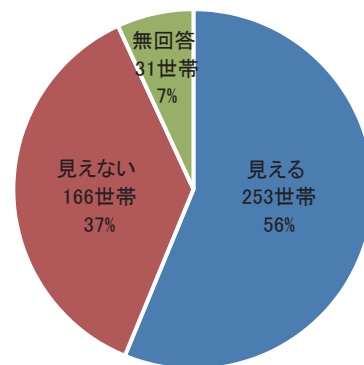


図 3.5.10 廊下やトイレ・台所の柱

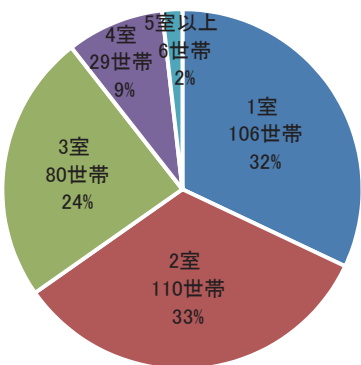


図 3.5.11 1階にある和室の数

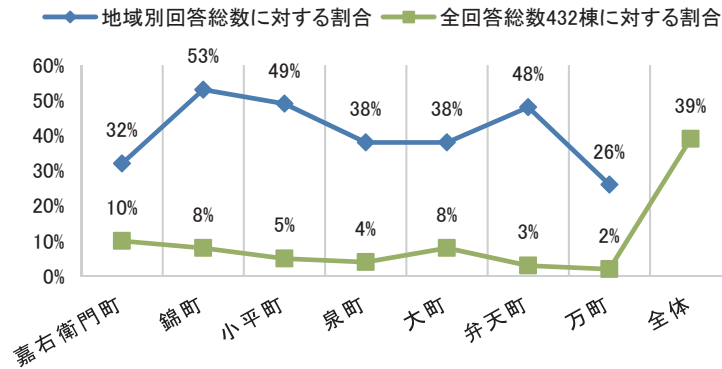


図 3.5.12 廊下やトイレなどで柱が見えてなおかつ1階に和室が2室以上ある家屋の割合

3.5.4 歴史的建造物の建物規模及び構造耐力上主要な部材等の傾向

第2章で記したように、伝建地区は多様な構造種別や構法の建物によって構成されている。そこで、ここでは栃木市に現存する歴史的建造物に対して、既往の現地実測調査データを基に、歴史的建造物の耐震性能に係る建物規模や構造耐力上主要な部材寸法等の傾向を明らかにする。

(a) 対象建物概要ならびに分析方法

栃木市中心市街地における東北地方太平洋沖地震及びその余震による歴史的建造物の被害状況や構造性能を把握するための現地実測調査が実施されている³⁻¹³⁾。また、それ以前には栃木市に現存する歴史的建造物の現況調査が行われている^{3-14),3-15)}。ここでは、栃木市の歴史的市街地を構成している土蔵、見世蔵、木造家屋に着目し、建物規模や構造耐力上主要な部材の寸法等に関する情報を既往の調査データから抽出した。そして、床面積、建物重量、柱・壁の寸法及び数量を評価した。なお、栃木市の歴史的建造物の中には、隣地の建物と連坦しているものや、表通りに面して建てられた見世蔵や木造店舗と、その背後の木造住居や土蔵とが接続しているものなどがある。このような複数棟が連続している建物については、それぞれ個別の建物として分析する。ここで、検討に使用した建物数については、評価項目によって異なるため、各図中の凡例に明示している。

(b) 建物重量と延床面積

各建物の建物重量と延床面積の関係を図 3.5.13 に示す。ここで、建物重量は「重要文化財(建造物)耐震基礎診断実施要領(以下、基礎診断)」³⁻¹⁶⁾に示される部位別の床面積あたりの重量を積算し、2階床については積載荷重として一律 600N/m²を仮定した。また、屋根は全て瓦葺(一部、付属する小屋に鉄板葺が使用されている場合がある)であり、葺土の有無は目視によって判断した。延床面積は木造家屋と土蔵が 30~220m²、見世蔵が 40~120m²の範囲に分布している。見世蔵や木造家屋については建物によって床面積が区々であるのに対して、土蔵については 50m²前後のものが多く見られる。建物重量については、建物種別ごとに延床面積との相関関係が見てとれる。最小2乗法による線形回帰式で延床面積Σ A(m²)から建物

重量(kN)を評価すると、木造家屋は $3.23 \times \Sigma A$ (データ数 $n=14$, 相関係数 $r=0.87$) となる。それに対して、見世蔵や土蔵は木造家屋に比べて土塗壁が厚いために、同じ延床面積でも建物重量が大きくなり、見世蔵の建物重量は $6.50 \times \Sigma A$ ($n=13, r=0.94$)、土蔵は $6.19 \times \Sigma A$ ($n=63, r=0.95$) となった。また、土蔵と見世蔵の回帰式に大きな差異が見られないので、土蔵造 (土蔵や見世蔵の構造種別として”土蔵造”と称する) として総合的に見ると $6.24 \times \Sigma A$ ($n=76, r=0.95$) となる。

床面積あたりの重量から簡便に評価した上記の建物重量(評価A)と、表 3.5.5 に示す方法で評価した部位ごとの重量を積算した建物重量(評価B)との比較を主要な建物において行い、評価Aによる建物重量の精度を検証する。評価Aと評価Bの比較を表 3.5.6 に示す。限られた建物での検証ではあるが、評価Bによる重量 (図 3.5.13 中の塗潰印) は土蔵が概ね一致したのに対して、見世蔵では評価Aよりも2割程度大きく、木造では逆に2割程度小さくなった。ただし、いずれの建物も線形回帰式から大きく逸脱することはなく、評価Aの重量から導いた線形回帰式を用いて延床面積から建物重量の傾向を2割程度の誤差を考慮して把握できることが確認できた。

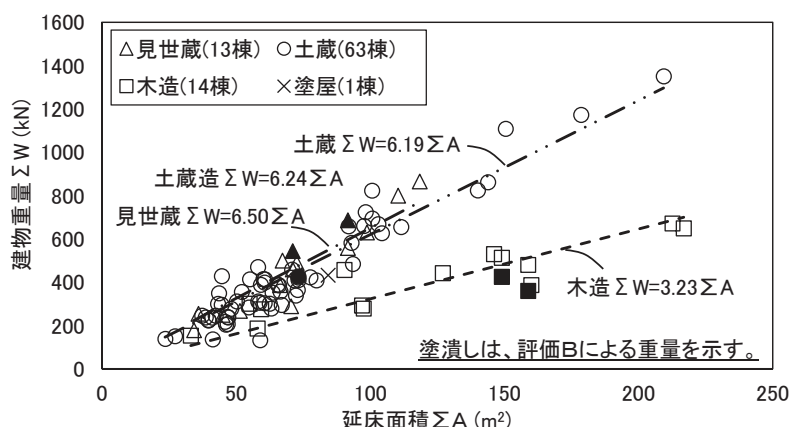


図 3.5.13 建物重量と延床面積の関係

表 3.5.5 部位ごとの精算評価手法

屋根葺材	瓦葺	600N/m ²	文献3-17)による屋根面積当たりの値
	鉄板葺	200N/m ²	
	葺土	14.7kN/m ³	
小屋組、垂木	アカマツ	$0.51 \times 10^3 \text{kg/m}^3$	文献3-18)による材料密度
軸組、野地板、天井	スギ	$0.38 \times 10^3 \text{kg/m}^3$	
外周壁	土塗壁	厚さ65mmあたり850N/m ²	文献3-17)による床均し荷重。 壁厚比を乗じて補正。
間仕切壁	土塗壁	厚さ65mmあたり950N/m ²	
積載荷重		600N/m ²	建築基準法施行令第85条「住宅の居室」

表 3.5.6 評価Aと評価Bによる建物重量の比較

	延床面積 (m ²)	評価A (kN)	評価B (kN)	A/B
見世蔵A	91.7	557.7	686.1	0.81
見世蔵B	71.1	459.2	543.7	0.84
土蔵A	73.2	422.2	427.6	0.99
木造住居A	158.8	480.2	360.2	1.33
木造店舗A	149.0	512.7	425.5	1.20

(c) 柱断面寸法と壁厚

各建物の主要な柱断面寸法と土塗壁厚さの関係を図 3.5.14 に、主要な柱断面寸法と1階床面積との関係を図 3.5.15 に示す。柱寸法は、土塗壁の厚さや床面積に対応して大きくなるような傾向は見られず、概ね木造(木造家屋)が100~130mm角(中央値110mm)、土蔵造(見世蔵、土蔵)が100~160mm角(中央値130mm)であった。また、いずれの構造種別でも柱材にはスギを使っているものがほとんどで、一部の建物にヒノキが使われていた。土塗壁の壁厚(仕上げ塗も含む)については、木造の真壁造では60mmを中央値として50~100mm程度の範囲で分布し、土蔵造の大壁造では220mmを中央値として150~300mm程度の範囲で分布している。

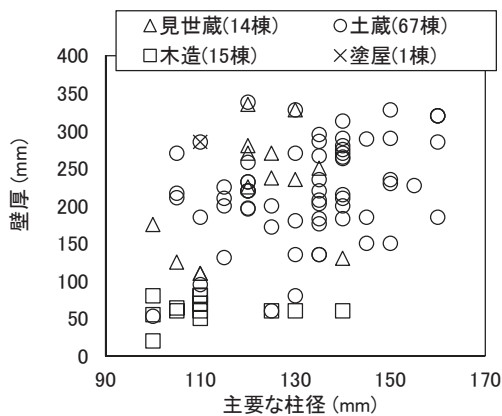


図 3.5.14 主要な柱断面寸法と土塗壁厚さ

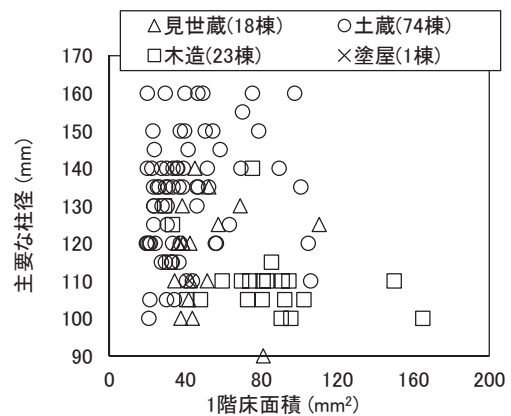


図 3.5.15 主要な柱断面寸法と1階床面積

(d) 柱量

各階における柱断面積の総和を柱量と定義し、1階における柱量と床面積との関係を図 3.5.16 に示す。ここで、重要文化財(建造物)耐震予備診断(以下、予備診断)³⁻¹⁹⁾には、木造建築物を対象に床面積に対して柱の本数や太さが耐震的に適切であるかどうかの判断指標が示されている。床面積あたりの柱量が水準値より大きいものほど評点が高くなり、耐震的に適切との判断になる。図中にはその2水準と建物種別による回帰直線を併せて示している。

土蔵は平面形状が整形であり、柱が建物外周に一定間隔(概ね3尺)で規則的に配置されているのが一般的なため、土蔵の柱量が他の建物種別よりも大きくなる傾向が確認できる。それに対して木造家屋では、不整形な平面が多く、間取りによって柱間隔が不規則であること、さらに土蔵と比べて同じ床面積でも柱断面が細い(図 3.5.15 参照)ことから柱量は小さい。土蔵ではほとんどの建物が1階床面積の0.01倍以上の柱量を有するのに対して、木造家屋は床面積の0.005倍前後に分散する傾向が見られた。一方、見世蔵の柱量は土蔵よりも少なく、木造家屋と同程度である。これは表通りに面する間口に大きな開口部があり、そこに柱が無いことによって、全体的な柱量が小さくなるためである。

(e) 壁量

歴史的建造物の主要な耐震要素として、上下の横架材間を塗り上げた無開口の全面土塗壁が挙げられる。ここでは、間口と奥行の方向別に無開口土塗壁の断面積を算出し、それを各

建物の延床面積で除して基準化した数値を壁量と定義して検討する。1階の間口方向と奥行方向の壁量を比較して図3.5.17に示す。土蔵の壁量は、延床面積のおよそ0.1倍以下の範囲で建物によって区々に分布しているのに対して、木造家屋では垂壁付独立柱が多いため、土蔵に比べて壁量は少なく、およそ延床面積の0.02倍以下の範囲に分布している。見世蔵については、奥行方向は建物によってその量に差異があり、概ね土蔵と同じような傾向が見られるのに対して、間口方向については大きな開口部を持つために、壁が全く無い建物もあるなど、建物に拘わらず壁量は木造家屋と同様に延床面積の0.02倍程度以下であることが確認できた。

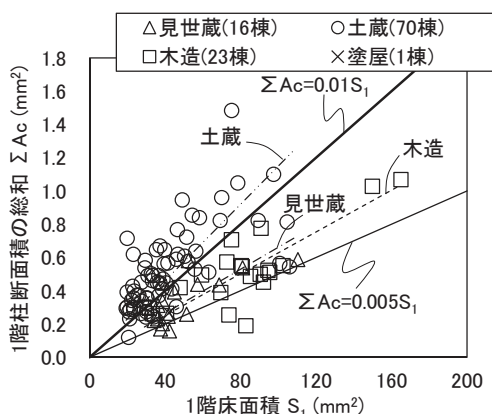


図 3.5.16 1階柱断面積の総和と1階床面積

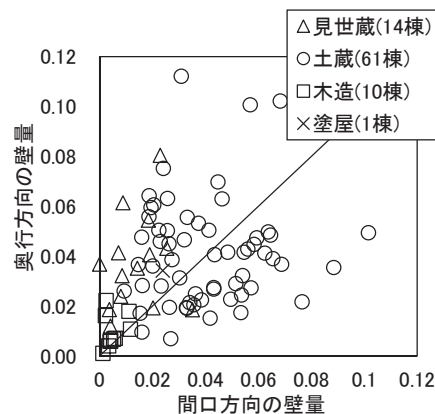


図 3.5.17 1階の各方向の壁量の比較

以上のデータ分析より、建物の構造種別や規模が多様なこと、特に見世蔵の間口方向の耐震要素が不足していることがわかった。

3.5.5 歴史的建造物の固有周期と減衰定数の傾向

北関東に現存する歴史的建造物の振動特性を把握することを目的に、振動測定を行い固有周期や減衰定数を評価する。振動測定を実施した建物は全45棟であり、表3.5.7にはその内訳を示す。これらの建物に対して、常時微動測定（一部の建物については人力加振測定を併せて実施）を行い、固有周期と減衰定数を評価した。ここで、複数棟が連続している建物については、それぞれの建物の図心位置で計測を行い、各棟の固有周期と減衰定数を評価した。計測結果のスペクトルに隣接棟の振動の影響が見られる場合には、振動モードや基礎と中間階との伝達関数などから各棟の振動性状を判断し1次固有周期を評価した。また、減衰については、RD波形の周期が上記の固有周期とほぼ一致することを確認して評価した。

振動測定の実施要領を表3.5.8に示す。測定は、サーボ型速度計（東京測振製:VSE-15D6）

表 3.5.7 測定建物内訳

建物種別	棟数
見世蔵	4
土蔵	20
木造家屋	15
コンクリート系蔵	2
石蔵	4
計	45

表 3.5.8 振動測定実施要領

測定方法	常時微動測定 (一部、人力加振測定を併行)
振動計	サーボ型速度計
振動計設置位置	1、2階、小屋組
サンプリング周波数	100Hz(一部、200Hz)
測定時間	10分間
スペクトルの平滑化	Hanningウィンドウ(バンド幅:0.029Hz)
伝達関数	パワースペクトル比(小屋組/1階)
減衰評価	常時微動測定: RD法
	人力加振測定: 自由振動

を1階と2階、小屋組の図心位置付近に設置し、間口方向と奥行方向についてそれぞれ計測した。測定サンプリング周波数は100Hz(一部200Hz)とした。得られた速度波形を4000個(40秒)ずつ分割し、末尾にゼロを追加して40.96秒とした時刻歴のパワースペクトルを求め、それらをアンサンブル平均したスペクトルの卓越周期から1次固有周期を評価した。

長辺方向と短辺方向の1次固有周期の関係を図3.5.18(a)に示す。木造の住居や店舗では、それぞれの建物の長辺方向と短辺方向とで固有周期に大きな違いは無く、0.12~0.42秒(中央値0.29)であった。土蔵については、測定した全ての建物で間口や奥行の方向に関係なく、短辺方向(妻側)の固有周期が長辺方向(平側)よりも長くなり、短辺方向で0.14~0.46秒(中央値0.26)、長辺方向で0.09~0.25秒(中央値0.18)であった。この結果より、短辺の方が剛性に寄与する土塗壁が少なく、それが固有周期に大きく影響していることが確認できた。なお、短辺方向の固有周期が長い上位3棟は、辺長比(短辺方向の長さに対する長辺方向の長さの比)が2.7~3.3と大きく、測定を実施した他の土蔵に比べて特異な平面形状をしているために、その影響が顕著に表れている。見世蔵については、間口方向(平側、長辺方向)が0.20~0.40秒(中央値0.32)、奥行方向(妻側、短辺方向)が0.15~0.31秒(中央値0.26)であった。各建物の固有周期が測定方向によって大きく異なることは無いものの、全ての建物で短辺方向(奥行)に比べて長辺方向(間口)の固有周期が長くなった。つまり、大きな開口部がある間口方向(長辺)の壁量が少なく剛性が低いために、固有周期が長くなり、平面形状と固有周期の関係が土蔵と見世蔵では全く逆になることが明らかになった。

長辺方向と短辺方向の減衰定数の関係を図3.5.18(b)に示す。木造建築物の時刻歴応答解析では、内部粘性減衰定数として $h=3\sim5\%$ を用いることが多い。それに対して、本調査で得られた減衰定数は、各建物の方向による大きな差異は無く、また建物種別に拘らず概ね2~5%に集中する結果であった。

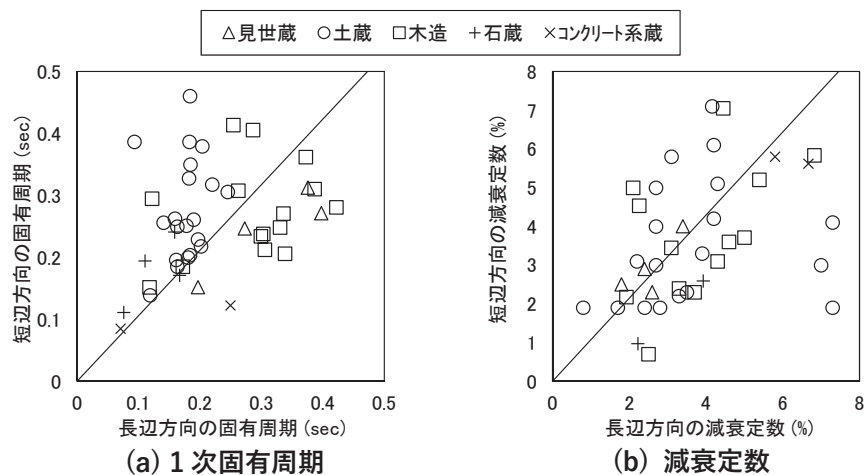


図 3.5.18 長辺方向と短辺方向の振動特性

3.5.6 伝建地区周辺の仕様の土塗壁の構造性能

(a) 民家用真壁の性能

歴史的建造物の主要な耐震要素である土塗壁の仕様は、地域性が高く、さらに土塗壁に用いられる土の強度は産地によって大きく異なることが明らかになっている。そのため、現存

