

建築物の雪害対策について
報告書

建築物雪害対策ワーキンググループ

平成 26 年 10 月

1. はじめに

平成26年2月14日から16日にかけて、前線を伴った低気圧が発達しながら本州の南岸を北東へ進み、西日本から北日本の広い範囲で雪が降り、特に、14日夜から15日にかけて、関東甲信地方及び東北地方で記録的な大雪となり、各地で建築物の被害が発生した。本WGは、平成26年3月10日、大雪による建築物被害の把握と原因分析、原因分析に基づく積雪荷重の改正の必要性、構造基準の改正の必要性、維持管理のあり方の検討を行う目的で設置され、以降、現地調査を含め、以下の調査・検討を行った。

まず、降雪及び建築物被害の概要について、調査を行った。

降雪については、関東甲信地方の多くの気象観測点で、建築基準法施行令第86条第3項の規定に基づき国土交通大臣が50年再現期待値として定めた基準に基づいて特定行政庁が規則で定めた垂直積雪量を上回り、そのうちの多くは、50年再現期待値の概ね1.4倍程度とされる500年再現期待値を上回るものでもあった。また、群馬県、埼玉県、東京都などでは、降雪後に降雨が重なり、建築物によっては、屋根に堆積した雪が雨を含み、積雪のみによる荷重よりも大きな荷重が建築物に作用したものと考えられる。

一方、建築物被害については、①報道等がされた比較的規模の大きな建築物、②全壊した住家、③崩落等により死亡、重傷者が発生した建築物、及び、④多くの被害事例が発生したアーケードについて、主として特定行政庁からの情報により、物件を特定し、被害概要の調査を行った。①の比較的規模の大きな建築物のうち、特に被害の大きかった3棟については、現地調査や構造計算の再検証などさらに詳細な調査を行い、また、膜屋根部分の破断という特徴的な被害であった膜構造のドーム建築物1棟についても同様にさらに詳細な調査を行った。

これら物件を特定できた建築物の被害は、すべて建築基準法施行令第86条第2項に基づく多雪区域以外の区域（以下「一般区域」という。）に分布しており、また、「2月14日から15日までの期間における最大の垂直積雪量（以下「最深積雪」という。）が50年再現期待値よりも大きい地域」、「最深積雪に対して相対的に降水量が大きい地域」という、2つの条件を同時に満たす地域を中心に分布していた。

次に、積雪荷重について、検討を行った。

各地の気象記録により検討した結果、今回の大雪では、垂直積雪量だけでなく、地域によっては、積雪の単位荷重も、現行の建築基準法（以下「法」とい

う。)に基づく数値を超過していたと考えられる。

積雪荷重の算定については、推計精度等の課題はあるものの、降水量と気温の記録をもとに、降水量から融雪重量を差し引いて設定する方法に関する研究が進められている。

また、米国土木学会規準（ASCE7）においては、緩傾斜屋根の場合、積雪に降雨が重なった場合を想定して一定の荷重割増しを行う規定が設けられているが、日本では、当該規定に相当する規定は存在しない。

続いて、建築物被害について、検討を行った。

今般の大雪では、関東甲信地方の大多数の建築物は、倒壊・崩壊等に至らず、一部の建築物にのみ被害が発生した。倒壊・崩壊等が発生した建築物のうち、屋根全体の崩壊は、一般区域の鉄骨造の大規模な緩傾斜屋根で発生しており、降雪後の降雨により割増しされた積雪荷重が作用したことが一因と考えられる。なお、現地調査及び構造計算の再検証を行った特に被害の大きかった3棟のうち、既存不適格建築物を除いて、1棟は設計時の各部材の応力度の許容応力度に対する割合（以下「検定比」という。）について、もう1棟は接合部のディテールについて、設計上の想定を超える荷重の作用に対して耐力上の余裕のない建築物であった。

その他の倒壊・崩壊等が発生した建築物は、膜屋根部分の破断という特徴的な被害であった膜構造のドーム建築物、建築年が特定できないほど古い老朽化した木造住宅、カーポートやアーケード等であり、これらの建築物の被害の主要な原因としては、建築物の老朽化に対して十分な維持管理がなされていなかったこと、想定していた滑雪や雪下ろしによる荷重の減少が生じなかったこと等が考えられる。

最後に、これらの建築物の被害の原因分析を踏まえ、積雪荷重、構造設計法、維持管理等における必要な対策について、検討を行った。

積雪荷重については、まずは、米国土木学会規準（ASCE7）等の規定を参考としつつ、今後、必要な調査研究を行い、一般区域の緩傾斜屋根について、屋根の規模や傾斜に応じて、降雪後の降雨の状況に応じた積雪荷重による応力の割増しを検討すべきである。さらには、推計精度等の課題を解決したうえで、今後の気候変動の動向も踏まえて、全国的な積雪荷重の算定方法及びその数値の見直しを検討すべきである。

構造設計法については、鉄骨造の望ましい接合部ディテール、膜構造屋根の積雪の適切な滑雪処理についてとりまとめ、周知徹底を図るべきである。

維持管理等については、気象庁と連携した注意喚起、防災拠点となる体育館

等の使用上の配慮、既存不適格建築物対策、カーポートの供給方法、アーケード点検補修対策等を検討すべきである。

終わりに、本WGでの技術的検討を踏まえ、社会資本整備審議会建築分科会建築物等事故・災害対策部会において十分な制度的な検討が行われること、また、同部会において、必要な対策を講じるよう提言がなされた場合には、国土交通省ほか関係機関が連携して、速やかに雪害対策が講じられ、我が国における建築物の安全・安心の確保が着実に進展することを期待する。

【建築物雪害対策WG委員】

主査	西山 功	独立行政法人建築研究所理事
委員	太田 勤	株式会社堀江建築工学研究所所長
	久保 哲夫	東京大学名誉教授
	高橋 徹	千葉大学大学院工学研究科・工学部教授
	山田 哲	東京工業大学建築物理研究センター教授
協力委員	海老原 智	気象庁予報部予報課長

2. 事実関係

2. 1 降雪の概要

平成26年2月14日から16日にかけて、前線を伴った低気圧が発達しながら本州の南岸を北東へ進み、西日本から北日本の広い範囲で雪が降り、図1のとおり、関東甲信地方の気象観測点のうち、宇都宮、土呂部、那須、前橋、熊谷、秩父、甲府、河口湖、飯田、軽井沢、開田高原で歴代1位の最深積雪、東京（千代田区）で歴代8位の最深積雪を観測するなど、特に、14日夜から15日にかけて、関東甲信地方の他、東北地方でも記録的な大雪となった。

関東甲信地方については、土呂部、那須、前橋、熊谷、秩父、甲府、河口湖、松本、菅平、飯田、諏訪、軽井沢では、50年再現期待値として定められている法に基づく垂直積雪量を上回っており、さらに、那須、前橋、熊谷、秩父、甲府、河口湖、松本、飯田、軽井沢では、50年再現期待値の概ね1.4倍程度とされる500年再現期待値を上回るものであった。一方、東京（千代田区）の最深積雪は、50年再現期待値として定められている法に基づく垂直積雪量とほぼ同等であった。なお、関東甲信地方の図1の気象観測点のうち、草津、菅平、大町、開田高原、白馬は、多雪区域に位置するが、それ以外の気象観測点は一般区域に位置している。

代表的な4地点における2月14日から15日までの気象記録を図2に示す。埼玉県熊谷市においては、14日朝から15日朝にかけて降雪が続いた。14日8時頃から1時間あたり1cmから3cm程度ずつの降雪があり、18時頃には積雪深が20cm程度となって大雪警報が発令され、最も強く降ったのが15日早朝4時頃で、最深積雪は62cmに達した。一方、15日朝から夕方にかけて降雨（「みぞれ」を含む。以下同じ。）が続き、14日から15日にかけての降雪及び降雨による積算降水量^{※1}は約140mmに達した。降雪時の気温は概ね0℃程度であり、雪水比^{※2}は0.0から2.0まで（積雪量1cmごとの1m²あたりの荷重（以下「単位荷重」という。）5.0N/m²/cm以上に相当）に分布しているが、降雪後に降雨が重なったため、建築物によっては、屋根に堆積した雪が雨を含み、積雪のみによる荷重よりも大きな荷重が建築物に作用したものと考えられる。埼玉県熊谷市に比べて、東京都千代田区ではより早く降雨となり、一方、群馬県前橋市では、遅れて降雨となっているが、降雪後に降雨が重なった点では類似している。一方、山梨県甲府市では、降雪後に降雨は観測されていない。