する歴史的建造物の耐震性能を適切に評価・把握するためには、当該地区の土塗壁の性能を明らかにする必要がある。ここでは、小山工業高等専門学校横内研究室と東京都市大学大橋研究室が、とちぎ蔵の街職人塾と共に実施した本伝建地区周辺の真壁仕様土塗壁の水平載荷実験による構造性能等を示す。

実験概要：

水平載荷実験を実施した試験体の形状を図 3.5.19 に、使用材料と仕様を表 3.5.9 に示す。構造性能を検証するために、2 タイプの試験体を各 3 体製作した。Type 1 は木造民家の真壁に用いられる軸組と貫のみのタイプである。Type 2 は伝統技法で再現した木造民家の真壁土塗壁である。なお、この仕様は事前の調査³⁻¹³⁾において、建設省告示第 1100 号で定める壁倍率 1.5 の仕様（塗壁 70mm）と概ね同様だったことから、告示の仕様に準じている。試験体は、スパン 1,820mm の 1 スパン、高さ方向の仕口交点間の高さは 2,730mm である。また、柱と横架材との仕口部は、大変形でも柱の小口が横架材に接触しないようにしている。

試験体に使用する荒壁土と中塗り土は表 3.5.10 を目安に調合した。各試験体の乾燥後の壁厚（硬化後のチリ寸法から評価した平均値）を表 3.5.11 に示す。荒壁土の打込み直後の塗厚は 40mm であったが、乾燥収縮によって 30~35mm となったため、中塗り土は横貫側で 25mm 程度、縦貫側で 18mm 程度を塗った。中塗り土が乾燥することによる壁厚の変化はほとんどなく、最終的な壁厚は 72~73mm 程度となった。

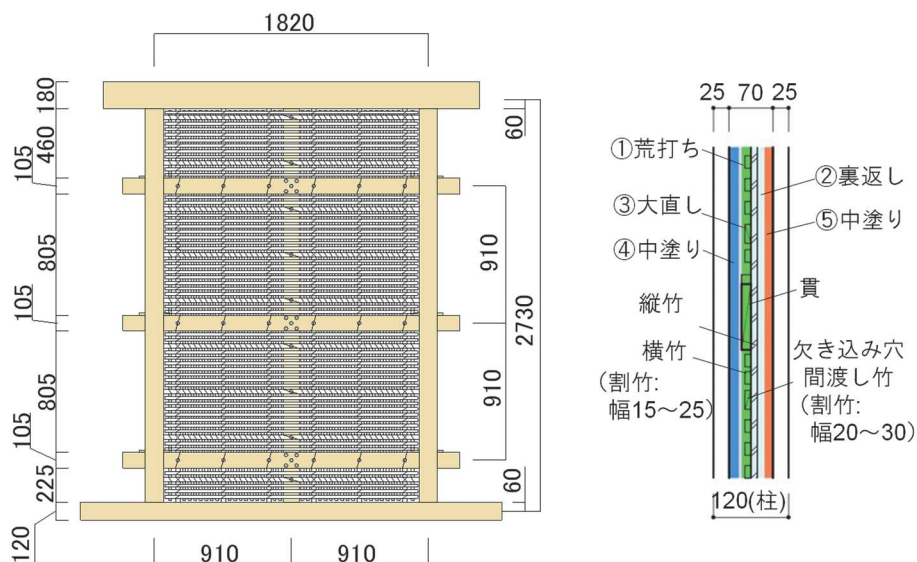


図 3.5.19 民家用真壁仕様土塗壁（Type2）の試験体形状図

表 3.5.9 使用材料と仕様

部材		Type1	Type2
軸組	柱・土台	材料 寸法	スギ(栃木産) □120mm
	梁	材料 寸法	スギ(栃木産) 幅120mm × せい180mm
貫	貫	材料 寸法	スギ(栃木産) 幅15mm × せい105mm
	楔	材料	ヒノキ(栃木産)
	貫伏せ	材料	— イグサ(琉球)
間渡し竹	間渡し竹	材料 寸法	真竹(割竹) 栃木産 幅20~30mm
	留めつけ	材料 寸法	釘※ 1-N38
小舞竹	小舞竹	材料 寸法	真竹(割竹) 栃木産 幅20~30mm
	留めつけ	材料 寸法	藁縄 1.5分
壁土	粘土	産地	栃木県栃木市
	川砂	産地	鬼怒川水系

※釘のとび出ている部分の先端は折り曲げた

表 3.5.10 使用材料と仕様

荒壁土	粘土1m ³ あたりにわら60~70kg
中塗り土	粘土10kg、砂15kg、すさ300g、水7~8ℓ

表 3.5.11 壁厚の計測値

	塗厚 [mm]		
	荒壁土	中塗り土	合計
Type2-1	35	38	72
Type2-2	34	38	73
Type2-3	34	38	72
平均値	35	38	72

損傷経過：

実験で確認できた主要な損傷経過は、タイプ1及び2のいずれも試験体3体で共通する傾向が確認された。各タイプの主要な損傷経過を以下に整理する。

Type1 試験体は、変形角 1/60~1/40rad 時で貫が座屈し面外にはらむ現象が確認できたが、それによって耐力が低下するようなことは無く、最終変形まで耐力が上昇を続ける傾向が見られた。

Type2 試験体は、1/450~1/300rad で隅角部に微細なひび割れが生じ始め、1/150rad ではその剥離や横貫に沿ったひび割れが確認されるようになった。1/100~1/75rad では隅角部を起点に壁脚部もしくは頭部の圧壊が起り始め、1/60~1/50rad で横貫側にせん断ひび割れが確認できるようになった。また、同じ頃に縦貫に沿ったひび割れが生じ始めた。さらに加力を進めると、それらの損傷が進行し 1/30rad で最大耐力となった。-1/30rad 加力時に横貫を覆うかぶり土の一部が剥落し横貫が露出すると、1/20rad 加力時に縦貫側に大きなせん断ひび割れが入り、耐力が大きく低下した。

図 3.5.20 には、上述した Type2 の損傷経過や最大耐力に対する各変形レベル耐力の比、残留変形等を層間変形角と対応させて示している。これらのデータは、土塗壁の構造性能を把握する上で有益であるとともに、被災建造物の被災程度や残余耐震性能を把握する上でも貴重な資料となる。

層間変形角[rad]	1/600	1/450	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75	1/60	1/50	1/40	1/30	1/20	最終状況
ひび割れ状況※ (Type2-3)	横貫側												
	縦貫側												
耐力比 [%]	23	28	40	56	66	81	87	92	92	98	100	85	65
残留変形[×10 ⁻³]	0.7	0.7	1.0	1.6	2.1	3.5	5.2	6.6	7.6	6.7	8.8	13.0	—
破壊現象		隅角部で微細なひび割れが発生 横貫周りにひび割れが発生	隅角部付近の壁土が剥離	隅角部付近の壁土が剥離 横貫側にせん断ひび割れが発生 縦貫周りにひび割れが発生	壁脚部もしくは頭部の圧壊	壁脚部もしくは頭部の圧壊	壁脚部もしくは頭部の圧壊	壁脚部が土台全域に渡り圧壊	壁脚部が土台全域に渡り圧壊 横貫周りのひび割れの幅が1mm以上 せん断ひび割れの幅が1mm以上	壁脚部が土台全域に渡り圧壊 横貫周りのひび割れの幅が1mm 縦貫にせん断ひび割れが発生	壁脚部が土台全域に渡り圧壊 横貫周りのひび割れの幅が1mm 縦貫にせん断ひび割れが発生	壁脚部が土台全域に渡り圧壊 横貫周りのひび割れの幅が1mm 縦貫にせん断ひび割れが発生	壁脚部が土台全域に渡り圧壊 横貫周りのひび割れの幅が1mm 縦貫にせん断ひび割れが発生
輪組と壁板のはだ別れ[mm]	3			5		10			20			25~40	—
模の抜け量[mm]		1			2		5			10			—

※黒線は乾燥収縮による初期ひび割れ青線は正加力時に発生したひび割れ、赤線は負加力時に発生したひび割れ、ハッチング部分は壁の剥がれおよび浮き部分を示す。

図 3.5.20 民家用真壁仕様土塗壁 (Type2) の損傷経過

耐力変形状と壁倍率の評価：

各タイプの荷重変形角関係 (水平荷重と見かけのせん断変形角の関係) を図 3.5.21 に、各試験体の包絡曲線の比較を図 3.5.22 に示す。

タイプ別に見ると、履歴性状に大きな差異は見られず、ばらつきの小さい安定した弾塑性挙動が確認できた。Type 1 は 1/9rad 以上の大変形に至っても耐力が低下することはなく上昇を続けた。Type 2 の最大耐力は、19.1~20.7kN ($\tau=0.155\sim0.169\text{N/mm}^2$) とばらつきが小さく、また、その時の変形は 1/40~1/30rad であった。

Type 2 の正加力側の骨格曲線から文献³⁻²⁰⁾に準じて壁倍率を評価すると、各試験体の短期許容基準せん断耐力は全ての試験体で 0.2Pu/Ds が最小となり、壁倍率は Type 2 が 2.9~3.1 であった。ばらつき係数を考慮した場合でも 0.2Pu/Ds で短期許容せん断耐力が決定し、壁倍率は Type 2 で 3.0 となり、低減係数 α を考慮していないが、告示で定める壁倍率 1.5 に対して Type 2 で約 2.0 倍の高い数値が得られた。なお、低減係数 $\alpha=0.7$ とすると、壁倍率は 2.1 となる。

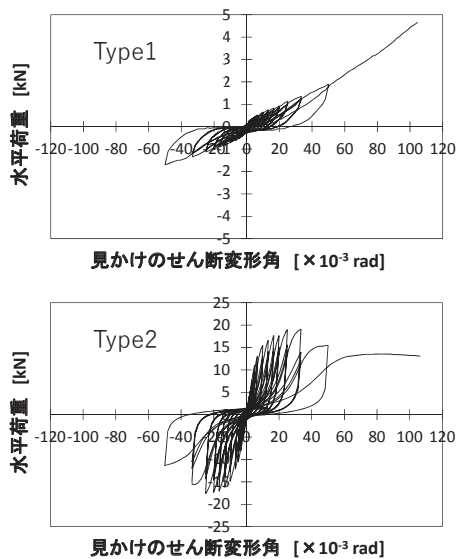


図 3.5.21 水平荷重 - 見かけせん断変形角関係

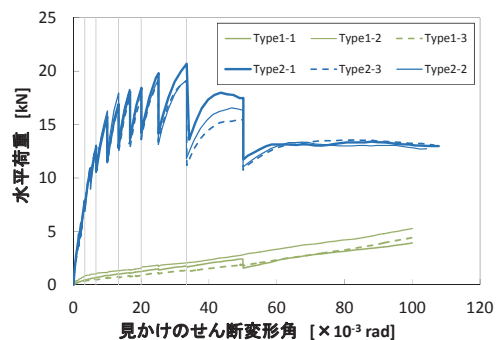


図 3.5.22 包絡曲線 (正加力側)

(b) 土蔵壁の性能

東日本大震災では、北関東の土蔵造の町家や倉庫で甚大な被害が報告されている。土蔵造建物の耐震性については、これまで全国的に見ても調査事例が稀少で未検証なことが多い。東日本大震災の被害を教訓にして土蔵造建物の地震被害を軽減するために、その構造性能の解明と、補強方法の準備が必要である。そこで、既往の現地調査³⁻¹³⁾によって伝建地区周辺の土塗壁の仕様が明らかにされてきた。そして、その仕様にに基づき土蔵造耐力壁 (Type3 試験体) を製作し、それに対する水平加力実験を行い、構造性能を明らかにした。ここでの知見は、土蔵造建物の耐震性能評価ならびに耐震補強設計、被災建造物の残余耐震性能評価等において有益なものである。

実験概要：

図 3.5.23 及び表 3.5.12 に示す 3 タイプの試験体をそれぞれ 1 体製作して加力実験を実施した。Type3-1 は貫による効果の確認を目的とした軸組のみの試験体である。Type3-2 は既存土蔵造耐力壁の耐力・変形性能、損傷状況等を確認する試験体である。Type3-3 は Type3-2 と同じ仕様の試験体を修復限界変形まで加力するものであり、仕様が同じ試験体の構造性能のばらつきを確認するほか、損傷した試験体を補修し、補修効果を明らかにすることを目的とする。補修の方法やその効果については、文献 3-21) を参照されたい。

(試験体の仕様)

試験体の形状や寸法、使用材料については、基本的に全て同一であり、幅はスパン 910mm の 2 スパン、高さ方向の仕口交点間の高さは 2,730mm である。また、柱と横架材との仕口部は、大変形でも柱の小口が横架材に接触しない形状にすることで、柱と横架材のめり込み等による抵抗を無視し、壁板の性能だけを確認できるようにしている。さらに、栃木市周辺に現存する土蔵造建物は、大壁部分の底面全面が基礎石に載って支持されていることを考慮し、試験体の大壁部分底面は加力装置の鉄骨治具上に接地させている。Type3-2,3 の形状・寸法を図 3.5.24 に、使用材料と仕様を表 3.5.13 に示す。

表 3.5.12 試験体一覧

試験体名称	仕様
Type3-1	土蔵造大壁に見られる貫と軸組のみ
Type3-2	土蔵造大壁の性能を最終破壊まで確認
Type3-3	修復限界状態までの性能を確認

表 3.5.13 使用材料と仕様

部材		仕様	
軸組	柱	材料	スギ(栃木産)
		寸法	幅130mm × せい130mm+つた掛け20mm
	土台	材料	スギ(栃木産)
貫	梁	寸法	□150mm
		材料	スギ(栃木産)
	貫	寸法	幅120mm × せい180mm
貫伏せ	材料	スギ(栃木産)	
	寸法	幅30mm × せい120mm	
	材料	ヒノキ(栃木産)	
間渡し竹	貫伏せ	材料	イグサ(琉球)
	間渡し竹	材料	真竹 栃木産
小舞竹	小舞竹	寸法	小径20~30mm
		材料	真竹 栃木産
	留めつけ	材料	(横架材見付面には割竹を使 藁縄)
壁土	留めつけ	寸法	2.5分
	粘土	産地	栃木県栃木市
	川砂	産地	鬼怒川水系

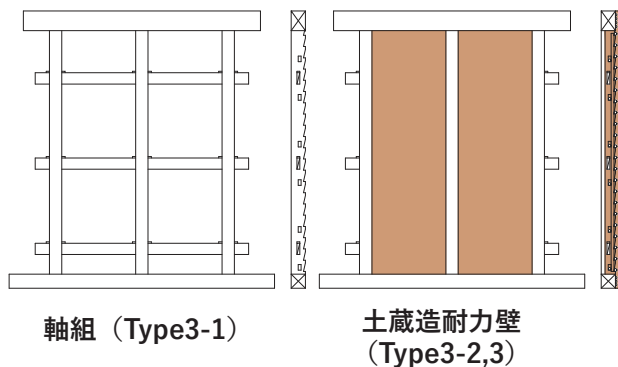


図 3.5.23 試験体概要図 (屋内側立面及び断面)

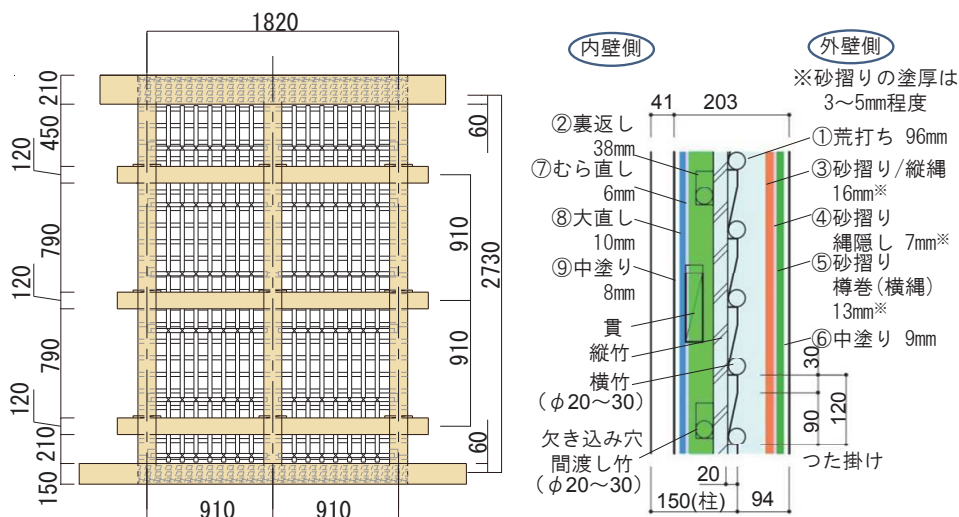


図 3.5.24 土蔵壁 (Type3-2,3) の試験体形状・寸法

各試験体の乾燥後の壁厚（硬化後のチリ寸法から評価した平均値）と、試験体の重量を表 3.5.14 に示す。荒壁は 167～172mm（砂摺り厚さ 9～15mm を含む）、中塗りは屋外側で 9 mm 程度、屋内側で 24mm 程度を塗り、最終的な壁厚は 202～204mm 程度となった。

また、実験前に荷重計で計測した試験体の重量は 13.0～13.5kN（単位体積重量：11.0～11.4kN/m³）であった。これを既往の研究³⁻¹³⁾に示した壁土の密度（硬化後の見かけ密度）に実体積を乗じて推定した値（推定値）と比較すると、両者は良く対応した。

表 3.5.14 壁厚と試験体の重量

		Type3-2	Type3-3	Type3-4	平均値
壁厚 [mm]	荒壁 ^{※1}	169	172	167	169
	中塗り	35	32	35	34
	合計	204	204	202	203
重量	試験体重量 [kN]	13.5	13.0	13.3	13.2
	(単位体積あたり重量 [kN/m ³])	(11.4)	(11.0)	(11.0)	(11.2)
	土蔵造大壁重量の推定値 ^{※2} [kN]	13.5			

※1 砂摺り(中塗り土)の各工程3～5mm程度、計9～15mm程度を含む

※2 壁土の重量は、計測した壁厚に文献2)に示す各壁土の密度を乗じて算出した。竹および葉縄の重量は無視した。軸組の比重は、文献3)に示す値を参考にした。柱については、つたかけを除いて算出した。

損傷経過：

実験での主要な損傷経過は、Type3-2 と Type3-3 で概ね同様の傾向が確認できた。図 3.5.25 には、損傷状況や最大耐力に対する耐力比、残留変形等を層間変形角と対応させて示している。

変形角 1/600～1/450rad で隅角部に微細なひび割れが発生し、1/450～1/300rad で内壁に横貫に沿うひび割れが生じ始めた。1/100～1/75rad になると内壁の隅角部が圧壊をはじめ、ほぼそれと同じ変形レベルで外壁脚部のはらみが確認されるようになった。1/75rad 加力時には外壁面の中央柱付近にせん断ひび割れが発生し、1/60～1/50rad では最上段の横貫に沿って外壁にひび割れが現れ始めた。この時、内壁では横貫に沿ったひび割れが、柱内法幅の全長にわたって繋がり、ひび割れ幅も進展したことから、1/50rad を修復限界状態（部分的な補修に

より構造性能を本来持っていた性能まで回復できる限界状態と定義)と判断した。さらに加力を進めると、-1/30rad 加力時に外壁面の中央柱付近に大きなせん断ひび割れが発生して外壁中央の壁土が剥落したり、1/30rad~1/20rad にかけて屋外側最上段の横貫に沿った複数のひび割れが一つに繋がるなど、損傷が進行すると耐力が低下を始めた。Type3-2 は1/7.1rad まで加力を行ったが、藁縄との付着により、最後まで外壁面の壁土が大規模に崩落することは無かった。