※1 降水量について

- ・ ある時間内に降った雨や雪などの量で、降水が流れ去らずに地表面を覆ったときの水の深さ（雪などの固形降水の場合は溶かして水にしたときの深さ）（気象庁HPより引用）

※2 雪水比について

- ・ 単位時間あたりの降雪量（cm）を降水量（mm）で除した値

2. 2 建築物被害の概要

消防庁による被害状況等の報告（平成26年2月14日から16日の大雪による被害状況等について（最終報））によれば、死者26名、負傷者701名で、住家被害は647棟（全壊16棟、半壊46棟、一部破損585棟）、非住宅被害は388棟（公共建物40棟、その他348棟）である。

国土交通省より、大雪による建築物の被害を把握するため、特定行政庁を通じて、①報道等がされた比較的規模の大きな建築物、②全壊した住家、③崩落等により死亡、重傷者が発生した建築物、④多くの被害事例が発生したアーケードの各被害について調査を行ったところ、それぞれ、17件、14件、10件、11件の報告があった。

①のうち構造体に被害のあったものはすべて屋根が鉄骨造の大規模建築物であった。特に、屋根の全面的な崩落の報告があった3事例については、3月14日にB市研究所、3月25日にC市体育館の現地調査を行うなど、さらに詳細な調査を実施した。また、膜屋根部分の破断という特徴的な被害のあった膜構造のドーム建築物の1事例については、(一社)日本膜構造協会を通じて得た情報に基づき、被害の実態の詳細な把握を行った。②から④までについては、特定行政庁を通じて被害状況の把握を行ったが、設計図等が不明であり、また、撤去も進んでいるものも多く、特定行政庁において把握可能な範囲で調査を実施した。②については、すべて木造の建築物で、多くは建築年が特定できないほど古い老朽化した建築物であった。③の10件のうち、死亡・重傷を合わせて5件であったカーポートに関しては、日本エクステリア工業会を通じて都県別の被害数の情報を得るなど、被害の実態把握を行った。

これらの被害の一覧を表1に、分布を図3に示す。図1及び図3によれば、物件を特定できた建築物の被害は、すべて一般区域に分布しており、また、「最深積雪が50年再現期待値よりも大きい地域」、「最深積雪に対して相対的に降水量が大きい地域」という、2つの条件を同時に満たす地域を中心に分布していることがわかる。

3. 調査関係

3. 1 積雪荷重の検討

法では、積雪荷重は、積雪の単位荷重に屋根の水平投影面積及びその地方における垂直積雪量を乗じて計算することとされている。

積雪の単位荷重については、 $20\text{N/m}^2/\text{cm}$ 以上としなければならない、ただし、多雪区域については、特定行政庁がこれと異なる定めをすることが可能、とされている。

次に、垂直積雪量については、50年再現期待値を想定した国の基準に基づいて、特定行政庁が定めることとされている。国の基準は、全国423地点の気象観測点において平成元年時点で収集された過去15～68年間分の積雪深データにより、各地域における50年再現期待値を想定した一定の方法により算定しており、さらに特定行政庁において局所的地形要因による影響等を考慮するものとされているが、当該区域又はその近傍の区域の気象観測点における地上積雪深の観測資料に基づき統計処理を行う等の手法によって当該区域における50年再現期待値を別途求めることができる場合には、当該手法によることのできるこ

ととされている。

法においては、このほか、屋根勾配による積雪荷重の低減、積雪量が不均等となるおそれのある場合の影響の考慮、雪下ろしを行う慣習のある地方における積雪荷重の低減等の規定がある。

なお、保有水平耐力計算及び許容応力度等計算においては、極めて稀に発生する積雪に対して、建築物が倒壊・崩壊しないことを直接的に検証していない。これは、仕様規定への適合を前提とすれば、中程度（50年再現期待値）の稀に発生する積雪に対して建築物が損傷しないことを確かめることにより、最大級の積雪（500年再現期待値。中程度の積雪の概ね1.4倍程度。）に対する検証を直接的に実施しなくても、極めて稀に発生する事象に対して建築物が倒壊・崩壊しないことが経験的に推定できるとされているためである。

今回の大雪については、建築物の被害が、「最深積雪が50年再現期待値よりも大きい地域」、「最深積雪に対して相対的に降水量が大きい地域」という、2つの条件を同時に満たす地域を中心に分布していることから、特に、積雪の単位荷重及び垂直積雪量に着目して整理した。

まず、積雪の単位荷重に関して、各地の気象記録によれば、図2のとおり、埼玉県熊谷市、東京都千代田区では、降雪後に降雨があり、山梨県甲府市では、降雪後の降雨は記録されていない。埼玉県熊谷市、東京都千代田区で観測された積算降水量はそれぞれ140mm、96mmであるが、降水量計の種類、降水量計の設置高さの平均風速に応じて降水量を補正する、いわゆる「捕捉率補正」を行った積算降水量はそれぞれ157mm、102mmとなる。一方、雪水比は、降雪時の平均で、埼玉県熊谷市は約0.9、東京都千代田区は約0.8、山梨県甲府市は約1.2であり、降雪時の単位荷重としては、それぞれ、約 $11\text{N/m}^2/\text{cm}$ 、約 $13\text{N/m}^2/\text{cm}$ 、約 $8.3\text{N/m}^2/\text{cm}$ となる。

今回被害が発生した関東南部都市部においては、積雪の単位荷重の値として $20\text{N/m}^2/\text{cm}$ が用いられている。一方、表2のとおり、後に詳述する大規模建築物の被害が発生したA市、B市、C市、D市の14日の降雪から被害発生時点までの積算降水量について、「近隣で観測された被害発生時までの積算降水量（降雪のみ）^{*3}」を最小値、「近隣で観測された被害発生時までの積算降水量（降雨含む）」を最大値とし、「近隣又は当該地で確認された積雪量」で除した値、つまり、積雪の単位荷重は、それぞれ、A市約 $23\sim 29\text{N/m}^2/\text{cm}$ 、B市約 $16\sim 20\text{N/m}^2/\text{cm}$ 、C市約 $15\sim 22\text{N/m}^2/\text{cm}$ 、被害発生時までに降雨が観測されなかったD市約 $13\text{N/m}^2/\text{cm}$ である。降雨がすべて積雪に吸収されることはないにせよ、今回の積

雪の単位荷重は、地域によっては、法に基づく積雪の単位荷重 $20 \text{ N/m}^2/\text{cm}$ を超過していたと考えられる。なお、気象庁における雪水比に関する過去 23 年間の調査（量的予報技術資料 第 19 号 2014 年）によれば、バラツキが大きいものの、関東南部都市部においては、雪水比の平均値が 0.4、つまり、積雪の単位荷重 $25\text{N/m}^2/\text{cm}$ に相当する事例数が最も多いことが示されている。

※3 「近隣で観測された被害発生時までの積算降水量（降雪のみ）」の算出方法

- ・ 気象庁の観測記録により、近隣の気象観測点等における被害発生時までの降雪のみの積算降水量を確認する。
- ・ 各気象観測点の風速計高さでの平均風速、風圧計の設置高さ、風速の鉛直分布特性を表すべき指数を用いて、降水量計の受水口高さでの平均風速を推定する。
- ・ 捕捉率特性の式を用いて、降水量計の受水口高さでの平均風速、降水量計に関する係数を用いて、捕捉率を求める。
- ・ 捕捉率を用いて積算降水量を補正し、補正後の積算降水量を算出する。

設計時に用いる積雪荷重については、上述した現行の法で採用している過去の観測資料に基づき単位荷重と垂直積雪量をそれぞれ設定する方法のほか、降水量と気温の記録をもとに、降水量から融雪重量を差し引いて設定する方法に関する研究が進められている。しかしながら、地域の標高、緯度、季節によって異なるとされる融雪量に関する知見、温度による雨雪の判別に関する知見等が不足しており、法の規制に直ちに反映することは難しい。

また、法では、屋根勾配が 60 度を超える場合には積雪荷重をゼロとし、60 度以下の場合には、その勾配に応じて積雪荷重を低減することとしているが、米国土木学会規準（ASCE7）では、積雪荷重が一定以下の地域では、緩傾斜屋根の場合、積雪に降雨が重なった場合を想定して荷重割増し（ASCE7 の場合、屋根の規模（棟から軒までの距離）及び勾配に応じて、特定の条件を満たした時に、一律に 0.24kN/m^2 ）を行うこととされており、この考え方は ISO の規格（ISO4355）にも引用されている。また、カナダの建築基準においても、最も厳しい荷重はしばしば積雪が雨を含んだ状態で発生するとされており、そこでの降雨による荷重割増しの目安として 0.1kN/m^2 の数値が示されている。