層間変形角[rad]	1/600	1/450	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75	1/60	1/50 ^{※1}	1/40	1/30	1/20	最終状況			
ひび割れ状況	屋外側 青線: 正加力時 赤線: 負加力時	[Crack pattern diagrams showing crack progression from 1/600 to final state]														
	屋内側	[Crack pattern diagrams showing crack progression from 1/600 to final state]														
耐力比[%]	21	27	36	48	57	72	80	84	88	96	100	98	85			
残留変形[×10 ⁻³ rad]	0.4	0.4	0.7	1.2	1.6	2.3	3.7	5.0	6.7	9.4	14.8	25.2	—			
破壊経過	隅角部で微細なひび割れ発生 横貫周りにひび割れ発生 横貫周りにひび割れ幅1mm以上 屋外側中央柱周りにせん断ひび割れ発生 屋内側壁脚部が土台全域に渡り圧壊 屋外側壁脚部の隅角部付近の壁土剥離 屋内側の横貫上のひび割れが横一列につながる 屋外側横貫上にひび割れ発生 せん断ひび割れ幅1mm以上 屋外側中央柱の両脇にせん断ひび割れ発生 屋内側横貫付近にて壁板のはらみ 屋内側にせん断ひび割れ発生 屋外側中央柱の壁土の剥離 屋外側壁脚部のはらみ 屋外側壁脚部のはらみ(10cm) 屋外側壁脚部のはらみ(20cm以上)															
軸組と壁板のはだ別れ[mm]	屋外側 ^{※2}	3		5		10		15		20		25		30		—
棟の抜け量[mm]	屋内側	3		5		10		15		20		30		—		

※1 熟練の左官工が修復できる限界と判断した変形角 ※2 壁板と加力治具の天端のはだ別れを計測

図 3.5.25 土蔵壁 (Type3-2,3) の損傷経過

耐力変形状と壁倍率の評価：

実験より得られた各試験体の荷重変形角関係 (水平荷重と見かけのせん断変形角の関係) を図 3.5.26 に、包絡曲線を比較して図 3.5.27 に示す。表中には、同じ壁土を用いて製作した木造民家真壁 (前項記載の Type 2 試験体、壁厚：約 70mm) の実験結果も参考に示している。

Type3-1 試験体の耐力は、1/7rad 以上の大変形に至っても低下することはなく、変形に比例して上昇を続ける性状が確認できた。Type3-2 試験体の最大耐力は 37.1kN であり、その時の変形角は 1/30rad であった。最大耐力以降も最終変形まで最大耐力の 84%以上の耐力を維持し、高い靱性能を有していることが確認できた。壁倍率は 5.9 となり、建設省告示 1100 号で定める土塗壁の壁倍率 1.5 (真壁仕様：塗壁 70mm) に対して約 3.9 倍の値となった。Type3-3 試験体は、修復限界状態と判断された変形角 1/50rad までの载荷を行った。それまでの各変

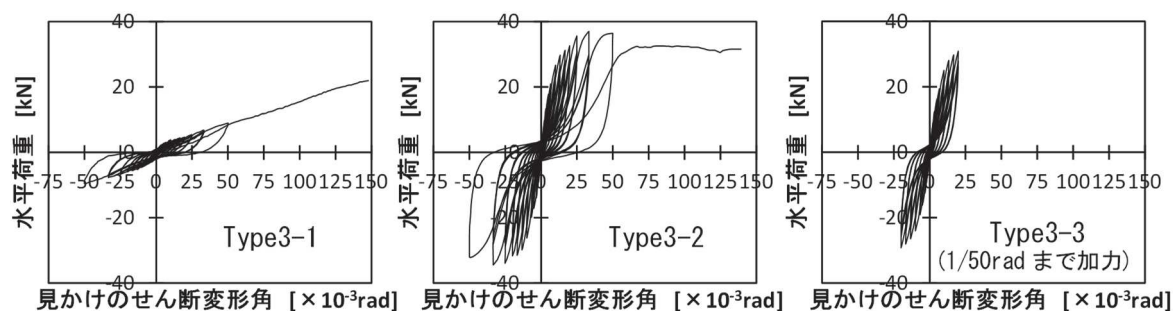


図 3.5.26 水平荷重－見かけのせん断変形角関係

形時の耐力は、Type3-2 に対して正加力側で 94%程度、負加力側で 92%程度であり、同じ仕様で製作した試験体の構造性能は、施工精度に若干の差異があっても、ばらつきの小さい結果であった。

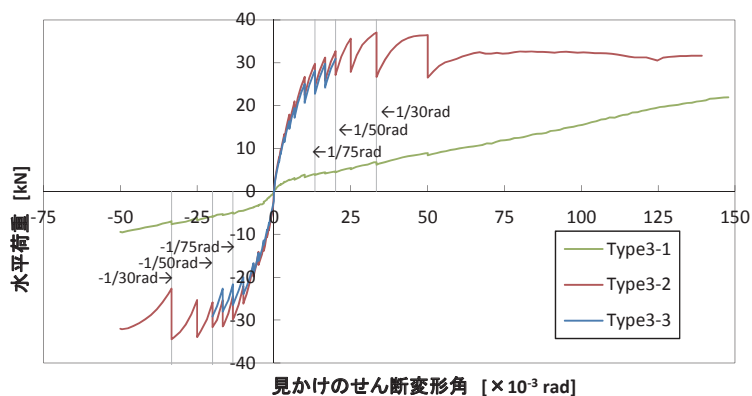


図 3.5.27 包絡曲線

3.5.7 伝統的建造物の保有水平耐力の評価

伝統的建造物の見世蔵と木造住居について保有水平耐力等の評価し、現状の耐震性能を把握する。なお、本検討は、それぞれ代表的な建物を 1 棟ずつ行うこととするが、他の伝統的建造物にも概ね同様の特性を持つことが考えられる。

(a) 対象建物の概要

対象建物は、旧日光例幣使街道の西側に位置し、通りに面して昭和 4 年建設の見世蔵を構え、その奥には大正 14 年の建設と伝えられる木造住居部分が接続している。見世蔵は、切妻・平入りの棧瓦葺・2 階建て、桁行 3 間半、梁間 2 間半、前面に半間の下屋庇を張り出し、外壁を黒塗漆喰の土蔵造とする。1 階正面は、右側に半間の戸袋を残して全面開放とし、木製ガラス戸が建てられているが、左側半間は改築されており、当初は左右対称であった可能性が強いとされている。2 階は左右に半間の戸袋を設け、その間を全面窓とする。南側にも 1 間の窓が開かれているが、これは後の改造によるものと考えられている。軒は出桁造に軒蛇腹、棟は熨斗瓦積で両端に影盛と鬼瓦を設ける。

ここでは、この見世蔵と木造住居について、それぞれ別個の建物として保有水平耐力等の評価することとする。対象建物の平面図を図 3.5.28 に、構面パースを図 3.5.29 に示す。



図 3.5.28 対象建物平面図（上図：2階、下図：1階）

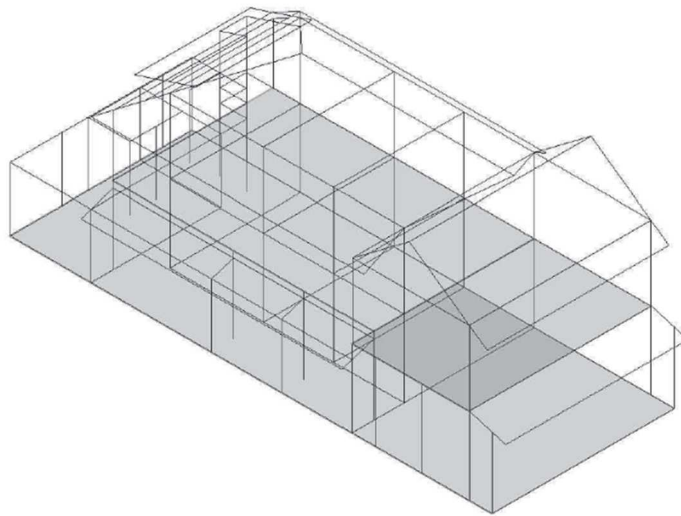


図 3.5.29 架構パース

(b) 建物重量の推定

1層の固定荷重は「1階の階高上半分+2階の階高下半分」に存在する壁の荷重、2階床面積による荷重、1階部分の屋根による荷重より求める。2層の固定荷重は2階の階高上半分に存在する壁の荷重、屋根の荷重より求める。1層、2層の分類方法を、図 3.5.30 に示す。壁面積は、外周壁と間仕切壁とに分けて固定荷重を算出する。外周壁と間仕切壁の定義を、図 3.5.31 に示す。

建物重量 (W) = 固定荷重 (G) + 積載荷重 (P)

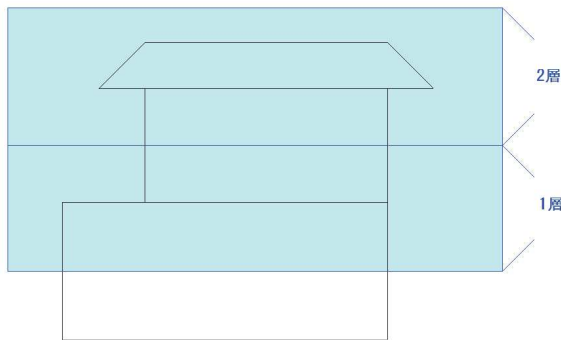


図 3.5.30 建物層の定義

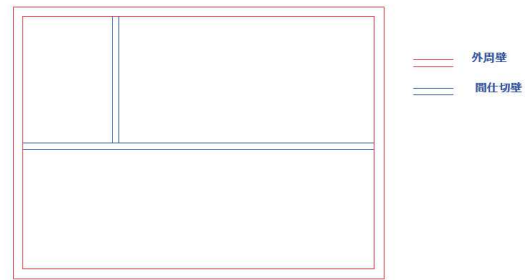


図 3.5.31 外周壁・間仕切壁の定義

建物重量は、一般財団法人日本建築防災協会「2012年改訂版木造住宅の耐震診断と補強方法」³⁻²²⁾の固定荷重並びに日本建築学会「建築材料用教材」³⁻²³⁾の木材の比重を参照した。ここで、小屋組と軸組及び天井については比重から詳細に算出している。外周壁・間仕切り壁の土壁及び板壁、屋根の葺き土、軸材、小屋組材による重量は、それぞれ土、スギ、アカマツの比重から厚さを考慮して算出した。屋根瓦や調査で確認できなかった部位は、既往の単位固定荷重を用いて算出した。固定荷重算出に用いた値の一覧を表 3.5.15 に示す。小屋組・屋根・天井に関しては屋根傾斜面積に対する固定荷重とする。また、積載荷重は $600(\text{N}/\text{m}^2)$ とした。対象建物の重量一覧を表 3.5.16 に示す。

なお、屋根葺き土の厚さは、現地調査で確認できなかったため、主要な屋根の塗り厚は外周壁の土塗り厚の $2/3$ 、下屋の葺き土の塗り厚は外周壁の土塗り厚の $1/2$ とした。また、外周壁と間仕切り壁の単位固定荷重は土塗り厚が 6.5 cm として定められているため、以下の式を用いて厚さの違いによる固定荷重の調整を行った。

$$\boxed{\text{外周壁}} \quad \text{固定荷重 (N/m}^2\text{)} = 850/6.5 \times \text{土塗り厚 (cm)} \quad (3.5.2)\text{式}$$

$$\boxed{\text{間仕切り壁}} \quad \text{固定荷重 (N/m}^2\text{)} = 950/6.5 \times \text{土塗り厚 (cm)} \quad (3.5.3)\text{式}$$

材料の比重及び部材寸法による固定荷重の算出方法を、以下に示す。

$$\text{土壁の固定荷重 (N/m}^2\text{)} = \text{比重 (g/cm}^3\text{)} \times \text{土塗り厚 (cm)} \times 0.0098 \times 10000 \quad (3.5.4)\text{式}$$

$$\text{軸材の固定荷重 (N/m}^2\text{)} = \text{比重 (g/cm}^3\text{)} \times \text{部材断面積 (cm}^2\text{)} \times 0.0098 \times 100 \quad (3.5.5)\text{式}$$

表 3.5.15 固定荷重算出に用いた諸値一覧

部位	材料	比重 (g/cm ³)	厚み (cm)	単位固定荷重 (N/m ²)	備考
屋根-塗土	土	1.5	-	-	比重は仮定
小屋組 垂木	アカマツ	0.49	-	250	比重は日本建築学会「建築材料用教材」より参照 単位固定荷重は一般財団法人日本建築防災協会 「2012年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法」 より参照
屋根	瓦葺	-	-	600	単位固定荷重は一般財団法人日本建築防災協会 「2012年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法」 より参照
	鉄板葺き	-	-	200	
野地板	スギ	0.38	-	-	比重は日本建築学会「建築材料用教材」より参照
外周壁	塗土	-	6.5	850	単位固定荷重は一般財団法人日本建築防災協会 「2012年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法」 より参照
間仕切り壁	塗土	-	6.5	950	単位固定荷重は一般財団法人日本建築防災協会 「2012年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法」 より参照
軸組	スギ	0.38	-	-	比重は日本建築学会「建築材料用教材」より参照
天井	スギ	0.38	-	100	比重は日本建築学会「建築材料用教材」より参照 単位固定荷重は一般財団法人日本建築防災協会 「2012年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法」 より参照

表 3.5.16 建物重量一覧

	層	固定荷重	積載荷重	合計重量	階が支えて いる重量
		kN	kN	kN	kN
見世蔵	2	272.1	0.0	272.1	272.1
	1	252.2	19.4	271.6	543.6
木造住居	2	170.5	0.0	170.5	170.5
	1	151.0	38.6	189.6	360.2

(c) 地震力の算定

算出した建物重量から、中地震時及び大地震時の地震力を下式により算定する。算定した地震力を表 3.5.17 に示す。

$$C_i = C_0 \times Z \times R_t \times A_i \quad (3.5.6) \text{式}$$

$$\text{中地震時地震力(kN)} = C_i \times \text{その層が支えている重量(kN)} \quad (3.5.7) \text{式}$$

$$\text{大地震時地震力(kN)} = C_i \times \text{その層が支えている重量(kN)} \quad (3.5.8) \text{式}$$

C_0 : 標準せん断力係数

Z : 地域係数 ($Z=1.0$)

R_t : 振動特性係数

A_i : 高さ方向の分布係数

表 3.5.17 地震力一覧

	層	建物重量 W_i (kN)	その層が支えている重量 (kN)	α_i	A_i	地域係数 Z	建物高さ (m)	固有周期 (sec)	振動特性係数 R_t	中地震時			大地震時		
										標準せん断力係数 C_0	C_i	地震力 (kN)	標準せん断力係数 C_0	C_i	地震力 (kN)
木造住居	2	170.5	170.5	0.47	1.25	1.0	6.81	0.204	1.0	0.2	0.25	42.6	1.0	1.25	212.8
	1	189.6	360.2	1.00	1.00					0.2	0.20	72.0	1.0	1.00	360.2
見世蔵	2	272.1	272.1	0.50	1.23		6.73	0.202	1.0	0.2	0.25	66.9	1.0	1.23	334.5
	1	271.6	543.6	1.00	1.00					0.2	0.20	108.7	1.0	1.00	543.6

(d) 保有水平耐力の評価方法

対象建物の保有水平耐力は、次の手順で評価した。

まず、対象建物を X 方向と Y 方向に分けて考え、図 3.5.32 に示すように各階及び各方向ごとに構面を抽出する。

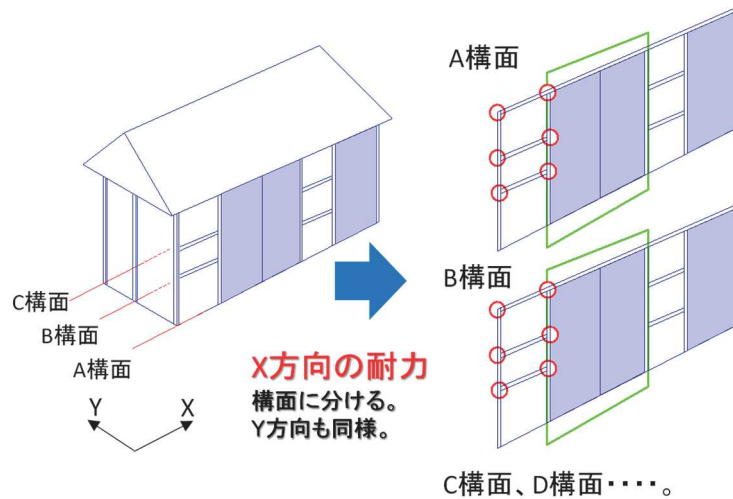


図 3.5.32 構面要素の抽出

次に、図 3.5.33 に示すように構面ごとに耐力要素（土塗壁、板壁、接合部）を抽出し、各耐力要素の骨格曲線（荷重－変形角曲線もしくは接合部の場合はモーメント－変形角曲線）を求める。なお、各耐力要素の骨格曲線については、既往の実験データに基づき後述するように定める。

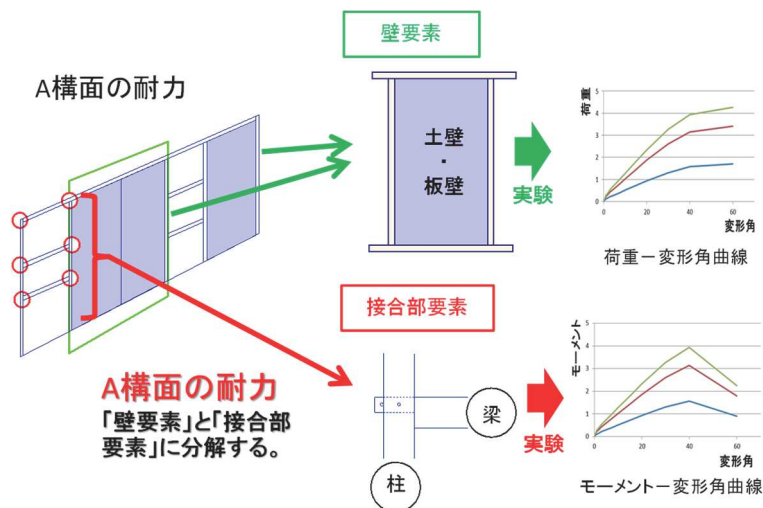


図 3.5.33 構面ごとに耐力要素（土壁・板壁・接合部）の抽出

最後に、図 3.5.34 に示すように構面ごとに同一変形時の壁と接合部の耐力を累加し、構面

ごとの耐力曲線を求め、さらに各階各方向ごとに構面の耐力曲線を合計することにより、各階各方向における耐力-変形角関係を評価する。このようにして導いた各階各方向の耐力-変形角関係について、文献 3-20)と同じ手法で降伏耐力 P_y やエネルギーが等価なバイリニアモデルに置換した時の耐力 P_u を算出する。

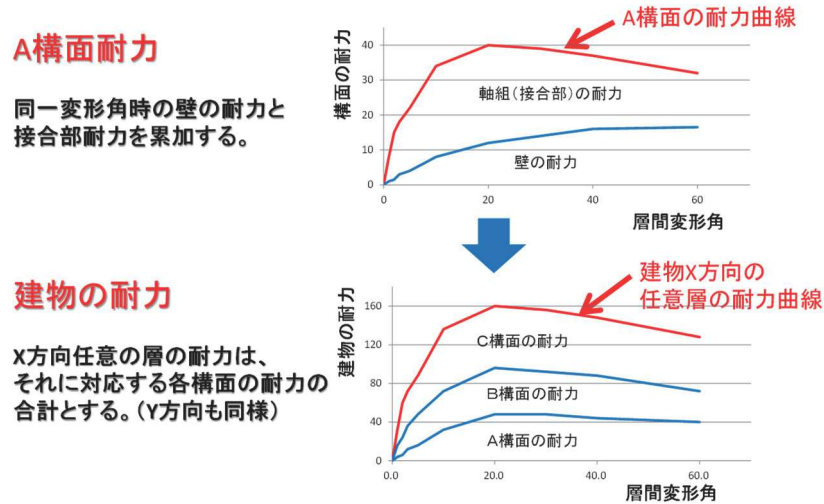


図 3.5.34 建物各階各方向の耐力の評価

(e) 各耐力要素のモデル化

対象建物の保有水平耐力を評価するにあたり、各耐力要素（土壁、板壁、接合部）について特定変形角における骨格曲線を定める必要がある。本検討では、使用する基準耐力と荷重-変形角関係を既往の研究データより定めた。

土塗壁：

平成 24 年度から平成 27 年度にかけて推進した「伝統的建造物群保存地区における総合防災事業の開発プロジェクト（以下、伝建 PJ）」では、被災建造物の耐震性能評価方法と補強案の提案を目的に、栃木市周辺の仕様に準じた土塗壁の構造性能の把握と補強効果を検証する実験が行われた³⁻²¹⁾。土塗壁の耐力算出用基準値は、この実験から得られた真壁仕様と大壁仕様の実験データを用いた標準骨格曲線を作成し、そこに安全率として 0.7 を乗じたものとした。基準値作成に使用した実験値とそこに安全率を乗じた値、さらに幅 1820mm の基準値を表 3.5.18 に示す。

ただし、土塗壁の耐力変形性状は、壁のスパンによって異なることから、表 3.5.18 に示した幅 1820mm の特定変形角時荷重を補正し、幅が 910mm と 1345 mm の基準値も作成した。作成した土塗壁の特定変形角時における耐力算出用基準値を表 3.5.19 に、荷重-変形角曲線を図 3.5.35 に示す。ここでは、木造建物は「住宅用基準値」を、見世蔵、土蔵は「土蔵用基準値」を用いることとする。ただし、間仕切り壁のように土塗り厚が薄い壁に関しては土蔵造りであっても「住宅用基準値」を用いることとする。

表 3.5.18 幅 1820 mm の土塗壁の基準値とその基となった実験データ

種別		特定変形角 (kN/m)											
		0	1	2	3	5	7.5	10	15	20	30	40	60
住宅用基準値	Type2-1	0.00	1.56	2.91	3.92	5.98	7.69	8.64	9.61	10.12	11.16	10.67	9.12
	Type2-2	0.00	1.44	2.77	3.91	5.90	7.73	8.90	9.95	10.03	10.53	9.90	8.61
	Type2-3	0.00	1.35	2.62	3.82	6.11	7.69	8.48	9.41	9.70	10.47	9.70	8.26
	3体平均	0.00	1.45	2.76	3.89	5.99	7.70	8.67	9.65	9.95	10.72	10.09	8.66
	標準骨格曲線	0.00	1.45	2.76	3.89	5.99	7.70	8.64	9.66	9.95	10.72	10.09	8.67
	標準骨格曲線×0.7	0.00	1.02	1.93	2.72	4.19	5.39	6.05	6.76	6.97	7.50	7.06	6.07
土蔵用基準値	1820(mm)幅基準値	0.00	1.02	1.93	2.72	4.19	5.39	6.05	6.76	6.97	7.25	7.06	6.07
	Type3-1a	0.00	2.62	4.99	6.74	9.81	12.78	14.66	16.75	17.97	20.06	20.24	19.74
	標準骨格曲線	0.00	2.62	4.99	6.74	9.81	12.78	14.66	16.75	17.97	20.06	20.24	19.74
	標準骨格曲線×0.7	0.00	1.83	3.49	4.72	6.87	8.95	10.26	11.73	12.58	14.04	14.17	13.82
	1820(mm)幅基準値	0.00	1.83	3.49	4.72	6.87	8.95	10.26	11.73	12.58	14.04	14.17	13.82

表 3.5.19 土塗壁の特定変形角時における耐力算出用基準値

種別	壁厚 (mm)	壁幅 (mm)	特定変形角 (kN/m)											
			0	1	2	3	5	7.5	10	15	20	30	40	60
住宅用基準値	72	910	0.00	0.50	0.95	1.35	2.00	2.60	3.00	3.50	3.80	4.30	4.50	4.60
	72	1345	0.00	0.75	1.40	1.85	2.80	3.80	4.30	5.00	5.30	5.70	5.70	5.30
	72	1820	0.00	1.02	1.93	2.72	4.19	5.39	6.05	6.76	6.97	7.25	7.06	6.07
土蔵用基準値	204	910	0.00	1.22	2.33	3.15	4.58	5.96	6.84	7.82	8.39	9.36	9.45	9.21
	204	1345	0.00	1.38	2.62	3.54	5.15	6.71	7.70	8.79	9.43	10.53	10.63	10.36
	204	1820	0.00	1.83	3.49	4.72	6.87	8.95	10.26	11.73	12.58	14.04	14.17	13.82

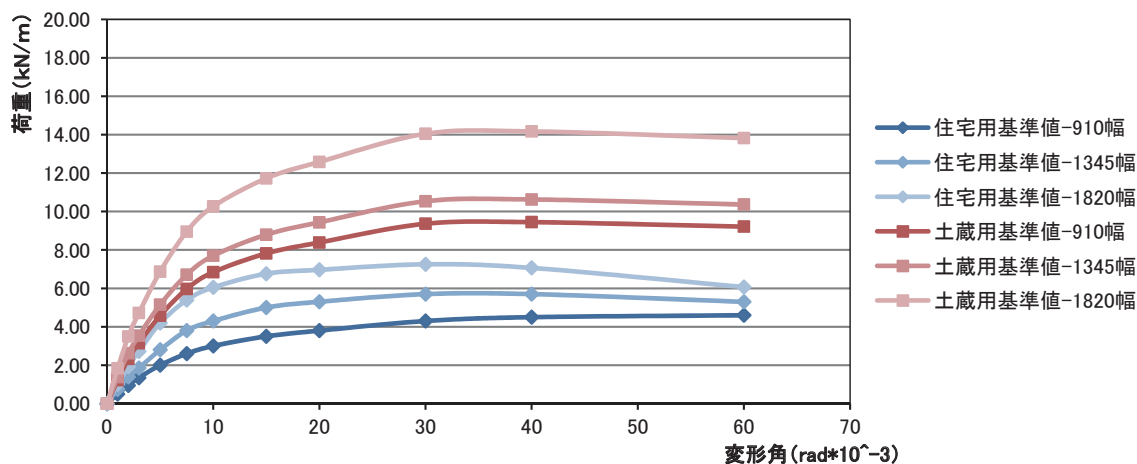


図 3.5.35 土塗壁の基準骨格曲線

なお、基準骨格曲線は実験で用いた試験体の土塗厚さ（住宅用：72mm、土蔵用：204mm）を基準とするものであり、現地実測調査によって確認した対象建物の土塗厚さとは異なる。そこで、実測した壁厚から下式を用いて骨格曲線の補正を行い、それぞれの壁厚に対応する特定変形角時荷重を求める。なお、樋口の論文³⁻²⁴⁾では、下式による補正方法の妥当性が検証されており、基準値及び補正係数算出式は概ね妥当なことが示されている。

$$\text{真壁用係数} = (t/72)^{1.5} \quad (3.5.9)\text{式}$$

$$\text{大壁用係数} = (t/204)^{1.5} \quad (3.5.10)\text{式}$$

t：伝統的建造物の土塗り壁の厚さ

また、伝統的建造物に存在する土塗壁には、小壁や開口を有するものなど様々なものがある。小壁や開口を有するものについては、下式から算出した補正係数を基準耐力に乘じることとする。補正係数算出時の寸法参照図を図 3.5.36 に示す。

$$\text{補正係数} = \frac{w}{w_0} \times 1.0 \times \left(\frac{h-h_0}{h}\right) \quad (3.5.11)\text{式}$$

- w : 土壁の幅-柱真 (mm)
- w₀ : 基準値の壁幅 (mm)
- h : 壁高さ (mm)
- h₀ : 開口高さ (mm)

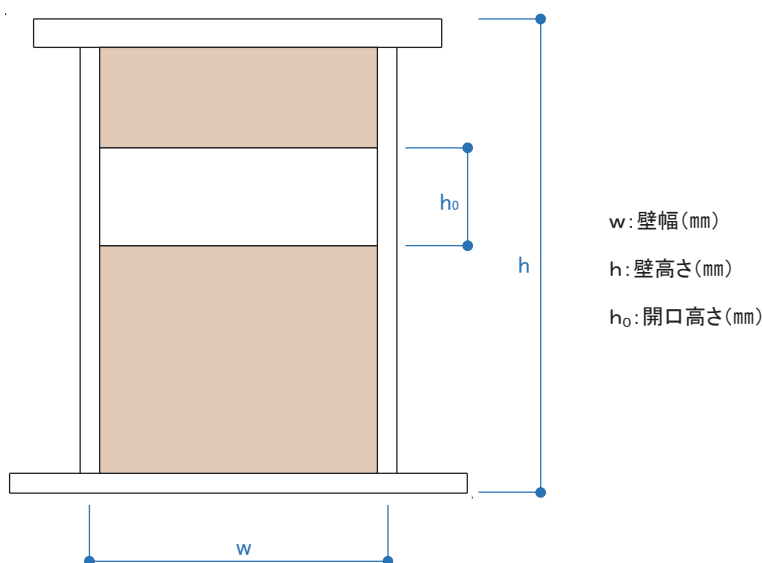


図 3.5.36 補正係数算出時の寸法参照図

板壁 :

木造住居には、土塗壁の上に板が釘打ちして貼られている壁が存在した。ここでは、その板に通常の板壁の約半分の耐力があると仮定した。

板壁の耐力算出用基準値（以下、板壁基準値）は、一般社団法人木を活かす建築推進協議会の情報プラットフォームに掲載されている「耐力要素の強度性能評価書 壁構面（5段貫 スギ板）」³⁻²⁴⁾の特定変形角時荷重を参照し、最大耐力は一致させて初期剛性は半分以下しかないと仮定した。特定変形角時の板壁基準値を表 3.5.20 に、荷重－変形角曲線を図 3.5.37 に示す。なお、既往の実験のスギ板厚が 15 (mm) であることから、係数を以下のように設定した。

$$\text{スギ板壁用係数} = \left(\frac{t}{15}\right) \times 0.2 \quad (3.5.12)\text{式}$$

t : 伝統的建造物のスギ板厚

表 3.5.20 板壁の特定変形角時における耐力算出用基準値

仕様\変形角(rad*10 ⁻³)	特定変形角時荷重(kN/m)											
	0	1	2	3	5	7.5	10	15	20	30	40	60
W-2-②	0.00	1.40	2.50	2.87	3.48	3.79	4.07	4.41	4.84	5.36	5.88	6.92
W-2-③	0.00	1.46	2.56	2.95	3.50	3.80	4.04	4.56	5.08	5.62	6.15	7.19
板壁基準値	0.00	0.30	0.50	0.70	1.10	1.55	1.95	2.65	3.30	4.35	5.30	7.00

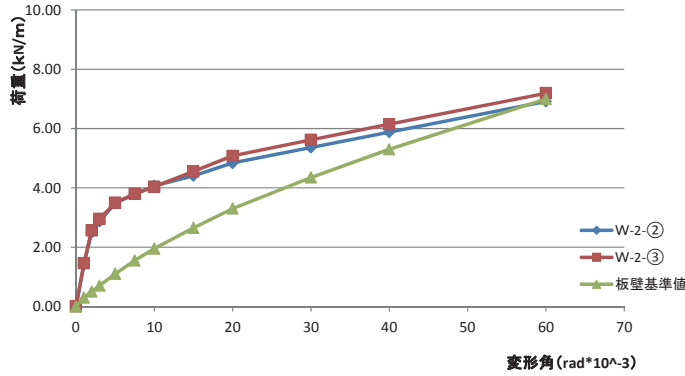


図 3.5.37 板壁基準値の荷重－変形角曲線

接合部：

接合部の保有水平耐力算出用基準値となるモーメント値は、既往の接合部実験結果から設定した。接合形式とその補正係数を表 3.5.21 に、各接合形式の特定変形角時モーメントを表 3.5.22、図 3.5.37 に、補正係数算定時のパラメーター参照図を図 3.5.38 に示す。

表 3.5.22 接合部の特定変形角時モーメント

詳細番号\変形角(rad × 10 ⁻³)	特定変形角時モーメント(kNm)											
	0	1	2	3	5	8	10	15	20	30	40	60
A-1接合	0.00	0.05	0.10	0.14	0.22	0.31	0.41	0.62	0.82	1.23	1.54	1.94
A-2接合	0.00	0.13	0.21	0.28	0.42	0.56	0.70	0.95	1.17	1.48	1.62	1.62
B接合	0.00	0.06	0.09	0.12	0.17	0.23	0.29	0.41	0.53	0.74	0.89	0.96
C接合	0.00	0.08	0.14	0.20	0.34	0.53	0.71	1.14	1.49	2.09	2.58	3.33
D接合	0.00	0.06	0.10	0.18	0.28	0.43	0.58	0.83	1.03	1.29	1.47	1.87

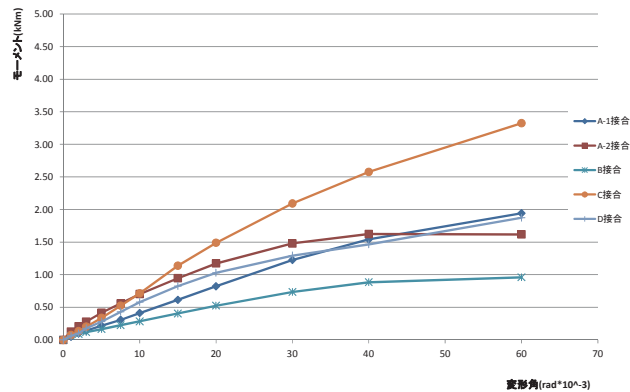
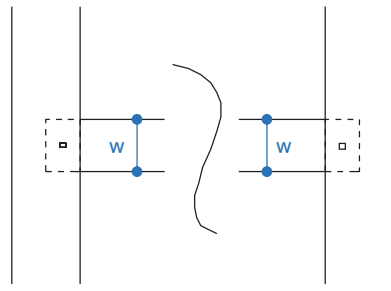


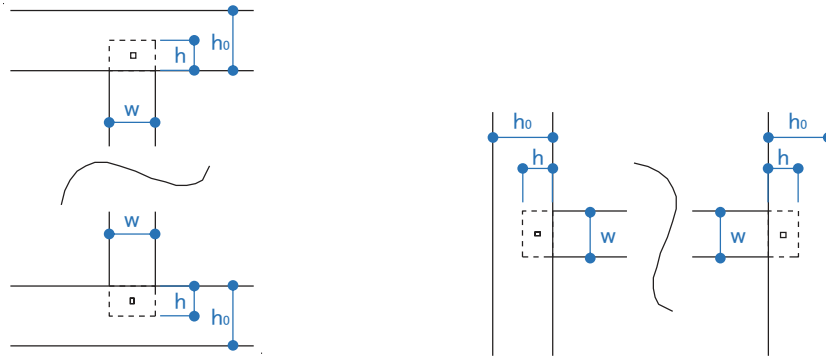
図 3.5.37 接合部の特定変形角時モーメント

表 3.5.21 接合形式一覧 (w:横架材せい、h:縦材せい)

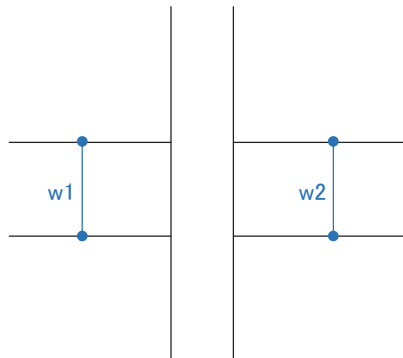
番号	概要図	詳細番号	接合名称	詳細接合図	部材の組み合わせ	補正係数		補正係数の根拠			
						寸法(mm)	補正係数 α 算出式				
A		A-1	小根ほぞ接合		柱と梁	$w < 60$	$\alpha = 0$	-			
						$60 \leq w < 250$	$\alpha = (w/180)^2$	180の実験値(割楔)を基準に設定			
		A-2				$250 \leq w$	$\alpha = (w/210)$	210の実験値(込栓)を基準に設定			
		B		B	長ほぞ接合		長ほぞ接合	$w \leq 90$ かつ $h < 120$	$\alpha = (w/90)^2 \times (h/120)$	-	
$w \leq 90$ かつ $120 \leq h$	$\alpha = (w/90)^2 \times (120/120)$							-			
$90 < w$ かつ $h < 120$	$\alpha = (w/90) \times (h/120)$							-			
$90 < w$ かつ $120 \leq h$	$\alpha = (w/90) \times (120/120)$							-			
C		C	竿車知接合		十字接合	全寸法	$\alpha = (w/180)^{1.5} \times (h/150)^{1.5}$	-			
						十字接合 ・窓台 ・横架材同士の接合	全寸法	$\alpha = 0$	-		
						D	渡り腮接合		全寸法	$\alpha = (w/120) \times (w-30)/120$	-
									該当接合なし	全寸法	$\alpha = 1.0$



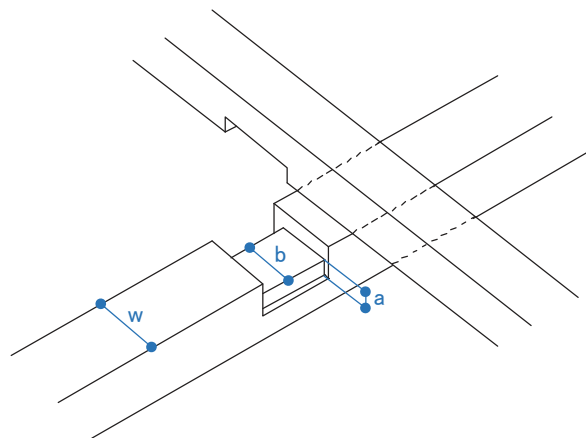
(a) A-1、A-2 接合（小根ほぞ接合）



(b) B 接合（長ほぞ接合）



(c) C 接合（竿車知接合）



a: 腮深さ (mm)
 b: 腮幅 (mm)
 w: 横架材幅 (mm)

(d) D 接合（渡り腮接合）

図 3.5.38 補正係数算定時のパラメーター参照図

(f) 対象建物の保有推定耐力の評価

木造住居：

木造住居の建物概要を表 3.5.23 に、1・2階柱壁略伏図を図 3.5.39 に、各層 X・Y 方向ごとの水平耐力と変形角の関係を図 3.5.40 に示す。

表 3.5.23 木造住居の建物諸元

床面積 (㎡)			高さ (mm)			壁厚-外周壁 (mm)	
1階	2階	延床	1階階高	2階階高	建物高さ	土壁	板壁
94.43	64.4	158.83	2980	2881	5861	50/40	15