屋根が崩落した大規模建築物のうち、設計図書等によって屋根の勾配が確認できた 12 棟について、棟から軒までの距離、屋根勾配を表 3 に示す。棟から軒までの距離は約 14～60m と、すべて規模の大きな屋根であり、テント状の屋根と推定された倉庫、曲面屋根の倉庫を除く 10 棟については、1 棟の屋根勾配は

約 5.7 度、残りの 9 棟の屋根勾配は 3 度以下であり、すべて緩傾斜屋根であった。

次に、垂直積雪量に関して、今回の積雪深データを踏まえた 50 年再現期待値の算定結果によれば、特定行政庁が規則で定めている数値と当該 50 年再現期待値の算定結果は、それぞれ、東京（千代田区）は 29cm、29cm と両者に差が見られないが、秩父は 40cm、70cm、前橋は 34cm、49cm、熊谷は 30cm、42cm と大きな差が見られている。（一社）日本建築学会においても建築物荷重指針の改定に向け最新の積雪深データを踏まえた垂直積雪量の再現期待値の検討がなされている。なお、統計的には、このような大きな差をもたらした積雪深データは「外れ値」と評価すべきほど大きな値であるとする考え方もある。

法では、一般区域の建築物の構造計算にあたり、短期に生ずる力として、積雪時、暴風時、地震時の荷重及び外力を想定することとしているが、積雪荷重は、地震力や風圧力と比較して、①鉛直方向に作用する、②載荷される時間が長時間である、という特徴がある。

3. 2 被害建物の調査

3. 2. 1 比較的規模の大きな建築物の被害

（1）検討内容

比較的規模の大きな建築物の被害のうち、屋根の全面的な崩落の報告があった 3 事例及び膜屋根部分の崩落のあった 1 事例について、現地調査及び構造計算書の再検証等を行うとともに、物件の所在地又は近隣で確認された垂直積雪量に一般区域での単位荷重である $20\text{N/m}^2/\text{cm}$ を乗じて算出した積雪荷重（以下「推定積雪荷重①」という。）、近隣で確認された捕捉率補正をしていない被害発生 の時間帯までの積算降水量から算出した積雪荷重（以下「推定積雪荷重②」という。）により、それぞれ、建築物の構造安全性の検証を行った。構造安定性の検証の前提条件及び検定比等の検証結果を表 4 に示す。

（2）個別の建築物の被害状況

① A 市の体育館

2 月 15 日午前 8 時頃、体育館の屋根の崩落が発生した。RC 造 3 階建て、屋根は鉄骨造で、上下弦材が CT-250×200×10×16、斜材・縦材が 2L-65×65×6 のトラス梁、小梁及び水平ブレースで構成された骨組みの上に折板が載ったス

パン約 39mの陸屋根（屋根勾配約 0.8 度）である。現地調査を行ったところ、屋根のトラス梁の中央部の上弦材が座屈しており、トラス梁の端部と R C 造部分との接合部が外れ、折板、トラス梁の他、設備等を含めた屋根全体が落下していた。一方、R C 造部分の柱及び梁は構造耐力に影響する大きな損傷はなかった。著しい老朽化の状況は確認されていない。

原設計が消失しているため復元計算により検証を行ったところ、法で定めた垂直積雪量 30cm を用いて、トラス梁を構成するトラス材（上弦材、下弦材、斜材、縦材）の端部をすべてピン接合として、トラス材に軸力のみが働くことを前提とした原設計の再検証では、最も厳しいトラス梁の中央部の上弦材の検定比は 0.99 (<1.00) であった。

以上により、屋根全体の崩壊は、大規模な鉄骨造の緩傾斜屋根に、表 2 のとおり、降雪後の降雨により割増しされた現行の法の積雪荷重の 1.4~1.8 倍程度と推定される積雪荷重が作用したこと、検定比が 1.0 ぎりぎりの部材を有する、設計上の想定を超える荷重の作用に対して耐力上の余裕のない建築物であったことによるものと考えられる。

② B 市の研究所

2 月 15 日午前 6 時頃、実験棟の屋根の崩壊が発生した。鉄骨造 1 階建て、鉄骨柱とトラス梁の門型フレームが桁行き方向に連なって構成された建築物である。屋根は鉄骨造で、上下弦材が CT-241×300×11×15、斜材が ϕ -139.8×3.5 等、縦材が ϕ -114.3×3.5 のトラス梁、小梁及び水平ブレースで構成された骨組みの上に折板が載った、スパン約 48m の陸屋根（屋根勾配約 1.8 度）である。現地調査を行ったところ、屋根トラスが崩壊し、大半の門型フレームが M 字状に倒壊していた。また、鉄骨柱は著しく変形しており、下端部で破断している柱も存在した。加えて、上下弦材に斜材が一面せん断接合された接合部に大きな変形が確認された。著しい老朽化の状況は確認されていない。

入手できた資料に基づき構造計算の再検証を行ったところ、法で定める垂直積雪量 30cm を用いた設計の再検証においては、屋根のトラス梁端部の斜材の検定比は 0.85 (<1.00) であった。一方、推定積雪荷重①及び推定積雪荷重②に対する当該部材の検定比は、それぞれ 1.01 (>1.00) 及び 0.99 (<1.00) となった。

また、トラス梁の斜材と上下弦材との接合部は、圧縮材端部となるガセットプレートを用いた接合部で不安定現象が生じて、斜材に用いられた鋼管の座屈耐力を発揮できずに、接合部で早期に損傷を生じた可能性がある。構造設計の実務においては、こうした現象までを考慮しない場合もみられるが、より配慮が望まれるものと考えられる。

以上により、屋根全体の崩壊は、大規模な鉄骨造の緩傾斜屋根に、表2のとおり、降雪後の降雨により割増しされた現行の法の積雪荷重の1.1~1.4倍程度と推定される積雪荷重が作用したこと、トラス梁の斜材の圧縮材端部となるガセットプレートを用いた接合部のディテールにより、設計上の想定を超える荷重の作用に対して耐力上の余裕のない建築物であったことによるものと考えられる。

③ C市の体育館

2月15日午前9時15分頃、体育館の屋根の崩壊が発生した。鉄骨造2階建て、鉄骨柱と鉄骨梁の門型フレームが桁行き方向に連なって構成された建築物である。屋根は鉄骨造で、フランジ部をt15×150、ウェブ部を4.5mmの板厚とし、せいが350~750mmのテーパ―断面とした鉄骨梁の上に、木毛セメント板を下地として鉄板を葺いた、スパン約28mの陸屋根（屋根勾配約2.9度）である。現地調査を行ったところ、鉄骨梁の中央付近が横座屈し、全8通り中、中央部分の5通りが崩落しており、梁の端部付近では塑性化が見られた。また、鉄骨柱は内側に向かって傾斜し、柱脚部分のアンカーボルトの降伏によるベースプレートの浮き上がりが生じていた。著しい老朽化の状況は確認されていない。

なお、本建築物については、昭和43年に竣工後、平成元年に屋根の改修、平成21年に、鉄骨方杖の設置、鉄骨ブレースの増設、柱脚や基礎梁の補強等の耐震補強を実施している。一方、平成12年には、特定行政庁において、垂直積雪量の値が、原設計当時の30cmから37cmに強化されている。

入手できた資料に基づき耐震補強後の骨組みについて構造計算の再検証を行ったところ、原設計時点での法で定める垂直積雪量30cmを用いた再検証において、屋根のテーパ―断面の鉄骨梁の検定比は、梁方杖位置では1.20(>1.00)、梁中央部では1.07(>1.00)であった。これは、昭和55年建設省告示第1799号「木材のめりこみ及び圧縮材の座屈の許容応力度等を定める件」において初めて規定が整備され、原設計の確認審査が行われた昭和42年当時は、曲げ材の座屈の検定の義務づけがなかったことによるものである。そのため、推定積雪

荷重①に対する当該部材の検定比は、梁方杖位置では 1.96 (>1.00)、梁中央部では 1.72 (>1.00) となった。

なお、昭和 45 年以降の約 20 年間に同市内で建設された 4 つの小中学校の体育館のうち、構造計算プログラムを用いて設計されていた 1 件を除いた残りの 3 件では、いずれも曲げ材の座屈の検定が行われており、その検定比は 0.57～0.78 であり、今回の積雪荷重に対して被害は生じていない。