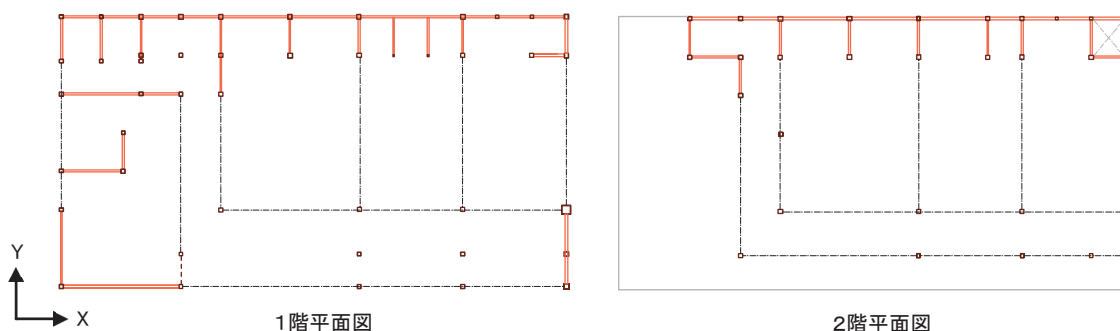


図 3.5.39 木造住居の柱壁略伏図

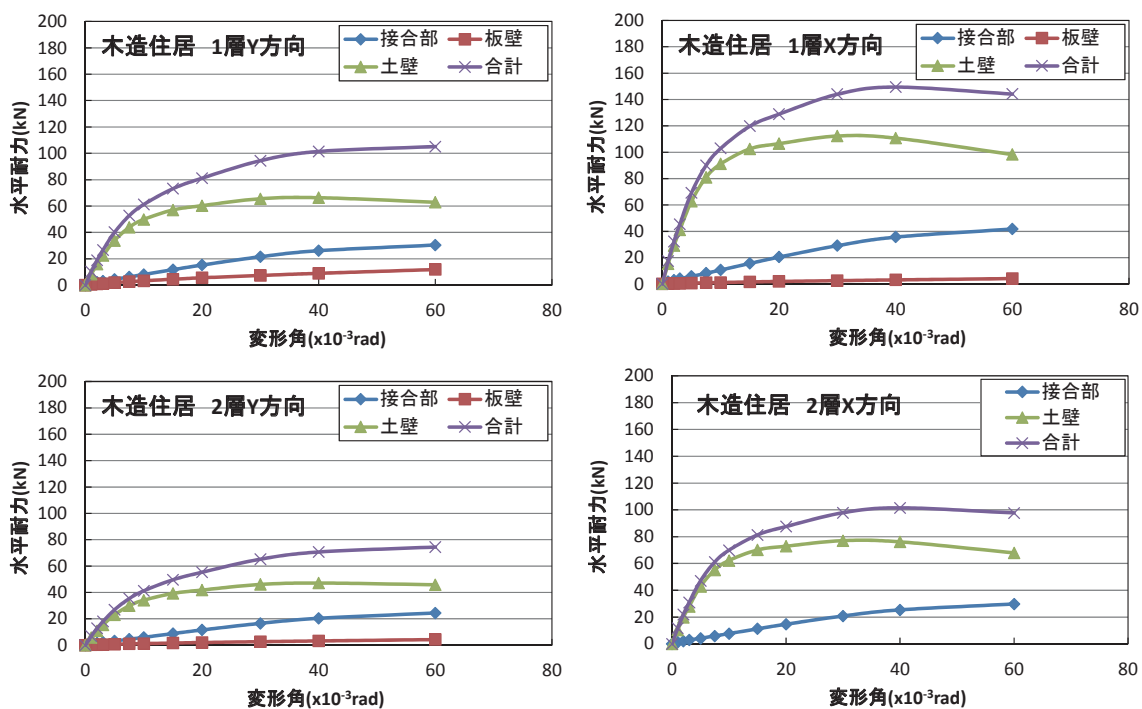


図 3.5.40 木造住居の水平耐力 - 変形角関係

木造住居の各層、各方向の保有水平耐力を図 3.5.41 に、層せん断力係数を図 3.5.42 に、完全弾塑性処理による特性値の一覧を表 3.5.24 に示す。

1 層 Y 方向（間口方向）は層せん断力係数が 0.26 となり、1 層 X 方向（奥行方向）に比べて大きく下回ることがわかる。対象建物は、栃木市における町家の背後に取付く典型的な木造住居のため、連続する 3 室の和室が襖で仕切られている。また、見世蔵と住居の間も出入りができるように木製引戸で仕切られている。こうしたことから 1 層 Y 方向において耐力壁の存在量が著しく少ないことが保有水平耐力に大きく影響している。一方、1 層 X 方向の層せん断力係数は 0.39 となり、1 層 Y 方向よりは若干高いように思えるが、庭に面する南側構面は全て開口となっており、北側構面の壁がほとんどの耐力を負担することになり著しい偏りがある。

次に、必要耐力に対する保有耐力の比によって評価した安全率を表 3.5.25 に示す。ここで、構造特性係数 D_s は完全弾塑性モデルから算出したものに安全率として 0.05 を加算した値を用いた。中地震時については、X 方向の全ての層で地震力よりも降伏耐力が上回ることがわかった。しかし、Y 方向については、いずれの層も降伏耐力が地震力を下回った。大地震時については、Y 方向でいずれの層も保有水平耐力が必要保有水平耐力を下回った。その理由については、先に述べた通りである。また、偏心率は、1 層 X 方向で 0.75、1 層 Y 方向 0.54 となり、1 層の各方向で高く、現状においてはねじれの危険があることがわかった。

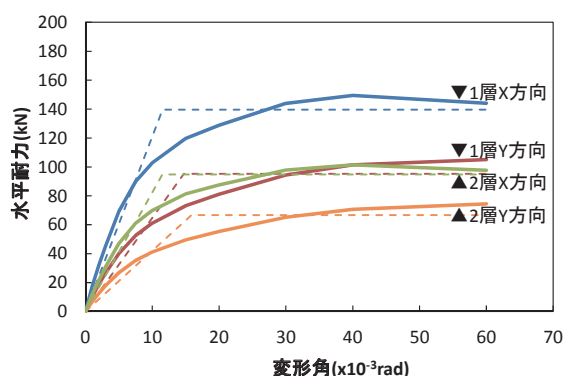


図 3.5.41 水平耐力 - 変形角関係

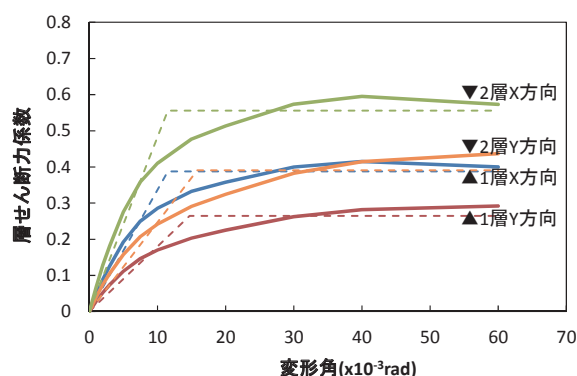


図 3.5.42 層せん断力係数 - 変形角関係

表 3.5.24 完全弾塑性処理による特性値一覧

層-方向	P_y (kN)	$P_{1/150rad}$ (kN)	$2/3P_{max}$ (kN)	$0.2P_u/D_s$ (kN)	仮想降伏 点変形角	P_{max} (kN)	P_{max} 時 変形角	塑性率 μ	初期剛性 K	D_s
1層-X方向	88.08	83.03	99.62	85.63	0.012	149.42	0.04	5.20	12107.61	0.33
1層-Y方向	57.32	48.50	70.09	50.93	0.015	105.13	0.06	4.08	6468.53	0.37
2層-X方向	59.84	56.44	67.68	58.19	0.012	101.52	0.04	5.21	8230.15	0.33
2層-Y方向	40.18	32.51	49.63	34.15	0.016	74.44	0.06	3.78	4202.18	0.39

表 3.5.25 木造住居の検定

層	方向	中地震時			大地震時									
		地震力 (kN)	Py (kN)	安全率	地震力 (kN)	必要保有水平耐力の算定							保有耐力 (kN)	安全率
						Ds	安全率	修正Ds	Fe	Fs	Fes	必要保有水平耐力 (kN)		
2	X	42.6	59.8	1.41	212.8	0.33	0.05	0.38	1.50	1.00	1.50	120.0	94.8	0.79
	Y		40.2	0.94		0.39	0.05	0.44	1.50	1.00	1.50	140.5	66.6	0.47
1	X	72.0	88.1	1.22	360.2	0.33	0.05	0.38	1.50	1.00	1.50	203.1	139.6	0.69
	Y		57.3	0.80		0.37	0.05	0.42	1.00	1.00	1.00	152.7	95.2	0.62

見世蔵：

見世蔵の建物概要を表 3.5.26 に、1・2階柱壁略伏図を図 3.5.43 に、各層 X・Y 方向ごとの水平耐力と変形角の関係を図 3.5.44 に示す。

表 3.5.26 見世蔵の建物諸元

床面積 (㎡)			高さ (mm)			壁厚-外周壁 (mm)	
1階	2階	延床	1階階高	2階階高	建物高さ	土壁	板壁
38.77	32.31	71.08	3320	2620	5940	270	-

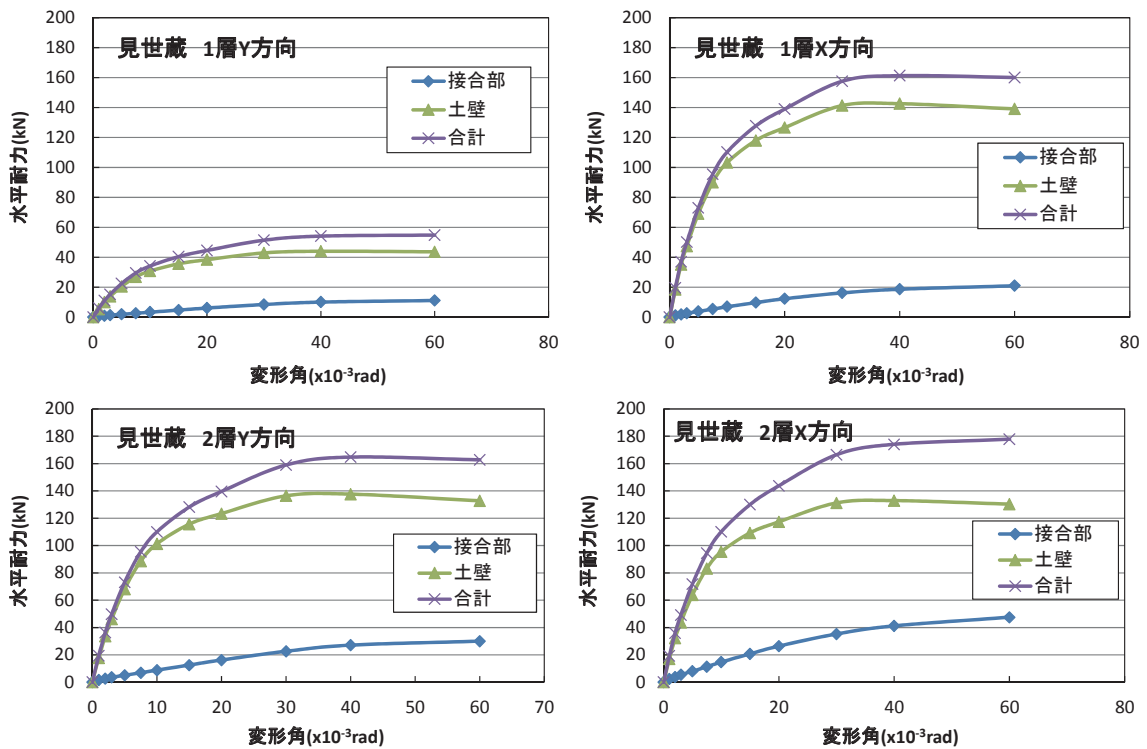


図 3.5.43 見世蔵の水平耐力-変形角関係

見世蔵の各層、各方向の保有水平耐力を図 3.5.44 に、層せん断力係数を図 3.5.45 に、完全弾塑性処理による特性値の一覧を表 3.5.27 に示す。

木造住居と同様に見世蔵の 1 層 Y 方向は耐力が低いことがわかる。また、見世蔵は主に店舗として利用することを目的に建てられた建物のため、通りに面して大きな開口を持つ。そのため、1 層 Y 方向では層せん断力係数は 0.09 と極めて低い。

次に、必要耐力に対する保有耐力の比によって評価した安全率を表 3.5.28 に示す。ここで、構造特性係数 D_s は完全弾塑性モデルから算出したものに安全率として 0.05 を加算した値を用いた。2 層については、中地震時も大地震時も保有耐力は必要耐力を上回った。それに対して、1 層では両方向とも保有耐力が下回ることがわかった。特に Y 方向の耐力が極めて著しく低く、見世蔵 1 層の耐震性能の改善が大きな課題といえる。

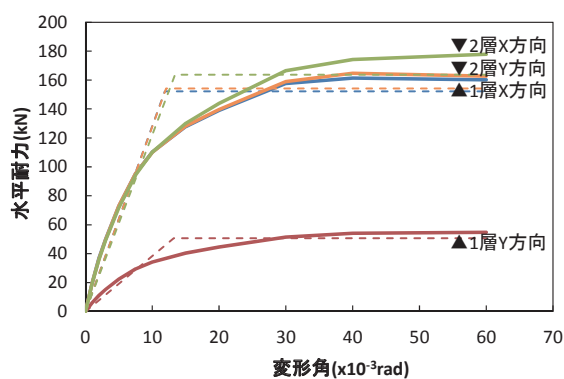


図 3.5.44 水平耐力－変形角関係

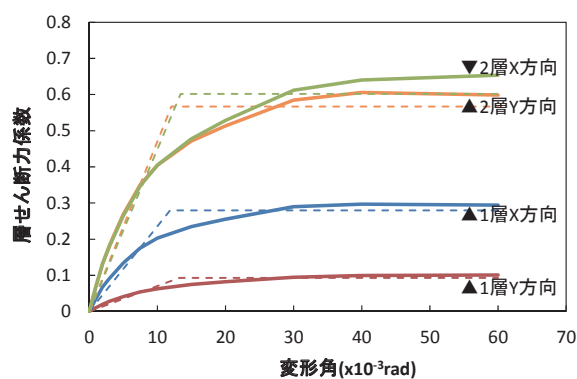


図 3.5.45 層せん断力係数－変形角関係

表 3.5.27 全弾塑性処理による特性値一覧

層-方向	P_y (kN)	$P_{1/150rad}$ (kN)	$2/3P_{max}$ (kN)	$0.2P_u/D_s$ (kN)	仮想降伏 点変形角	P_{max} (kN)	P_{max} 時 変形角	塑性率 μ	初期剛性 K	D_s
1層-X方向	93.87	87.98	107.54	91.85	0.012	161.31	0.04	5.06	12820.95	0.33
1層-Y方向	30.24	27.15	36.58	28.79	0.013	54.87	0.06	4.54	3831.31	0.35
2層-X方向	97.49	86.91	118.59	92.31	0.013	177.88	0.06	4.48	12208.80	0.35
2層-Y方向	94.65	88.01	109.84	92.21	0.012	164.76	0.04	4.97	12771.20	0.33

表 3.5.28 見世蔵の地震力の検定

層	方向	中地震時			大地震時									
		地震力 (kN)	P_y (kN)	安全率	地震力 (kN)	必要保有水平耐力の算定						保有耐力 (kN)	安全率	
						D_s	安全率	修正 D_s	F_e	F_s	F_{es}			必要保有 水平 耐力 (kN)
2	X	66.9	97.5	1.46	334.5	0.35	0.05	0.40	1.00	1.00	1.00	135.4	163.7	1.21
	Y		94.6	1.41		0.33	0.05	0.38	1.10	1.00	1.10	141.5	154.2	1.09
1	X	108.7	93.9	0.86	543.6	0.33	0.05	0.38	1.40	1.00	1.40	290.2	152.1	0.52
	Y		30.2	0.28		0.35	0.05	0.40	1.00	1.00	1.00	218.5	50.7	0.23

3.5.8 構造部材の劣化状況

東日本大震災で甚大な被害を受けた桜川市真壁地区や香取市佐原地区では、適切な維持修繕を行ってきた建物の被害が小さい傾向が見られた(写真 3.5.1)。災害による家屋の損壊や倒壊を防止するためには、まず伝統的建造物の構造部材の健全性を維持することが重要である。しかし、本伝建地区の伝統的建造物には、耐久性に不安を抱える建物も見られる。以下では、これまでの調査等から本伝建地区における構造部材の劣化状況や注意すべき要点を整理する。



写真 3.5.1 東日本大震災での被害が軽微だった事例

伝建地区周辺を対象に実施した東日本大震災における歴史的建造物の被害調査³⁻²⁶⁾では、調査した建造物 272 棟の内 26 棟において、以前からの損傷が地震により進展したと考えられている。また、一連の地震に拘らず構造部材の腐朽や虫害、雨漏り等の耐久性に係る損傷は 28 棟で確認され、この内の 12 棟については所有者も地震で露わになって初めて気付くような状況であった。耐久性に起因する特徴的な地震被害としては、土蔵造の大壁において厚い土塗壁に塗り込められて通常ならば視認できない土台や柱脚などの腐朽に起因する被害である。本来ならばそれらの柱や土台が支持すべき重量を土塗壁が負担していたことにより、地震動によって土塗壁が大きく損壊し崩落を招いた(写真 3.5.2)。このような状況は、被災や工事で解体してみても発覚する機会が多いので、事前に調査を行い発見できるしくみづくりが必要とされる。また、土蔵や見世蔵では、大谷石や岩舟石などの布石基礎が建物の外周を囲んでいるため、床下の通気性が悪く、土台や大引、根太、床板などが腐朽及び脱落している事例が地震被害に関係無く 11 棟で確認された。



写真 3.5.2 被災や工事解体で発覚する損傷事例

長年にわたり建物の修繕が十分にできていないために生じる被害は、地震に限らず平成 27 年 9 月関東・東北豪雨でも見られ、豪雨の後に雨漏りの報告が多くあったほか、漆喰が剥がれた部分から土壁に水が浸透し損傷を進行させる様子も見られた（写真 3.5.3）。

その他にも平成 28 年度に実施した外観目視調査によって写真 3.5.4 のような軒桁の劣化などが確認されている。また、伝統的建造物の中には外壁にトタンを張ったものもあり、トタンで覆われた構造躯体の状況を確認することができないため、気付かない間に大規模な根本修理を必要とするほどに傷みが進行することも想定し得る。このような構造部材の劣化は、伝統的な木造住居や土蔵造に限らず、昭和 56 年の建築基準法改正（いわゆる新耐震）以降に建てられた建物でも特に水回り周辺は注意が必要である（写真 3.5.5）。伝統的建造物には洋風建築もあるが、写真 3.5.6 のように湿式による外壁仕上げと柱や横架材との間に湿気がこもり、構造部材の腐朽や虫害が進んでいることも想定されるので、十分に注意し必要に応じて通気性に配慮した修理を実施することが望ましい。



写真 3.5.3 水害で部材劣化が進行する事例



写真 3.5.4 外観目視調査で確認した劣化事例



写真 3.5.5 水回りの劣化事例



写真 3.5.6 洋風木造建築の耐久劣化事例

3.5.9 地域住民の地震に備えた取り組みの動向

アンケートで「何か地震対策をしましたか？」という設問に対して、「いいえ」と回答した世帯が図 3.5.46 のように 63%（回答総数 517 件）となり、対策をしていない家屋が大変多いことがわかった。その理由を回答から図 3.5.47 のように分類すると、東日本大震災では大した被害も無く、これまでも地震で大きな被害が出たことが無いといった認識からもたらされる安心感が最も多く、次いで「何をして良いかわからない」や「金銭的に難しい」と言った理由が挙げられた。中には「大地震では意味が無いから」といったあきらめを感じている理由