以上により、屋根全体の崩壊は、大規模な鉄骨造の緩傾斜屋根に、表 2 のとおり、降雪後の降雨により割増しされた現行の法の積雪荷重の 1.3～1.9 倍程度と推定される積雪荷重が作用したこと、原設計時に、曲げ材の座屈の検定の義務づけがなく、また、現行基準よりも垂直積雪量の値が小さかった建築物であったことによるものと考えられる。

④ D市の屋内運動施設

2月15日5時頃、8時頃及び11時頃、屋内運動施設のドーム膜屋根部分の破断がそれぞれ確認された。鉄筋コンクリート造で、屋根架構は、長径250m、短径135m、高さ38.5mの単層格子シェル構造、膜屋根部分は、鉄骨の骨組みとケーブルを配置し、その上に膜を設置している。(一社)日本膜構造協会に設置された被災調査委員会からの報告によれば、滑雪した後、端部屋根面に堆積した積雪荷重による端部付近の膜の破損(以下、破損A)とドーム頂部の偏分布した積雪荷重による膜の破損(以下、破損B)の2種類の破損が生じている。

旧38条認定の資料に基づき確認したところ、原設計は、法で定める垂直積雪量30cmの1.5倍の45cmを想定して設計しており、また、膜材料の短期許容応力度について4倍の安全率を見込んでいた。原設計における膜材料の検定比は0.70 (<1.00)、鉄骨の骨組みの検定比は0.85 (<1.00)であった。

破損A及び破損Bについて、近隣で観測された積算降水量から換算した積雪荷重により検証を行った。

破損Aについては、2月15日5時頃確認された。屋根端部では1週間前の滑雪による残雪に今回の滑雪が重なって偏荷重が生じたため、その時点での破損部分の積雪荷重は 3700N/m^2 と推定され、当該部分の膜には、引張破断強さに対して約62%の応力が加わっていたと推定される。一方、膜材料の経年劣化によ

り、膜の引張破断強さも約 80%に耐力低下していたと考えられる。従って、膜に加わる応力は引張破断強さの約 77%であるが、膜材料については、引張破断強さの約 50%以上の高張力に長時間曝されるとクリープ現象により破断する可能性があることが指摘されており、クリープ現象による破断が生じたものと考えられる。

破損Bについては、2月15日11時頃確認された。ポンディング現象により偏荷重が生じたため、その時点での破損部分の積雪荷重は 1580N/m^2 と推定され、当該部分の膜には、引張破断強さに対して約 57%の応力が加わっていたと推定される。一方、破損Aの場合と同様、膜材料の経年劣化により、膜の引張破断強さも約 80%に耐力低下していたと考えられる。従って、膜に加わる応力は引張破断強さの約 72%であるが、膜材料については、引張破断強さの約 50%以上の高張力に長時間曝されるとクリープ現象により破断する可能性があることが指摘されており、破損Aの場合と同様、クリープ現象による破断が生じたものと考えられる。

なお、鉄骨の骨組みについては、破断Bが生じた部分について、膜材料と同様に 1580N/m^2 の積雪荷重が生じていたと推定され、短期許容応力度の 1.04 倍の応力が作用していたと推定される。短期許容応力度は超過しているものの、破断強度には達していないため、鉄骨の骨組みよりも膜材料の破損が先行したのと考えられる。

以上により、膜屋根の破断は、膜材料の劣化やクリープ破断、屋根端部形状やポンディング現象に起因する積雪の偏分布が生じうる建築物に対して、表2のとおり、現行の法の積雪荷重の 1.3 倍程度と推定される積雪荷重が作用したことによるものと考えられる。

3. 2. 2 全壊した住家の被害

消防庁の資料により全壊した住家の被害があったとされた 16 件について、特定行政庁を通じて被害状況の確認を行ったところ、表5のとおり、14 件について、構造種別、経過年数（築年数）、使用状況、当日の積雪量、現場の写真等について報告があった。構造種別はすべて木造であり、当日の積雪量は、不明の 2 件及び福島県の 1 件の計 3 件を除くと、すべて法の垂直積雪量の 50 年再現期待値を超えており、最大では約 2.3 倍の物件もあった。すべて一般区域に分布しており、ほぼすべての地域で雪下ろしの慣習はなかった。また、経過年数（築年数）については、14 件中 6 件は、建築台帳に記録を始めた以前の築年数が特

定できないほど古い建築物であり、そのほかの2件は100年以上、6件は30年以上の築年数であった。以上より、総じて、設計上想定した以上の積雪量に対応する積雪荷重が老朽化した木造建築物に作用し、建築物の全壊に至ったものと推定される。

3. 2. 3 崩落等により死亡、重傷者が発生した建築物の被害

特定行政庁から報告のあった建築物の崩落等により死亡・重傷等の被害が発生しているもの10件について、建築物の被害状況は表6のとおりである。早急に撤去がなされたこと、構造図等が不明であることから、詳細な検討は困難であったが、10件のうち、死亡・重傷を合わせて5件であったカーポートに関して、製造メーカー側からの追加の検証が可能であったことから、業界団体を通じて、上記5件中の3件を含む13件について、被害状況の把握及び原因分析を行った。

カーポートの被害については、製造メーカーに対する問い合わせが軽重含めて2,700件以上寄せられており、それぞれの被害の詳細については把握できていないものの、各都県での問い合わせ件数を各都県の戸建て住宅の戸数で除して算定した想定被害率については、図3中に示すとおり、地域的には、東京都、埼玉県、群馬県の順で高くなっている。

業界団体からの聞き取りによれば、アルミ製カーポートの約9割は大手3社がJIS A 6604（金属製簡易車庫用構成材）に基づいて製造しており、施工を行う指定工事店等への販売にあたっては、一定の品質管理・維持管理・使用方法を期待し、施工者向けの施工要領書やユーザー向けの取り扱い説明書を添付している。

今回の被害原因については、第一に、製品が許容する積雪荷重を大きく超える積雪荷重が作用したことであるが、その他の要因としては、①被害の実態把握を行ったカーポート13件のうち6件について、法が定める積雪荷重に見合わない製品が使用されていたこと、②同様に13件のうち2件について、隣接する建築物の屋根等からの落雪により被害が発生したこと、が考えられる。

3. 2. 4 アーケードの被害

特定行政庁からの報告のあったアーケードの被害状況は表7のとおりである。

各特定行政庁からは、被害が発生した主な原因として、設計上想定した以上の積雪荷重が作用したことに加えて、構造物の老朽化があげられており、このうち1件については、アーケードを構成する山形鋼について、向こう側が見えるほどに錆びていたことが確認されている。しかしながら、早急に撤去がなされたこと、構造図等が不明であることから、詳細な検討は困難である。なお、これらの内、一部のアーケードにおいては、商店街の方々による定期的な目視などの点検は行われていたが、専門家による点検はなされていない。

3. 2. 5 被害原因の総括

今般の大雪では、関東甲信地方の多くの地点で法が定める50年再現期待値の概ね1.4倍程度とされる500年再現期待値を上回る最深積雪が観測されたが、こうした地域でも大多数の建築物は倒壊・崩壊等に至らなかった。倒壊・崩壊等が発生した一部の建築物については、その被害原因から、屋根全体の崩壊が発生した鉄骨造建築物とそれ以外に大別される。

屋根全体の崩壊が発生した鉄骨造建築物については、棟から軒までの距離が約14～60mと大規模な屋根であるとともに、屋根勾配が確認できた12棟のうち、テント状の屋根と推定された倉庫、曲面屋根の倉庫を除く10棟については、1棟の屋根勾配は約5.7度、残りの9棟は3度以下であり、すべて緩傾斜屋根であった。これより、降雪後の降雨により割増しされた積雪荷重が、一般区域の大規模な緩傾斜屋根に作用したことが被害の一因と考えられる。なお、このうち詳細な調査を実施した現行基準に適合する2棟の建築物において、1棟は設計時の検定比について、もう1棟は接合部のディテールについて、いずれも設計上の想定を超える荷重の作用に対して耐力上の余裕のない建築物であった。

その他の倒壊・崩壊等が発生した建築物は、膜屋根部分の破断という特徴的な被害のあった膜構造のドーム建築物、建築年が特定できないほど古い老朽化した木造住宅、カーポートやアーケード等であり、これらの建築物の被害原因としては、建築物の老朽化に対して十分な維持管理がなされていなかったこと、想定していた滑雪や雪下ろしによる荷重の減少がなかったこと等が考えられる。