もあった。住民らが建物の耐震化に着手する気持ちを高めるためには、①どのようにしたら建物の耐震性が高まるのかを示すこと、②経済的負担を緩和するしくみをつくること、③地震や構造物の耐震性に対して正しく理解することなどが必要といえる。

また、地震対策や定期的な修繕を実施し、伝建地区の健全性を維持していくためには、地元の職人や建築業者と地域住民との繋がりが大切である。アンケートで建物の日常的な点検や修繕などを相談できる職人や建築業者の有無を確認したところ、28%（回答総数 545 件）が「いいえ（116 件・21%）」もしくは「わからない（40 件・7%）」と回答した。町並み保全と災害時早期復旧の両面から、このような世帯と地元の職人などとの橋渡しが必要である。

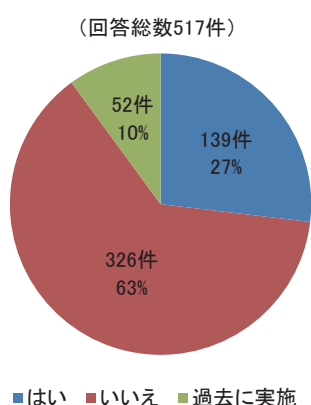


図 3.5.46 地震対策実施有無の回答

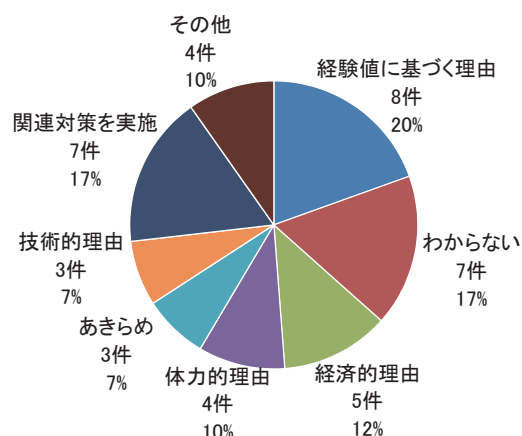


図 3.5.47 地震対策を実施していない理由

3.5.10 沿道工作物や設置物の現況

大地震時に塀の倒壊などの被害が無数に報告されている。東日本大震災では伝建地区周辺においても、大谷石などによる石塀の倒壊が各所で発生した（写真 3.5.7）。伝建地区内には 3.3.3 節に示したように細街路が多く、その沿道にはコンクリートブロック塀などの工作物が多くある。また、プロパンガスや自動販売機などの設置物もある（写真 3.5.8）。それらが地震で転倒することにより、細街路が閉塞し避難や緊急車両の侵入の妨げになり得ることから、沿道工作物や設置物の耐震対策も忘れてはならない。なお、旧日光例幣使街道などでは、通りに沿って電柱が立っている。図 3.5.48 に示すように過去の災害において多数の電柱が倒壊していることを踏まえて、本伝建地区においても景観や防犯だけでなく防災上の課題も理解して、電柱の対処について関係者で協議していくことが必要である。



写真 3.5.7 地震による石塀の倒壊



写真 3.5.8 沿道に設置されたプロパンガス

災害	年月	名称	電柱の倒壊状況	
地震	1995年1月	阪神淡路大震災 (兵庫県南部地震)	電力:約4,500基 ^{※1} 通信:約3,600基 ^{※2} (供給支障に至ったもののみ) →倒壊した電柱や電線が道路の通行を阻害、生活物資の輸送に影響を与えたほか、緊急車両の通行にも支障。 ※1 「地震に強い電気設備のために」 (資源エネルギー庁編) ※2 NTT調べ	
台風	2003年9月	台風14号	宮古島市全体 電柱800本 →倒壊した電柱により、通行不能箇所が多数発生。 ※沖縄電力調べ	 出典: NPO法人電線のない街づくり支援ネットワーク
津波	2011年3月	東日本大震災 (東北地方太平洋沖地震)	電力:約28,000基 ^{※1} 通信:約28,000基 ^{※2} (供給支障に至ったもののみ) →断線した電線が発災直後の道路の啓開作業を阻害。 ※1 経済産業省IP ※2 NTT調べ	
竜巻	2013年9月	—	埼玉県 越谷市46本 ^{※1} 千葉県 野田市5本 ^{※2} ※1 越谷市IP ※2 内閣府IP	

図 3.5.48 地震等の災害による電柱の倒壊状況

(国土交通省 HP : http://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chicyuka/chi_13_05.html)

3.6 水害に対する調査結果

過去の災害被害の経験を記録として残し、後世に向けた教訓とすることが重要である。そこで、平成27年9月関東・東北豪雨災害における伝建地区周辺の状況を調査し、課題を整理する。

3.6.1 平成27年9月関東・東北豪雨災害の浸水状況

アンケートによると、伝建地区では図3.6.1のように19%の世帯が床上浸水、16%の世帯が床下浸水の被害を受け、合計すると35%の世帯が水に浸かった。また、その浸水深さの回答について、班ごとの最大値を深さに応じて色分けして図3.6.2に示す。巴波川に近い旧日光例幣使街道西側のエリアにおける浸水深さが大きかったことがわかる。伝建地区内の浸水状況を写真3.6.1に示す。



写真 3.6.1 伝建地区の浸水状況

3.6.2 平成27年9月関東・東北豪雨災害での伝統的建造物の被害状況

伝統的建造物の被害の一例を写真3.6.2に示す。平成27年10月に実施した栃木市伝建推進室(当時)による調べでは、図3.6.3に示すとおり伝統的建造物の31棟が床下浸水、7棟が床上浸水となった。被害状況としては、基礎の浸水が37棟と最も多く、構造部材への浸水が上位を占める。この災害経験を教訓に、水害に対して留意しておくべきこととして、以下のようなことが挙げられる。

①災害後に雨漏りの報告が多かったこと

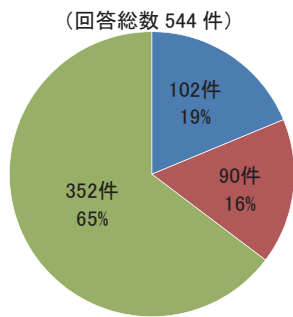
地震と同様に、日頃の維持修繕を十分に行ってこなかった部分の損傷が災害被害となって露わになることが多い。

②浸水後は早急に屋内の消毒及び乾燥が必要であること

放置すると木材の腐朽・虫害を促進する恐れがあるほか、ひび割れた漆喰の隙間などから土壁に水分が浸透することにより、漆喰の剥がれの促進や土壁の損壊を起しやすくする。特に、使用頻度が低い土蔵や、不用な家財を詰め込み整頓されていない土蔵などでは注意が必要である。

③冠水時の自動車走行による被害

浸水している中を自動車が走行して発生した横波によって、木製建具が破壊される被害が伝建地区周辺の建物において複数発生した。浸水時の車両走行の制限や、平時からの土のう袋等の備蓄を検討しておくことが必要である。



■被害あり(床下) ■被害あり(床上) ■被害なし

図 3.6.1 浸水被害の割合

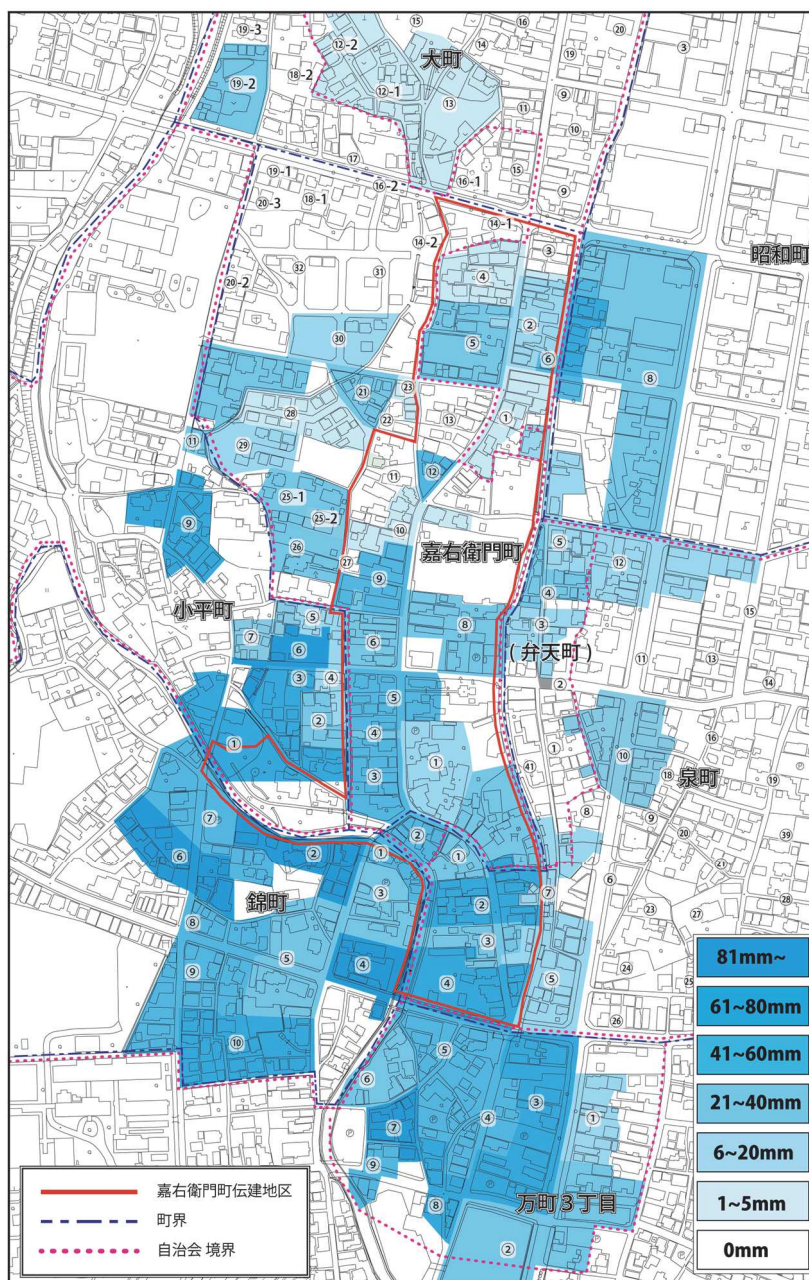


図 3.6.2 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による浸水深さ
(アンケート回答による班ごとの最大浸水深さ)

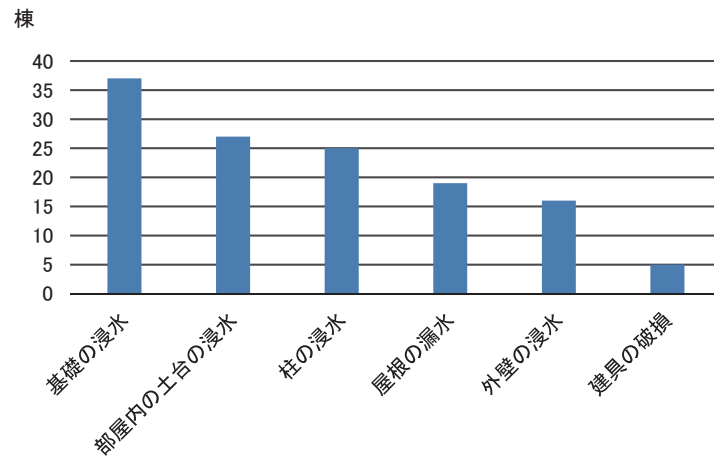


図 3.6.3 伝統的建造物の被害状況



写真 3.6.2 伝統的建造物の被害の様子

3.6.3 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨時の住民の様子

アンケートでは、「いつ頃に誰からどのような情報を得て、どのような行動を取ったのか」を自由記述で質問し、ここではその回答内容を分析した。災害時に情報を取得した時間の推移を図 3.6.4 に、取得した情報の分類を図 3.6.5 に示す。情報を取得した際は同時に複数の情報を取得していると思われるが、何よりも周囲の被害状況に関する情報を住民らは求めていることがわかる。

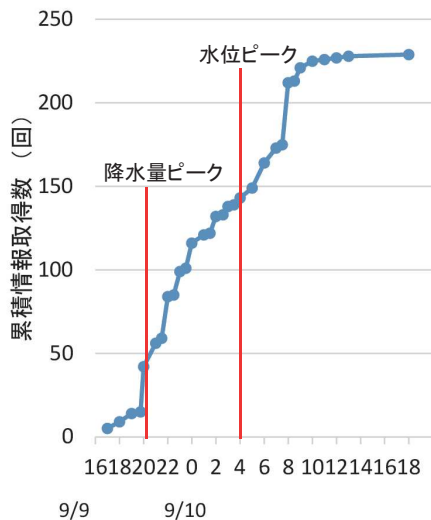


図 3.6.4 情報を取得した時間の推移

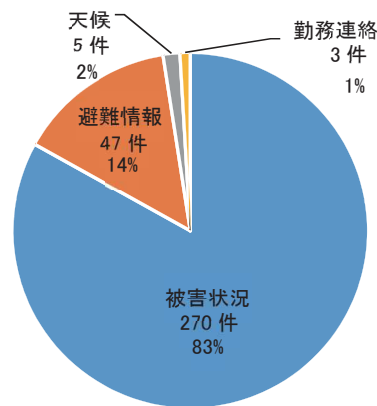


図 3.6.5 取得した情報の分類

水害時に得た情報やそれを受けての行動に対する回答を整理すると、①自助・共助・公助の連携、②正確な判断と情報伝達手段、③過去の記憶と経験の伝承の大きく3つに対する課題が浮かび上がった。アンケート自由回答の中から、それぞれの課題に対応する印象的な回答を以下に挙げ、今後の取り組みへの参考とする。

●自助・共助・公助の連携

- ドアを開け外の様子を見た時道路が川の様、近所の浸水対策に協力。(錦町・62歳・男性)
- あっという間に水が床下まで来てしまった。母を起こして着替えさせ消防署に助けを求めた。近所に TEL して避難するか確認した。市や消防の情報は全てなかった。(錦町・60歳・女性)
- 市役所の人が車の窓ガラス越しで見に来て、その後無い。見たという実績だけか？(嘉右衛門町・57歳・男性)
- 避難場所のカギがすぐこない。(万町三丁目・78歳・女性)

●正確な判断と情報伝達手段

- <消防署員または消防団員に>「危険だと思ったら、中央小学校に避難して」と言われたが、巴波川を渡れる状態ではなかった。(嘉右衛門町・44歳・男性)
- <広報>車の速度が速く、雨の音も大きくて、避難所がどこかわからなかった。(泉町・85歳・男性)
- 広報車も何も来なかったのでテレビを見て、2階に避難。(錦町・73歳・男性)
- 市役所にすぐ連絡して避難できないのでどうしたらと云った所高い所への事だったが、2階は無しと云ったらそのままじっとして動かないで下さいとの事で連絡した意味なし。もう少しましな回答が欲しかった。(錦町・77歳・男性)

- 玄関から床上浸水。避難指示が遅かったので避難できる状態ではなかった。家の外は海の様だった。(錦町・62歳・男性)
- 巴波川が溢れ、避難しようと思ったが無理だった。身内から、避難指示が出たことを知らされる。その時点で身動き取れる状態ではなかった。消防団から車でスピーカーを通して何か言っているようだったが内容は一切わからなかった。(錦町・67歳・男性)
- 巴波川が溢れた。情報を消防団から聞くよう指示された。ヒザ上まで浸水してから初めて気付いた。防災放送、消防車の拡声器まったく聞こえなかった雨の音で。(錦町・58歳・男性)
- 11時すぎ2階から見下ろすと道路が川の様になっていた。玄関は廊下に水がもうすぐ越えそうだったがそれ以上にはならなかった。雨の音がものすごく時々車のスピーカーや消防団の方の声が聞こえましたが内容は全くわかりませんでした。子供からの携帯電話LINEがとても助かりました。(錦町・74歳・女性)
- 遠方に住む夫からのLineでのやり取りで知らされた。家の外で何かアナウンスがあっても聞こえなかった。(錦町・65歳・女性)
- 聞いたかったけど全く情報がなかった。TV以外は。(大町・65歳・女性)
- テレビで情報をとったが宇都宮の固定画面しか映らず玄関まで水が来ているのに栃木市の様子を知る事は出来なかった。第三小が避難場所になっていたが水流が強くて歩けなかった。(小平町・60歳・男性)
- テレビ<で情報を得た>。巴波川が溢れたことは浸水してから分かった。(嘉右衛門町・33歳・女性) ※同様の意見多数
- 水路があふれた徒歩で避難しようとしたが出来なかった。(嘉右衛門町・53歳・男性)

●過去の記憶と経験の伝承

- 巴波川が氾濫することは午後5時頃判断出来た。過去にも経験しているのでどうする事も出来ないと思った。(泉町・75歳・男性)
- 道路から車が通るたびに水がガラス戸の隙間から水が入ってくる。(泉町・66歳・男性)
- 増水のため建具が解かず外に出ることが出来なかった。(錦町・69歳・男性)

3.6.4 水害後のボランティアによる取り組み

水害被害を受けて、小山工業高等専門学校やとちぎ蔵の街職人塾では、9月10日にボランティアの仲間集めを開始すると共に、被害状況の確認や市担当者及び地域の方々との情報交換を進め、支援方針を検討した。被害状況を確認していると、敷地奥にある土蔵の内部に浸水し、室内の壁や軸組みが湿潤状態にある状況が確認された。しかし、普段は立ち入ることが少ない建物のために気付いていないことや、そこまで手が回らない様子が散見され、早期の水抜きと乾燥の措置の必要性を確認した。そこで、市役所と連携して図3.6.6のチラシを配布して注意を呼びかけてまわった。災害が起こると、行政担当者は災害対応に追われてしまい、町並みや文化財の保護はどうしても後回しになってしまう。災害ボランティアセンター

では、市内全域の床上浸水した住宅の片付け等を優先する。しかし、浸水して長時間放置したままにしておくと歴史的建造物の劣化を加速させてしまう。そこで、日頃から伝建地区で活動する高専や高校、市民団体、職人集団らによるボランティアが歴史的建造物の清掃・片付けを担うことにした。ボランティアの様子を写真 3.6.3 に示す。被災後のことを考えると、このようなボランティアを活用する仕組みが重要であり、突然発生する災害において迅速にそれが発動できるよう、その仕組みを如何にして安定化させていくかが課題である。

平成27年9月16日

小山工業高等専門学校横内研究室
とらぎ蔵の街職人塾
とらぎ町並みデザイン研究会KURANE

土蔵などの歴史的建物をお持ちの皆様へ

この度の豪雨で被害にあわれた方々に心よりお見舞い申し上げます。

さて、この度の水害で土蔵の内部まで浸水している可能性があります。普段、立ち入ることが少ない土蔵などについても、必ず中を確認し、取納物が濡れていないか？床板や土間、壁などが湿っていないか？などを確認してください。