4. 対策関係

4. 1 積雪荷重の再検討

- ・ 今回の大雪による記録的な垂直積雪量、降雪後の降雨の影響を踏まえ、今

回の大雪も含めた観測記録に基づく再現期待値による垂直積雪量の設定、降雪や降雨の観測記録の蓄積等を踏まえたより推計精度の高い単位荷重の設定、降水量と気温から積雪荷重を求める方法の検討等を行い、今後の気候変動の動向も踏まえて、全国的な積雪荷重の算定方法及びその数値の見直しを検討すべきである。

- ・ 今般の大規模建築物の被害の多くは、記録的な大雪後に降雨が観測された一般区域の鉄骨造の緩傾斜屋根で発生しており、屋根上に堆積した雪が降雨を含んだ結果、建築基準法に基づく積雪荷重よりも大きな荷重が作用したことがその一因と考えられる。短期的には、米国土木学会規準（ASCE7）等の規定を参考としつつ、一般区域の緩傾斜屋根について、屋根の規模や傾斜に応じて、降雪後の降雨の影響を見込んだ積雪荷重による応力の割増しを行うことを検討すべきである。なお、具体的な屋根の傾斜角度、屋根の規模、応力割増しの値等については、今後、必要な実験や解析を行ったうえで設定すべきである。

4. 2 個別の仕様に応じた技術情報の蓄積

- ・ 屋根全体が崩落した鉄骨造建築物のトラス梁の圧縮力を受ける接合部について、余裕のないディテールのものであった。接合部ディテールについて、設計、施工、審査等に関わる各主体間で共通理解できる設計資料を作成する等、より望ましい接合部ディテールが実現するよう周知徹底すべきである。
- ・ 膜屋根の破断は、膜材料の劣化やクリープ破断、屋根端部形状やポンディング現象に起因する偏分布が生じうる建築物で発生した。膜構造の建築物について、屋根の積雪を適切に滑雪して処理できるような設計や維持管理がなされるよう、関係する業界団体や設計者、管理者に対して、周知徹底すべきである。

4. 3 維持管理等のあり方の再検討

- ・ 今回の大雪のように、一般区域において、大雪に降雨が重なることが予

測される場合には、気象庁と連携して、見かけの積雪量に相当する荷重以上の荷重が建築物に加わりうることについて、必要な注意喚起を行うべきである。

- 曲げ材の座屈の規定が設けられる以前に建築された鉄骨造建築物について、梁が横座屈し、屋根全体が崩落したものがあつた。特に、避難場所に指定される体育館等の防災拠点施設について、設計時に想定している積雪荷重を把握し、それ以上の積雪が予想される場合には、使用上の配慮を行うとともに、積雪荷重による応力の見直しの検討状況も踏まえ、既存不適格建築物対策を推進すべきである。
- カーポートについて、設置する場所の垂直積雪量、単位荷重に見合う商品が供給されるよう、また、隣接する建築物の屋根等からの落雪による倒壊に注意するよう、業界団体及び建築主に対して、周知徹底すべきである。
- アーケードについて、定期的な点検、補修がなされるよう、特定行政庁や所有者、管理者に対して、周知徹底すべきである。

5. 参考資料など

平成26年2月14日から15日にかけての大雪による建築物の被害を踏まえ、建築物被害の原因分析、基準の改正の必要性等について検討を行うため、3月10日、社会資本整備審議会建築分科会建築物等事故・災害対策部会のもとに、本WGが設置された。

本WGでは、被害のあつた大規模建築物について現地調査を行うなど、大雪による建築物被害の把握及び原因分析を行うとともに、当該原因分析を踏まえ、積雪荷重の改正の必要性、構造基準の改正の必要性、維持管理のあり方など、対策の方向性について4回のWGにより検討を行い、本報告書を取りまとめた。

- 3月12日 第1回WG
 - WGの検討事項・運営方針等
 - 建築物の被害・対策検討（被害状況の確認、構造計算の再検証等）
- 3月14日 B市研究所 現地調査
- 3月25日 C市体育館 現地調査
- 4月17日 第2回WG
 - 建築物の被害状況の分析（降水量計の捕捉特性、現地調査の確認等）

- ・今後の対策の方向性（対策の論点整理等）
- ・ 5月29日 第3回WG
 - ・ 建築物の被害状況の分析（被害状況の総括）
 - ・ 今後の対策の方向性（積雪荷重、構造基準のあり方等）
- ・ 7月4日 第4回WG
 - ・ 今後の対策の方向性（緩傾斜屋根に係る積雪荷重の割増し等）
 - ・ とりまとめ（案）について

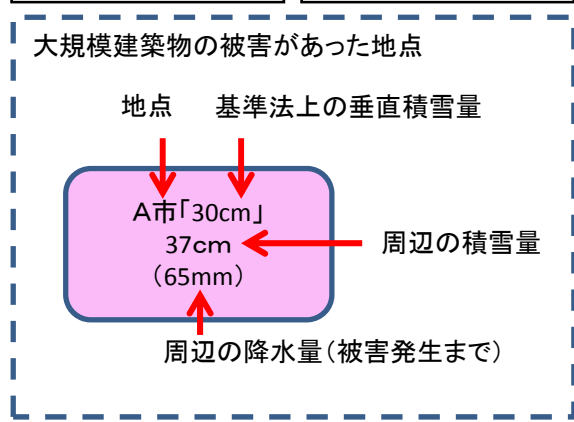
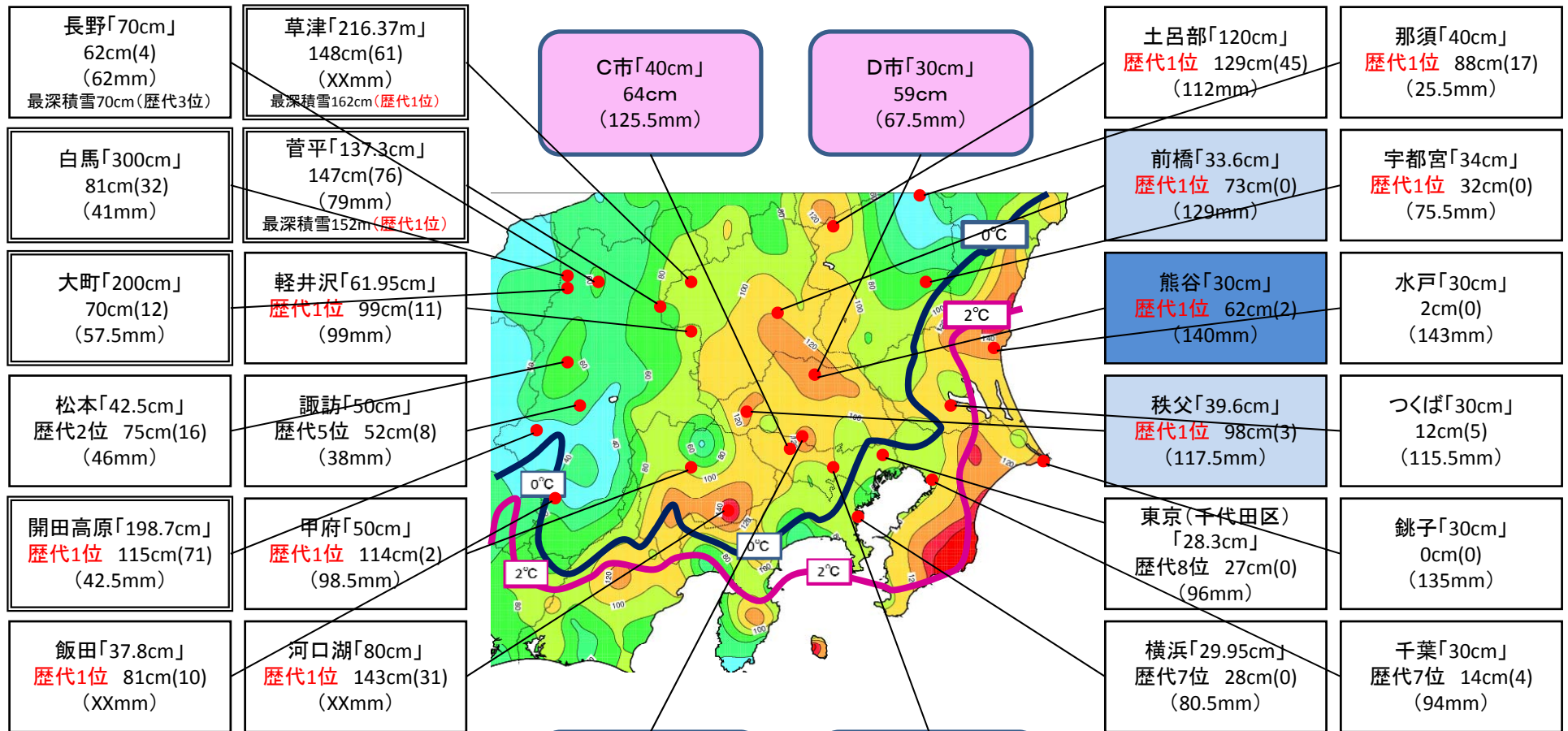
また、WGにおける検討、本報告書のとりまとめにあたっては、以下の資料を参考とさせて頂いた。