蔵の内部は、湿気がこもりやすいため、取納物だけでなく建物も痛めてしまうことが懸念されます。

湿気を感じましたら、濡れた取納物を出して、室内の換気と乾燥をお願いします。

これらの作業に人手が必要でしたら、学生がボランティアでお手伝いします。

お手伝いをご希望の方や、お困りのことなどがありましたら、下記の連絡先までご連絡ください。

■連絡先

この告知は、栃木市教育委員会伝建推進室および文化課の許可を得て配布しています。

図 3.6.6 災害後に配布したチラシ



写真 3.6.3 ボランティアの様子

3.7 災害時避難に関する調査結果

先に示したように本伝建地区は、細街路や耐久性及び耐震性に不安を抱える建物が多く、防災上脆弱な点も多い。そのため、災害時の安全な避難方法を予め検討しておくことが必要である。細街路については、現在でも住民らの生活動線として重要な役割を果たしており、災害時にもそこが避難路として使われることが容易に想像できる。

そこで、伝建地区とその周辺地域の現地調査結果を分析し、災害時の避難を考える上で留意すべき課題を明らかにする。

3.7.1 避難行動についての一般的な考え方

家屋や町並みは、多様な災害の脅威にさらされている。そのため、さまざまな自然災害に対し、どのような災害リスクがあるのかを事前に把握しておく必要がある。その上で、万が一、災害の脅威が迫った時、自身や家族がどのような避難行動をとればよいのか、屋外へ避難をすべきなのか、屋内で安全を確保すれば良いのかなどを判断しなければならない。また、安全な避難行動をとるためには、避難先が安全であることと、避難先に向かう経路が安全であることが重要である。災害の種類によって避難の考え方や方法は異なる。そこで、ここでは本伝建地区で想定される各種災害時の避難行動についての一般的な考え方を整理する。

(a) 地震時

緊急地震速報を受信したり、大きな揺れを感じたら、まずは落下物等から身を守り、揺れがおさまるまで待つ。揺れがおさまったら自分の目と耳で確認した情報や災害情報・避難情報をもとに避難行動を判断する必要がある。避難する時は、二次災害を防ぐためにも必ず電気のブレーカーを落として家を出る。避難場所に避難する時は徒歩を基本とし、ケガや事故に遭わないように注意が必要である。道幅の狭い道や古い建物を避け、火災の延焼に巻き込まれないようにすることも重要である。また、河川が決壊する恐れもあるので河川には近づかない。避難する場所は、避難所や広く開けて落下物がない場所が適している。災害の種類によって安全な避難所が異なる場合があるので、事前に確認しておくことが大切である。もし、避難所周辺で火災が延焼している時や避難所も被災して危険な時は、広域避難場所（広い公園など）に避難する。最寄りの広域避難場所も事前に確認しておくことが必要である。

(b) 水害時

「自分の地域で豪雨や長雨が続けている」「近くの川の上流で、豪雨や長雨が続けている」といったことは水害の予兆である。ただし、雨が降り続いて不安に思っても、川や用水路の様子を見に行かないのが原則である。集中豪雨などによる内水氾濫が発生した場合、浸水深が浅い時でも水の流れによっては歩行が困難になる。また、暗闇での大雨の中の避難は大変危険である。特に災害に弱い高齢者や子供のいる家庭では、メディアや行政からの気象情報を確認して早めに避難行動をとることが重要である。避難所へ向かう途中に小さな河川がある場合や道路の高低差によっては、避難が困難になる場合があるため、あらかじめ避難経路

を複数確認しておくことが必要である。自宅周辺がすでに浸水しているなど外に避難するのが危険な時は、1階で就寝しないなど、建物内で可能な限り高いところに避難する「垂直避難」をする。住まいの位置や家屋の構造、既に浸水が生じている状況なのか等によって、屋外へ避難することの必要性が異なるので、冷静な判断が必要となる。

(c) 地震火災や大規模市街地火災の時

指定避難所とされる最寄りの小中学校等においても、近隣の延焼火災が迫った時には、火災からの輻射熱や飛び火などによって大変危険な環境となる恐れがあり、広域避難場所に向かおうとしても辿り着けない可能性もある。大規模地震などで同時多発火災が発生した時には、避難先は「広域避難場所」であること、そして危険が迫る前に「自発的な事前避難」を心がけることが大切である。同時多発火災の時には、消防署も火災の消火対応だけで精一杯であり、個々の「一時集合場所」に対して周辺の延焼状況を判断して、いつ、どの「広域避難場所」へ向かえば良いかを個別に指示する余裕がない場合も想定し得る。住民の自主的な判断により、高齢者や子供、体の不自由な方などを中心に、危険が迫る前に優先的に「広域避難場所」に向かうことを心がけるべきである。「広域避難場所」は、地域ごとに割り当てられているが、燃えている方向にそれがある場合は、その方向に逃げる必要はない。日頃から居住地近くに存在する複数の広域避難場所を確認しておき、どちらの方向から火災が来ても逃げられるようにしておく必要がある。

(d) 竜巻・突風時

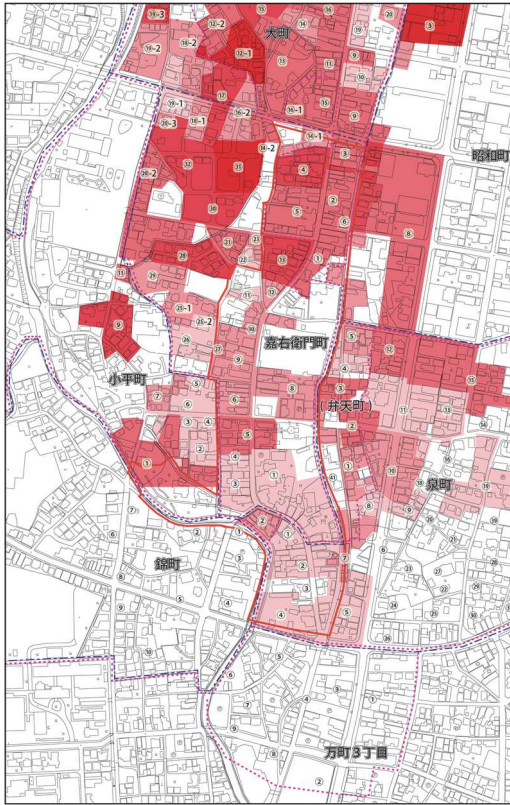
竜巻注意情報が発表されたら空の様子に注意し、積乱雲が近づく兆しを感じたら、直ちに身の安全を確保する。屋外にいる場合は、頑丈な建造物の物陰に入って、身を小さくする。土蔵や石蔵の中なども有効と考えられる。一方、プレハブ（仮設建築物）の物置や車庫などの中や、電柱及び樹木は、倒壊することがあり近づくのは危険である。屋内にいる場合は、家屋の1階の窓のない部屋に移動し窓やカーテンを閉める。また、窓から離れて丈夫な机やテーブルの下に入るなど、身を小さくして頭を守る。大きなガラス窓の下や周囲は大変危険であるほか、決して外の様子を見に行くような行動をとってはならない。

3.7.2 地震時の避難先に関する住民の認識

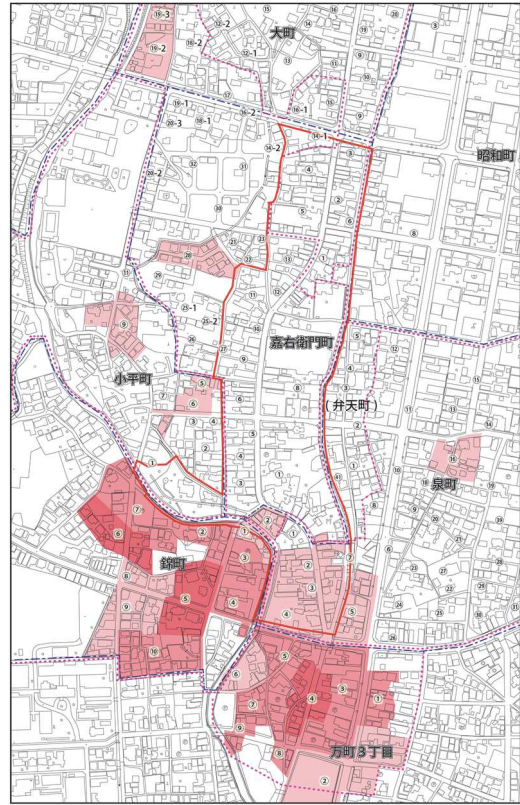
栃木市では、栃木第三小学校、栃木東中学校、栃木高校、栃木中央小学校などを伝建地区周辺の指定避難所^{※1}及び指定緊急避難場所^{※2}としている。アンケートで地震時に避難する場所を尋ねた結果を図3.7.1に示す。図は、各班で当該場所を回答した人数の合計を人数に応じて色分けして示している。図より、市指定避難所を概ね理解していることがわかる。

※1 指定避難所とは、災害の危険性があり避難した住民等を災害の危険性がなくなるまで必要な期間滞在させ、または災害により家に戻れなくなった住民等を一時的に滞在させることを目的とした施設。

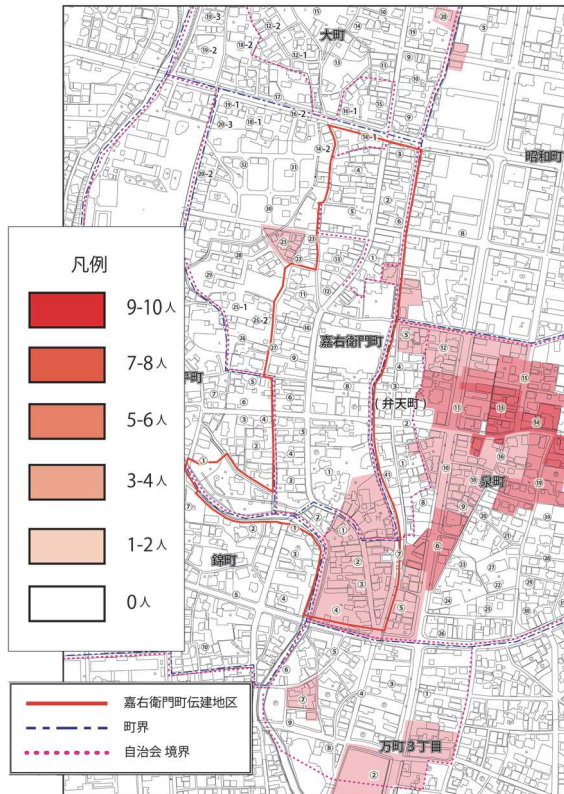
※2 指定緊急避難場所とは、洪水等による危険が切迫した状況において、住民等が緊急に避難する際の避難先として位置付けるものであり、住民等の生命の安全の確保を目的とするもの。



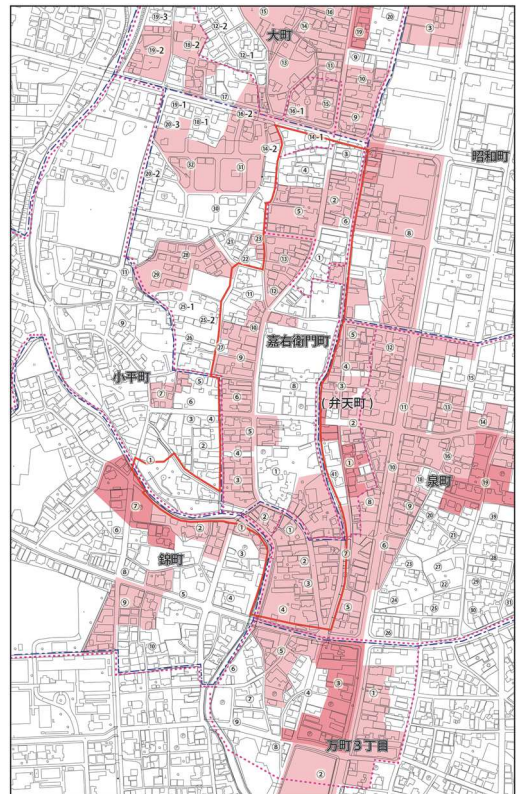
(a) 栃木第三小学校



(b) 栃木高校または栃木中央小学校



(c) 栃木東中学校



(d) まず近くの広場

図 3.7.1 地震時に避難する場所に対する回答

3.7.3 災害時に避難が困難になり得るエリア

アンケートで2方向以上の敷地外への経路が“無い”と回答したエリアを図3.7.2に、一時の避難場所となる広場が近くに“無い”と回答したエリアを図3.7.3に、それぞれ班ごとの回答者数に応じて色分けして示す。こうしたエリアが伝建地区内の至る所にあることが窺える。居住者らは、日頃より避難について意識して考えておくとともに、ここで示した分布図を手掛かりに自主防災会などで現地確認を行い地域で対策を相談しておくことも重要である。

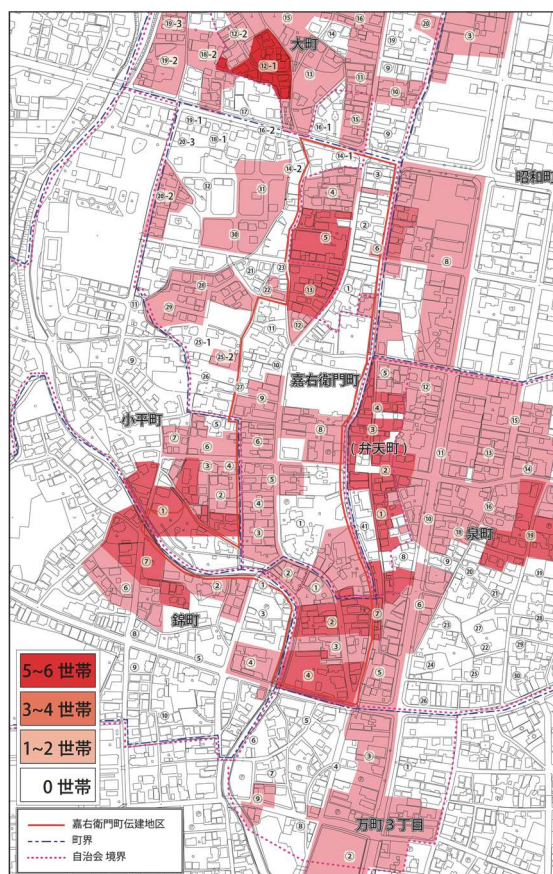
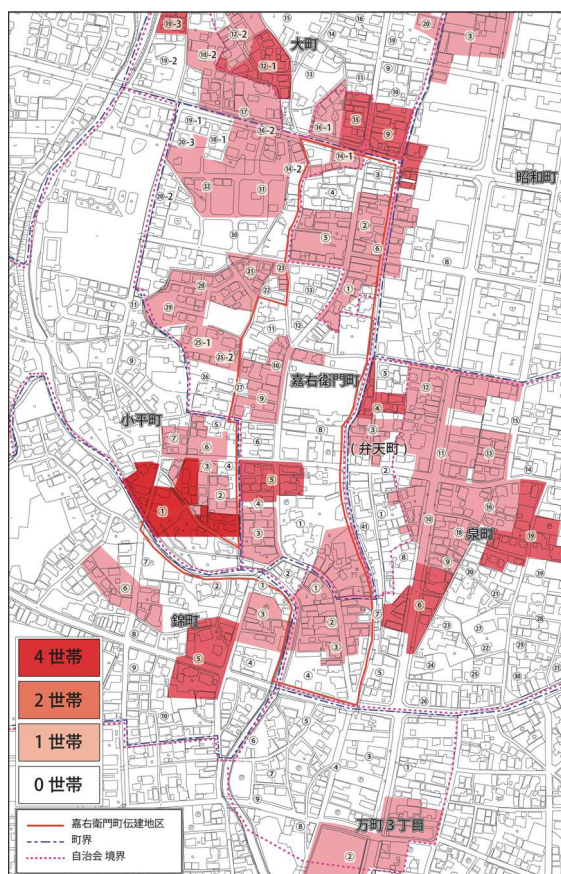


図 3.7.2 2方向以上の敷地外への経路が無い 図 3.7.3 一時避難場所となる広場が近くに無い

3.7.4 細街路の閉塞危険性

通路として使われている民地も含め、幅員6m未満の道を細街路と定義し、伝建地区及び周辺の幅員6m以上の道路に通じるまでの細街路について、細街路の幅と沿道にある工作物の高さの関係から、塀が転倒した際に閉塞される箇所を評価した。ここで、社団法人日本道路協会の指標³⁻²⁷⁾を参考に、塀が転倒しても1m以上の幅が確保される場合は、人、自転車、車椅子の通行が可能と判断した(図3.7.4)。さらに、細街路沿道に立地する耐久性に不安を抱える建物を表3.7.1の判断基準に従って現地目視調査で確認した。

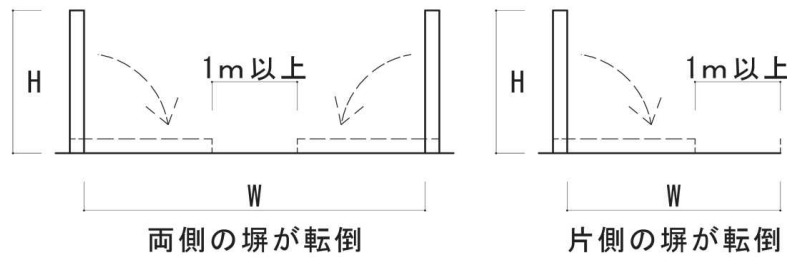


図 3.7.4 閉塞の判定

表 3.7.1 耐久性に不安を抱える建物の判断基準

判断基準
外壁が下見板張りで近年に修繕した様子が見られない
屋根や外壁にトタン板が用いられ近年に修繕した様子が見られない
外壁にひび割れ等の劣化が見られる
屋根が土葺の瓦である

図 3.7.5 には、耐久性に不安を抱える建物と塀の倒壊による細街路の閉塞状況及び自主的な避難場所となり得る広場の分布を示している。駐車場・空き地・広場は全部で 56 か所あり、それらの多くが細街路に接しているため、一時的に身の安全を確保できる場所として役立つ状況である。しかし、そこから指定避難所へ移動する際は、閉塞の恐れのある細街路を通らなくてはならない所も多い。こうした状況を踏まえて避難方法について話し合っておくことが大切である。そのような話し合いにおいて着目すべき要点がわかるように、注意すべきエリアの一例として図中に①～④のエリアを囲んでいる。伝建地区外のエリアもあるが、それぞれのエリアの課題と方策例は以下のとおりである。

エリア①：

住宅に隣接する道が 1 本だけで、その道が災害時に閉塞する可能性がある。対策としては、隣地との敷地境界に非常時に通り抜けることができる扉を設けることで他の道に抜けることができるようにする。

エリア②：

住宅に隣接する道が 2 本あるものの、両方とも閉塞する可能性がある。対策としては、隣地に通り抜けることができる扉を設けることで近くの広場や大通りへの避難ルートを確認する。

エリア③：

閉塞する可能性がある袋小路の細街路の最奥にある家屋。対策としては、細街路の拡幅が困難なことから、隣地に抜けられる扉を設けることで新たな避難ルートを確認する。

エリア④：

避難路となり得る 4 方向の道路すべてが塀や建物の倒壊によって閉塞する可能性がある。対策としては、寺の奥に隣接する広場まで到達することができれば大通りまでの避難が可能になることから、敷地境界に通り抜けができるように扉を設ける。