- ・ 平成26年2月14日から16日の大雪による被害状況等について（最終報）（消防庁、平成26年6月23日）
- ・ 量的予報技術資料 第19号（気象庁、2014年）
- ・ 冬期における降水量計の捕捉特性（横山宏太郎ら、2003年）
- ・ 積雪荷重に関する調査報告書（（社）中央畜産会他、2000年）
- ・ 建築物荷重指針（（一社）日本建築学会、2004年）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（一社）日本建築学会、2005年）
- ・ 米国土木学会規準（ASCE7） 等

謝辞

本報告書のとりまとめにあたっては、気象庁、文部科学省、消防庁、各特定行政庁、（一社）日本建築構造技術者協会、（一社）日本膜構造協会、日本エクステリア工業会、（独）建築研究所、国土技術政策総合研究所の方々に多大なご協力を頂きました。この場を借りまして、御礼申し上げます。

図1 2月14日から15日にかけての関東甲信地方の大雪



2014年2月14日-15日 降水量分布図(20mm毎)
14日21時の地上気温等値線(0°C、2°C)
※降雪期間の平均的な温度を表すような時刻

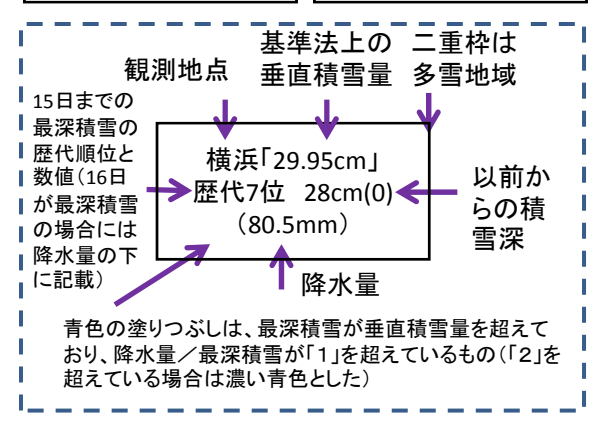
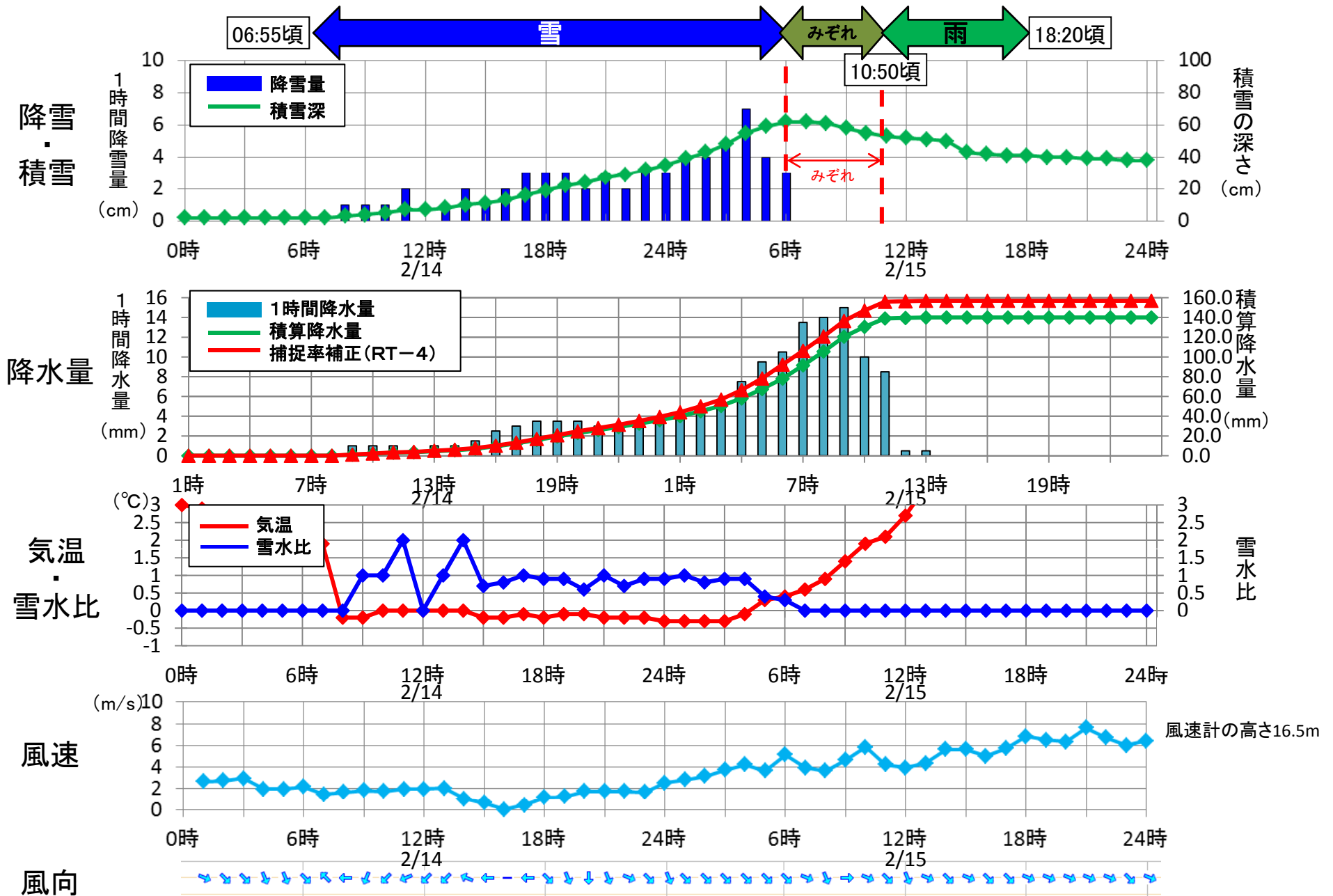
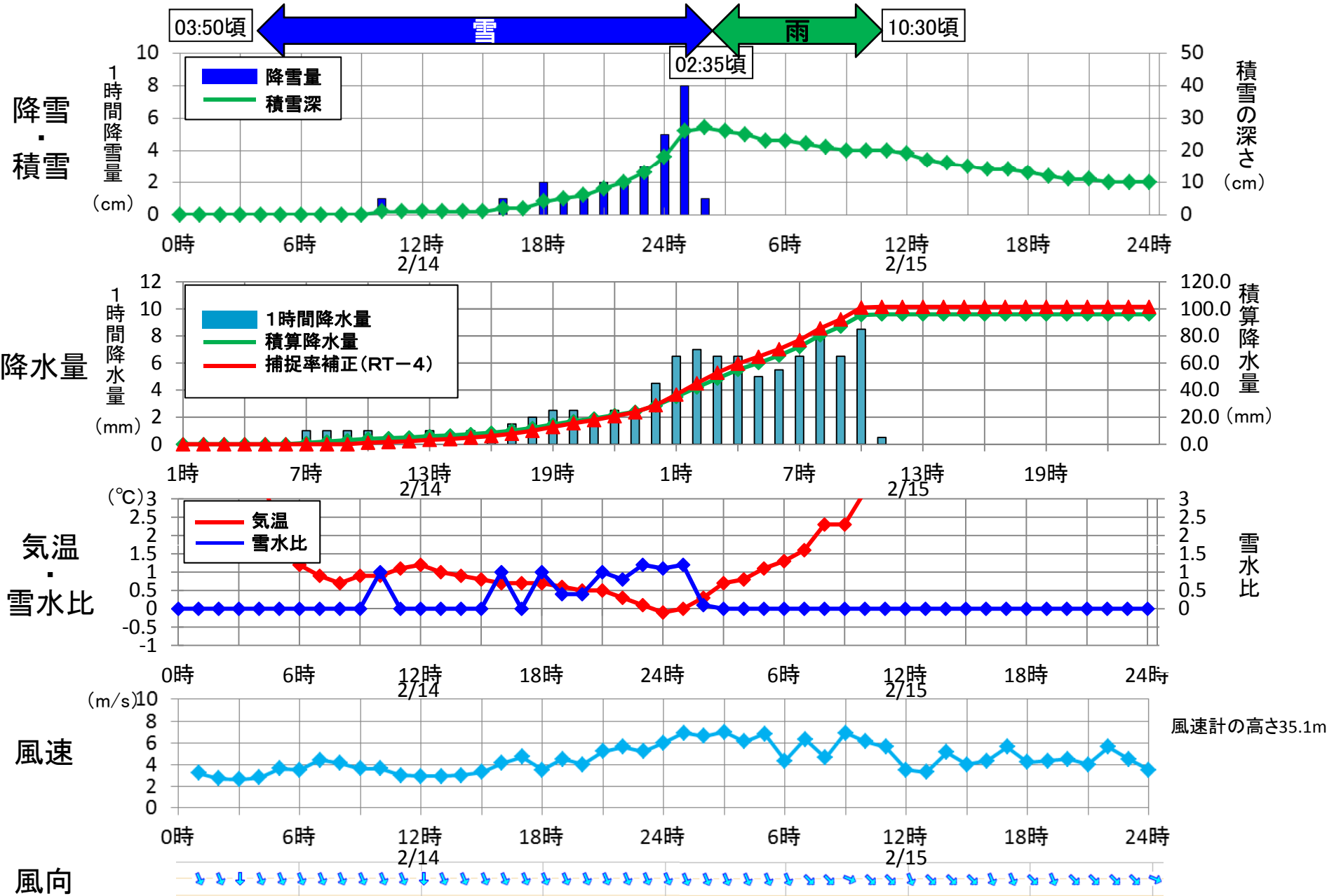


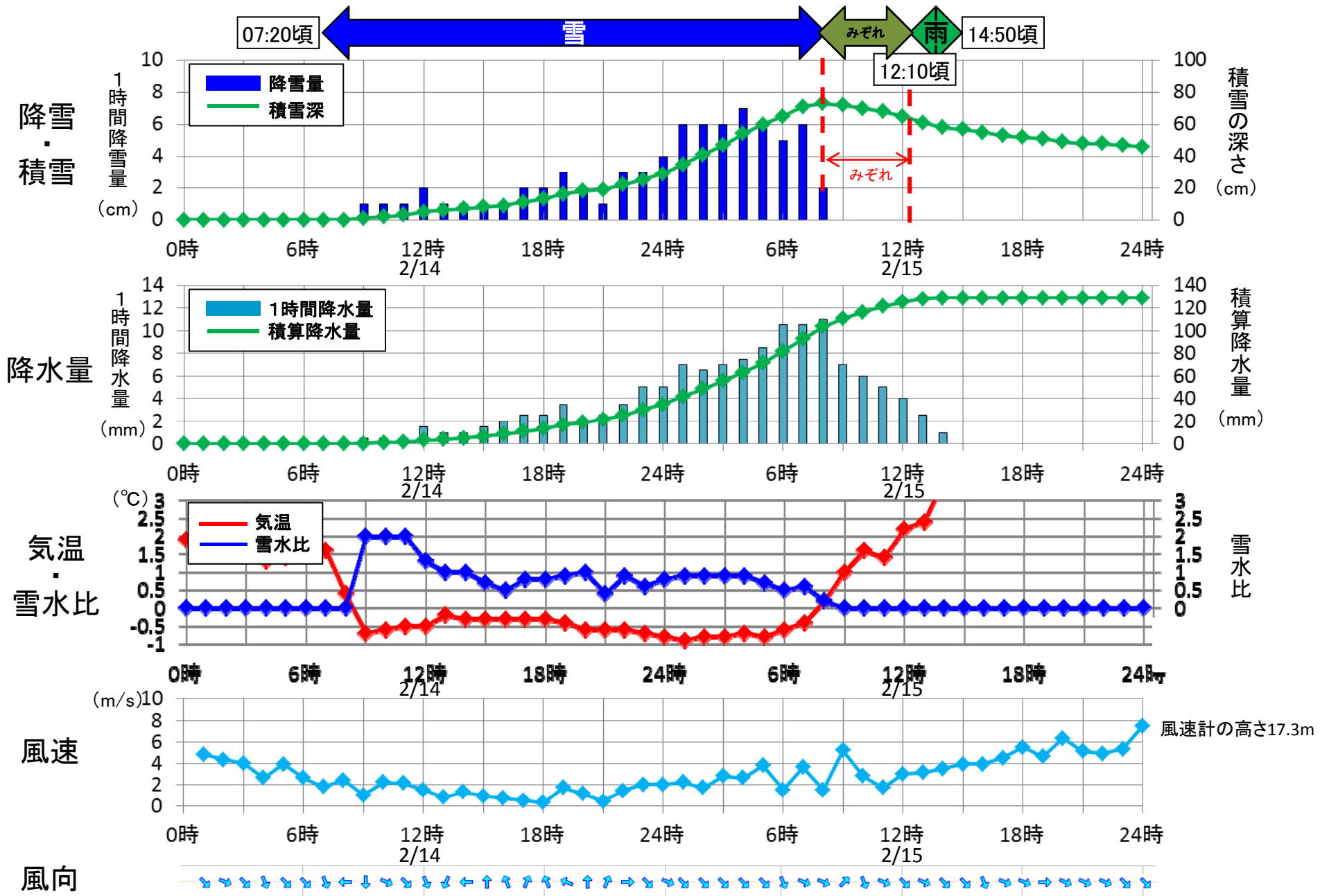
図2 埼玉県熊谷市の気象記録(2014年2月14日～15日)



東京都千代田区の気象記録(2014年2月14日～15日)



群馬県前橋市の気象記録(2014年2月14日～15日)



山梨県甲府市の気象記録(2014年2月14日~15日)