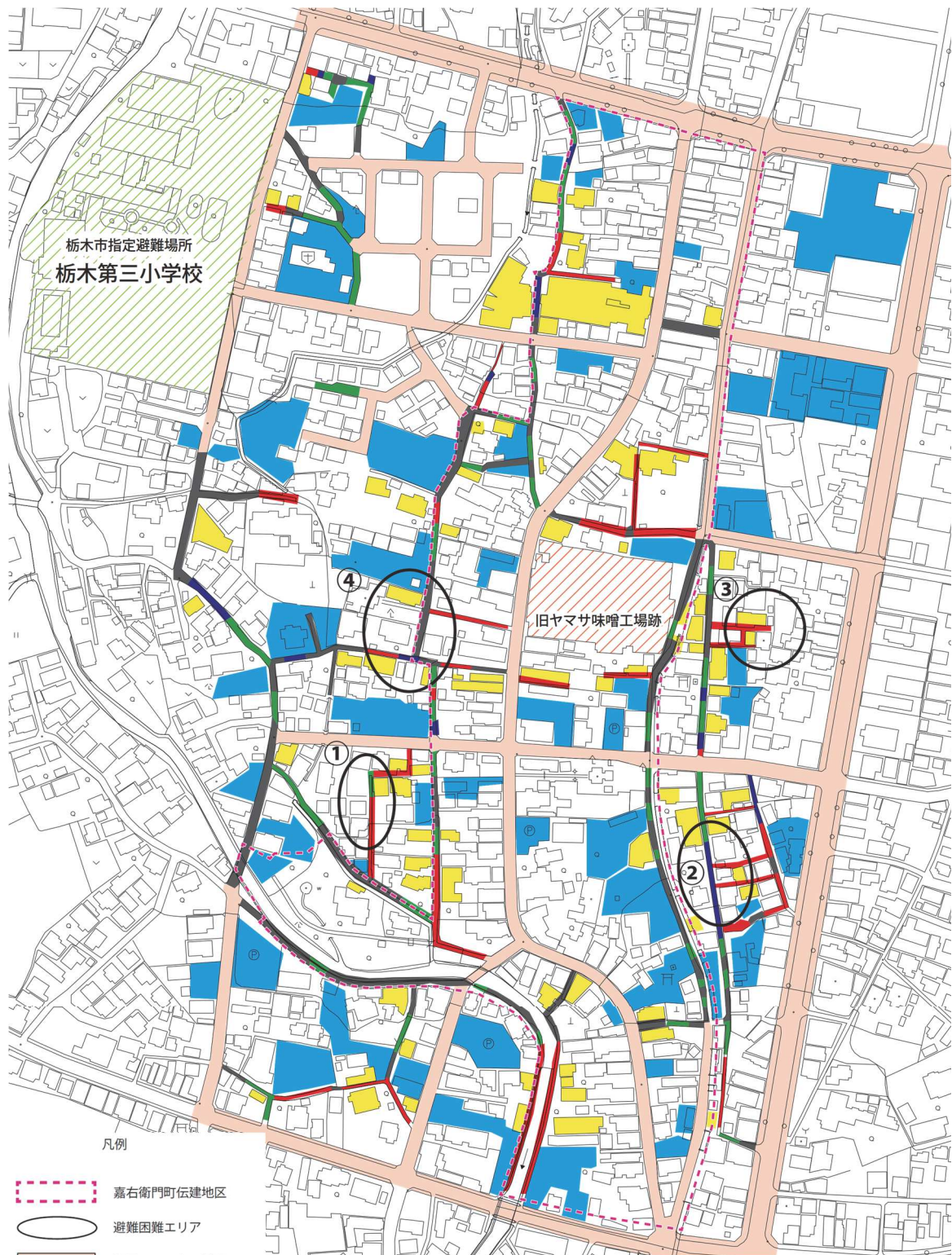


図 3.7.5 耐久性に不安を抱える建物と塀の倒壊による細街路の閉塞状況及び自主的な避難場所となり得る広場の分布

3.7.5 高齢者の避難に対する留意点

伝建地区の高齢化の状況については、3.2節で示したとおりに栃木市内でも高い傾向にある。また、アンケートによると独居の高齢者や高齢者のみで暮らす世帯は、周辺地域も含めて表3.7.2に示す通りであり、近くに頼れる親族がいない方も多くいることがわかる。

そのような中で高齢者にどの程度の避難できる体力があるのかを把握するために、アンケートの中の世帯の最高齢者による回答の中から後期高齢者の回答のみを集計し、後期高齢者が楽に歩いて行ける範囲を調べた。その結果、「毎日その周辺まで行く所」や「楽に歩いて行けると思う所」として、ヤオハンや東武百貨店を選択する方が多く、さらに「週一度程度その周辺まで行く所」や「頑張れば歩いて行けると思う所」も含めると、伝建地区の北端付近の方でも東武百貨店を選択し、逆に南端の方でもヤオハンを選択していた。このことより、後期高齢者とは言え健康ならば指定避難所までの距離程度であれば問題なく自力歩行で移動できることがわかった。このことを踏まえて、本当に助けが必要な人をどのように援護していくのかを地域で話し合い、そしてリストの作成や共有できるしくみづくりを進めていくことが必要である。

表 3.7.2 伝建地区周辺の独居者数と高齢者世帯数
(平成 28 年アンケート調査実施時点)

	万町 3丁目	嘉右衛 門	弁天	小平	大	昭和	錦	泉	全体
独居者	11 (7)	27 (11)	10 (6)	6 (4)	24 (6)	6 (3)	8 (2)	21 (8)	113 (47)
独居高齢者	4 (2)	20 (5)	7 (5)	5 (3)	18 (4)	0 (0)	7 (1)	12 (5)	74 (28)
高齢者世帯	9 (3)	51 (11)	14 (7)	14 (6)	34 (9)	1 (0)	22 (7)	33 (11)	178 (54)

() 定期的に相談や訪問し合える親族がいない、もしくは未回答の世帯

なお、町の中で転んだ経験があるかを尋ねた回答の中から 65 歳以上の回答を抽出して集計したところ、「はい」と答えた人は 15 人、「いいえ」と答えた人は 67 人だった。また、アンケートの回答から転倒した原因となったキーワードを挙げると以下の通りとなり、これらへの注意が必要と言える。

①つまずく

玄関の階段 家の前の段差 歩道の段差 砂砂利 マンホールの段差

②転倒

家の廊下

③すべる

凍った雪道

3.8 復旧・復興に関する調査結果

近年、歴史的な町並みや建造物が残る市街地（歴史的市街地）が自然災害に見舞われることが多く、そのたびに地域固有の歴史資産や景観が失われつつある。このようなことによる歴史資産の滅失や地域活力の減退を防ぐためには、予防力を高めるとともに、万が一に被災した場合に早期に復旧復興に向けた対応がとれるような体制をつくり、回復力を高めることが望ましい。そのため、類似の町並みの災害経験から得られた知見を蓄積し、過去の教訓を踏まえて、本伝建地区における災害後の早期復旧・復興に向けた対策を平時から想定しておくが大切である。文献 3-27)では、平成 28 年熊本地震で被災した熊本城城下町地区である熊本市新町古町地区（伝建地区ではない歴史的市街地）において震災後 1 年間の動向を整理し、歴史的市街地の復旧復興に向けた要点として、以下の 5 つを導いている。

- I 地域活力を維持する活動
- II 歴史的建造物を護る地域内の活動
- III 歴史的建造物の復旧ボランティア・外部支援による活動
- IV 結束と橋渡しの両面を担う組織の存在
- V 復興ビジョンの提示と共有

そこで、平成 28 年鳥取県中部の地震における打吹玉川地区及び平成 23 年東北地方太平洋沖地震における桜川市真壁地区と香取市佐原地区について、応急対応期（震災後およそ 1 ヶ月）、復旧期（およそ 3 ヶ月）、復興期（それ以降）に分けて震災後 1 年間の動向を整理した。各地区の情報については、打吹玉川地区は行政担当者へのヒアリング及び現地調査、真壁地区と佐原地区は既往の文献^{3-29)~3-31)}から情報を抽出した。その結果から①平時の地域行事、②ボランティア等の外部支援、③復興ビジョン、④被害把握、⑤体制づくり、⑥応急用養生シート、⑦応急危険度判定といった共通するキーワードが各地区から浮かび上がった。それぞれのキーワードに対する特徴的な取り組みや問題などを整理して表 3.8.1 に示す。復旧復興過程では、そのキーワードに対する対策を類似する災害経験等を参考に地区の特性に応じて重点的に計画していく必要がある。

さらに、いずれの地区においても上記の要点 I、II 及び IV を担う中心的組織が存在することがわかり、復旧復興過程では建物と人のつながりの両面について、結束や橋渡しを担う組織の存在が必要と言える。特に歴史的建造物や町並みの復興に着目すると、真壁地区では伝建地区を持つ自治体等で構成される全国伝統的建造物群保存地区協議会の全国ネットワークの支援が大きな力を発揮した。また、打吹玉川地区では全国ヘリテージマネージャーネットワーク協議会を通じて、ひょうごヘリテージ機構の支援が同様に効果を発揮した。

表 3.8.1 キーワードに対する特徴的な取り組みや問題

①平時の地域行事	<ul style="list-style-type: none"> ○ 祭礼 × イベント開催 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>凡 例</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 復旧・復興に向けて模範とすべき事項 △ 被災状況等に応じた適切な判断が必要となる事項 × 復旧・復興に向けた反省や課題として把握し対策を考えておくべき事項 </div>
②ボランティア等の外部支援	<ul style="list-style-type: none"> ○ 全国伝統的建造物群保存地区協議会 ○ ヘリテージマネージャー ○ 近郊伝建地区間の繋がりによる応援 ○ 財団からの支援 ○ おせっかいし隊の物資提供や応急処置活動 × ボランティアに依存してしまい住民が自主再建への意欲を不活性にしている様子を確認 × ボランティアに任せ放しにして依頼者は仕事へ行ってしまう 	
③復興ビジョン	<ul style="list-style-type: none"> ○ 歴史的建造物の復旧計画を3.5ヵ月で定めることができた × 人々の関心や気力に変化が起こる震災後3ヵ月程度のタイミングまで復旧復興に対する方向性が示すことが出来なかった × 工事終了後も活用されることなく空き家になっている建物も多い ○ 復興ベースとして地域の歴史資産を活用 × 液状化被害が甚大だった地域の対応があったため、発災後しばらくは歴史地区の対応に集中することが難しかった 	
④被害把握	<ul style="list-style-type: none"> ○ 町屋研究会と行政が協力して被害調査を実施 ○ 全国の自治体からリレー形式で現地に入り調査を実施 ○ ヘリテージマネージャーのネットワークを活用して調査を実施 	
⑤体制づくり	<ul style="list-style-type: none"> ○ 県文化財課職員が地元と外部からの調査支援部隊との橋渡しを担う ○ 震災発生40日後には事前着手によって工事に取り掛かることができた ○ 震災後約2ヵ月後から、災害復旧修理開始 × 経済支援の体制が整っても職人が確保できないので工事に着手できない ○ ヒト・モノ・カネについて包括的に地域と外部を繋ぐ窓口の存在 × 職人不足の問題等が震災復旧工事の遅滞をもたらした × 職人不足によって工事の取り掛かることができる数に限りがあった ○ 近郊地区で活動する職人集団が工事に協力 	
⑥応急用養生シート	<ul style="list-style-type: none"> ○ 自治体によるブルーシートの備蓄・無償貸与 ○ ブルーシートや土のうを地域全域に無料配布 ○ 保存会がブルーシートを確保し会員に配布 × 薄手のブルーシートは1ヶ月程度でボロボロになる 	
⑦応急危険度判定	<ul style="list-style-type: none"> ○ 全数実施 △ 依頼があった建物のみ実施 △ 不安を煽る恐れがあるので調査票は掲示せずに、ロープ等で近付かないよう対策 × 調査員が所見の記入や所有者への説明をせずに調査結果を貼っていくため居住者の不安を高めた 	

3.9 環境物件に対する調査結果

目視調査を行い、図3.9.1のようなことが確認された。伝建地区に植栽された樹木はそれほど多くはない。しかしながら、一部の樹木では、かなりの大木にまで成長しているが、手入れが不十分であるケースも見受けられる。また、それらの幾つかにおいては樹幹に腐朽菌が確認された。これらの植栽された樹木は、伝建地区の歴史的景観を構成する大事な要素であり、適切な管理が必要である。特に樹木サイズが大きくなった個体については、倒木した場合に、伝統的建造物の損壊をまねく恐れがあり、これらの環境物件に対しても適切な処置を行っていく必要がある。

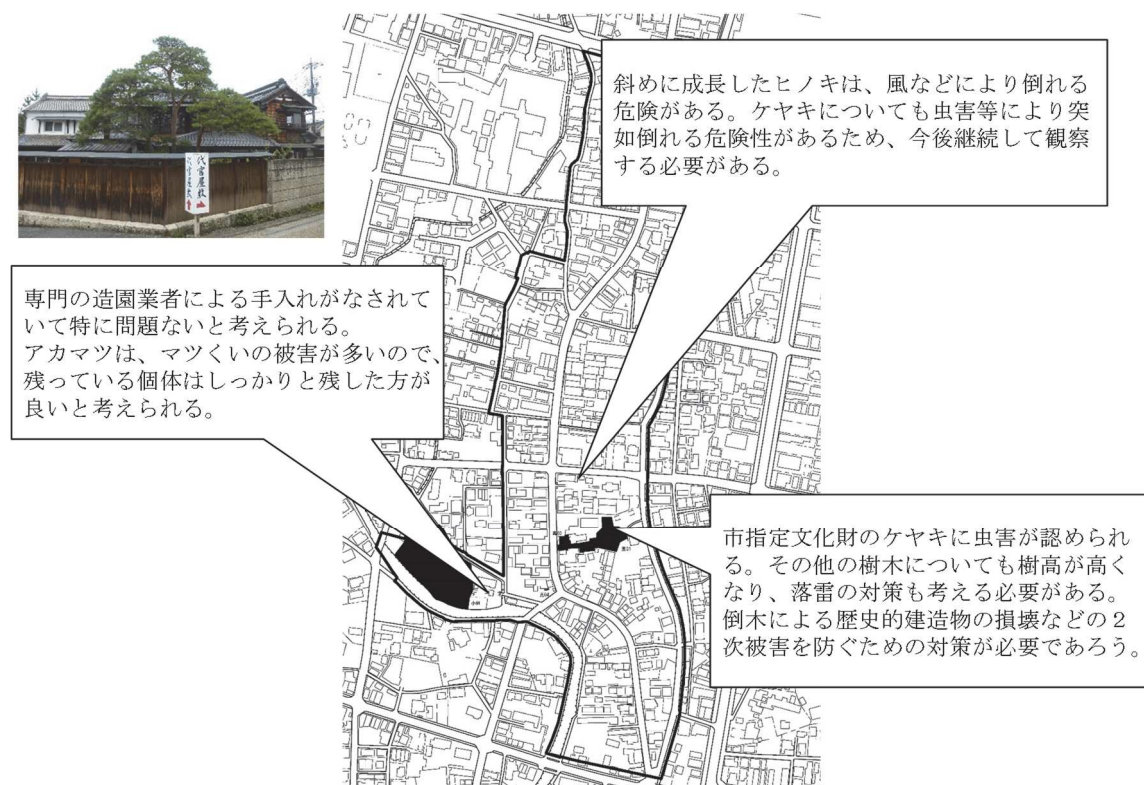


図 3.9.1 環境要素に対する調査結果

《参考資料・文献》

- 3-1) 長谷見雄二, 安井昇ほか:軸組木造土壁構法による準耐火構造の開発(その1~その13), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2005-2008年
- 3-2) 建設省都市局都市防災対策室:都市防災実務ハンドブック 地震防災編, ぎょうせい, 1997年9月
- 3-3) 東京消防庁:地震火災による人的被害の軽減方策, 火災予防審議会資料, 2015年
- 3-4) 東京消防庁:地震時における消防活動体制のあり方, 火災予防審議会資料, 2003年
- 3-5) 司宏俊, 翠川三郎:断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 64(523), pp.63-70, 1999年
- 3-6) 国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部:限界耐力計算(地盤増幅)簡易計算プログラム「ユーザーズガイド」
- 3-7) 三浦賢治, 古山田耕司, 飯場正紀:応答スペクトル法による表層地盤の非線形増幅特性の解析法, 日本建築学会構造系論文集, 第539号, pp57-62, 2001年
- 3-8) 国土交通省住宅局建築指導課, 同省建築研究所, (財)日本建築センター, (社)建築研究振興協会:2001年版限界耐力計算法の計算例とその解説, 工学図書(株), 2001年3月
- 3-9) 太田裕, 後藤典俊:S波速度を他の土質的諸指標から推定する試み, 物理探査, Vol.29, No.4, pp.31-41, 1976年
- 3-10) 日本建築学会:入門・建物と地盤の動的相互作用, p.335, 1999年6月
- 3-11) 日本道路教会:道路橋示方書・同解説, I 共通編, p.47, 1990年
- 3-12) 日本国有鉄道:建造物設計標準解説, 基礎構造物, p.72, 1986年
- 3-13) 横内基,大橋好光ほか 12名:栃木市に現存する伝統的建造物の地震被害および耐震性に関する研究(その1~6), 日本建築学会学術講演梗概集, 構造III, pp.139-150, 2012年9月
- 3-14) 栃木市:栃木の町並み 蔵造りに関する調査報告書, 1987年3月
- 3-15) 栃木市教育委員会:栃木の町並みII 旧日光例幣使街道沿線(泉町・嘉右衛門町・大町)の歴史的建造物調査報告書, 2002年3月
- 3-16) 文化庁:重要文化財(建造物)耐震基礎診断実施要領, 2012年6月
- 3-17) 日本建築防災協会・国土交通大臣指定耐震改修支援センター:2012年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法 例題編・資料編, 2012年6月
- 3-18) 日本建築学会:建築物荷重指針・同解説(2015), 2015年2月
- 3-19) 文化庁:重要文化財(建造物)耐震予備診断実施要領, 2012年6月
- 3-20) (財)日本住宅・木造技術センター:木造の耐力壁及びその倍率性能評価業務方法書, 2008年12月
- 3-21) 横内基監修:歴史的町並みを護りヒトもマチも輝き続けるための地域デザイン雑記帳, 2016年3月
- 3-22) 国土交通大臣指定耐震改修支援センター:2012年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法, 2012年6月
- 3-23) 日本建築学会:建築材料用教材, 1987年3月

- 3-24) 樋口美早紀：関東型町屋の架構形式とその保有水平耐力～栃木市・桜川市の伝建建物について～，東京都市大学大学院工学研究科修士論文，2016年3月
- 3-25) (財)建材試験センター西日本試験所：耐力要素の強度性能評価書 壁構面(5段貫スギ板)，一般社団法人木を活かす建築推進協議会の情報プラットフォーム，2010年3月
- 3-26) 栃木市伝建予定地区建造物調査委員会耐震調査WG：伝統的建造物の地震被害および耐震性に関する調査・研究報告書，2012年3月
- 3-27) 社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用，2004年
- 3-28) 高橋佑太朗，横内基：歴史的市街地の災害復旧・復興のプロセスに関する研究(その1 熊本市新町・古町地区の震災後1年間の経過調査)，日本建築学会大会学術講演梗概集，都市計画，pp.779-780，2017年9月
- 3-29) 横内基監修：歴史的町並みを護りヒトもマチも輝き続けるための地域デザイン雑記帳，pp.126-127，2016年3月
- 3-30) Hajime Yokouchi，Proposal and Practice of Comprehensive Disaster Mitigation Depending on Communities in Preservation Districts for Traditional Buildings，Journal of Disaster Research Vol.10 No.5，pp.857-873，2015年
- 3-31) The Ono River and Sawara Cityscape Preservation Association: SAWARA HISTORIC DISTRICT Steps Toward Recovery from the Great East Japan Earthquake