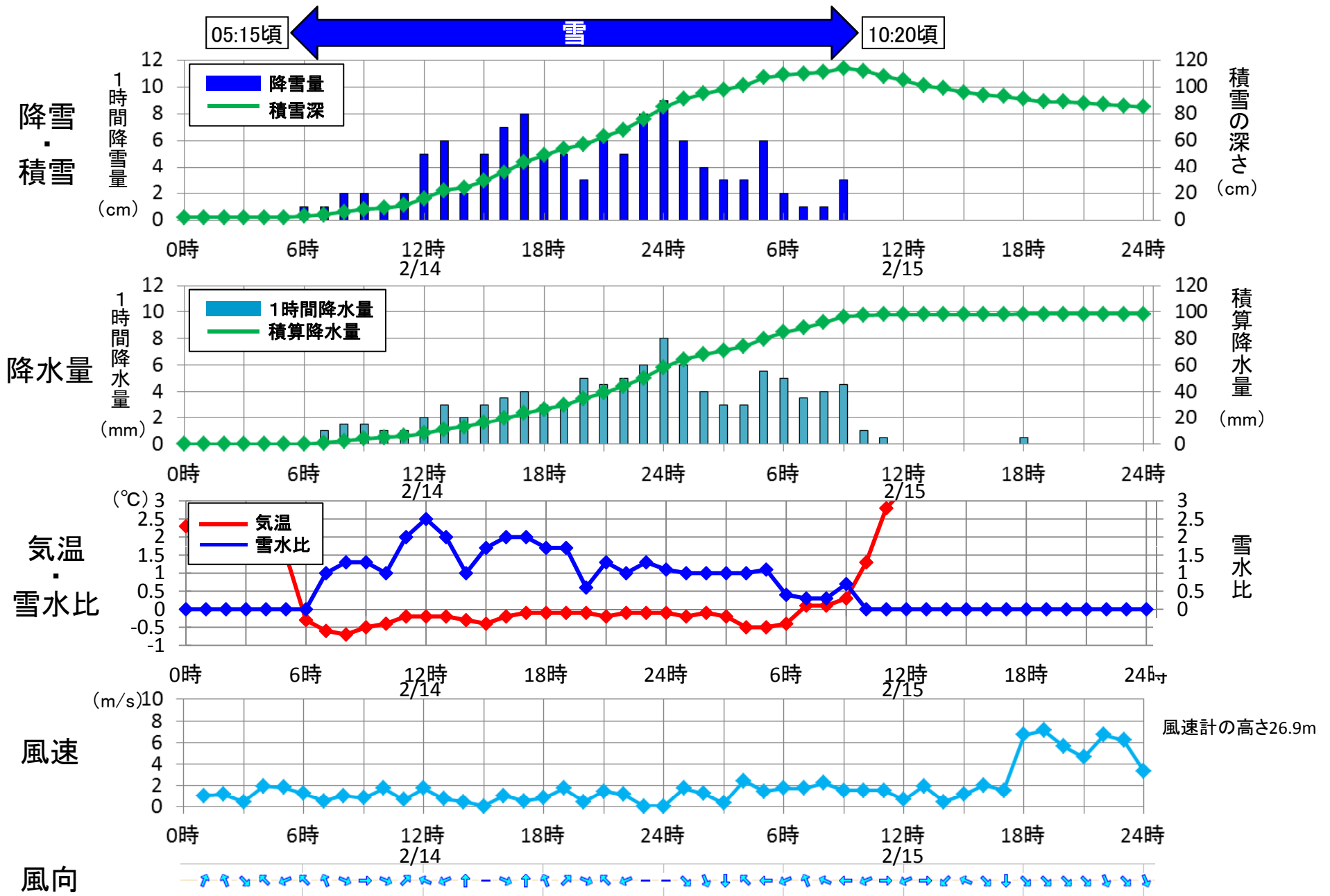


図3 2014年2月14日からの大雪により被害が発生した建築物

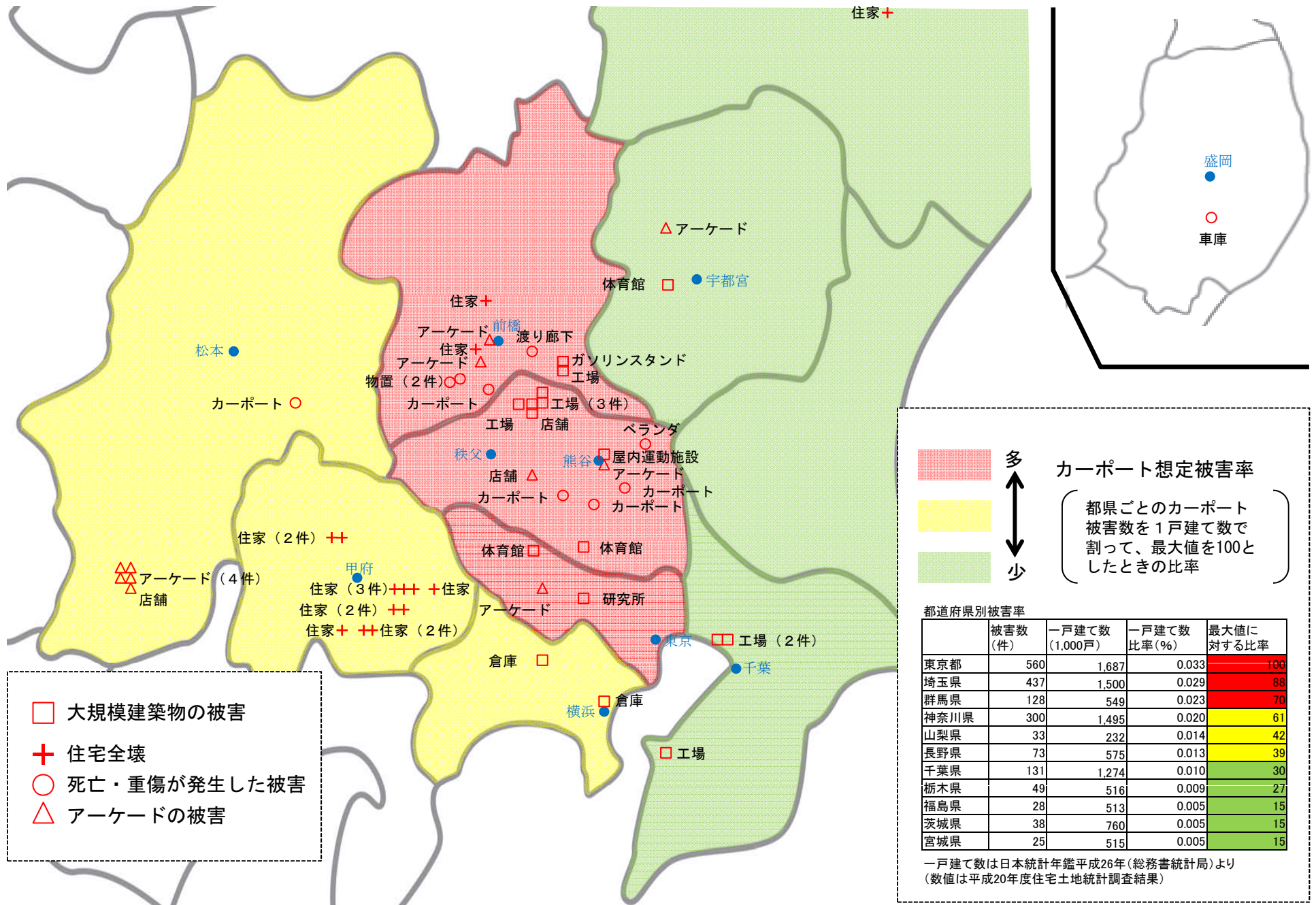


表2 詳細調査を行った大規模建築物周辺の気象観測値と捕捉率補正

市町村	現行の建築基準法上の積雪荷重 (kN/m ²)	観測値			捕捉率補正					
		垂直積雪量 (cm)	積算降水量(mm)		積算降水量(mm)		積雪荷重 (kN/m ²) 下段: 現行基準に対する比		単位荷重 (N/m ² /cm)	
			降雪のみ	降雨含む	降雪のみ	降雨含む	降雪のみ	降雨含む	降雪のみ	降雨含む
A市	0.6	37	46.0	65.0	85.2	108.5	0.84	1.06	23	29
B市	0.6	40	56.0	73.5	65.2	83.3	0.64	0.82	16	20
C市	0.74	64	81.0	125.5	94.9	140.8	0.93	1.38	15	22
D市	0.6	59	67.5	67.5	78.2	78.2	0.77	0.77	13	13

表3 屋根が崩落した大規模建築物の棟から軒の距離及び屋根勾配

都道府県	施設	建築時期	棟から軒の距離(m)	屋根勾配	
				勾配	角度(度)
東京都	体育館	昭和 42 年	14.1	0.050	2.86
	研究所	平成 19 年	24.1	0.031	1.78
埼玉県	体育館	平成元年	36.4	0.013	0.76
	工場(1)	不明	53.3	0.020	1.15
	工場(2)-1	不明	40.0	0.033	1.91
	工場(2)-2	不明	40.0	0.100	5.71
	店舗	平成 16 年	25.7	0.030	1.72
千葉県	工場(1)(2棟)	昭和 37 年	60.0	0.040	2.29
	工場(2)	平成 11 年	19.9	0.030	1.72
神奈川県	倉庫(1)	不明	18.8	0.124	7.10
	倉庫(2)	昭和 31 年	29.1	0.240	13.50

※図面等により勾配が確認できたものを掲載。神奈川県倉庫(1)はテント状のものと推定される。神奈川県倉庫(2)の屋根は、曲面形状をしており頂部は水平だが、頂部と最下部との距離を棟から軒の距離とし、頂部と最下部を結んだ直線と水平線との角度を屋根勾配とした。

表4 大規模建築物の構造安定性の検証の前提条件および検証結果

<構造安定性の検証の前提条件>

物件名 (建築確認)	原設計の垂直積雪量・積雪荷重	原設計時の建築基準法の垂直積雪量・積雪荷重	近隣又は当該地で確認された垂直積雪量と推定積雪荷重①	推定積雪荷重②
A市体育館 (平成元年1月)	30cm 588N/m ²	30cm 588N/m ²	37cm 740N/m ²	640N/m ²
B市研究所 (平成20年5月)	30cm 600N/m ²	30cm 600N/m ²	40cm 800N/m ²	720N/m ²
C市体育館 (昭和42年12月)	30cm 588N/m ²	30cm 588N/m ²	64cm 1,280N/m ²	1,230N/m ²
D市屋内運動施設 (平成12年10月)	45cm 970N/m ²	30cm 588N/m ²	59cm 1,180N/m ²	660N/m ²

(注) 推定積雪荷重①: 近隣又は当該地で確認された垂直積雪量に 20N/m²/cm を乗じて算出した積雪荷重

推定積雪荷重②: 近隣で観測された補足率補正をしていない被害発生までの積算降水量から換算した積雪荷重

<構造安定性の検証結果>

物件名 (建築確認)	原設計の構造計算の検証結果(最大検定値)	推定積雪荷重①による検証結果	推定積雪荷重②による検証結果
A市体育館 (平成元年1月)	梁中央上弦材 0.99	※明らかに1を超える。	※明らかに1を超える。
B市研究所 (平成20年5月)	屋根の梁端部斜材 0.85	屋根の梁端部斜材 1.01	屋根の梁端部斜材 0.95
C市体育館 (昭和42年12月)	梁方杖位置 1.20 梁中央部 1.07 ※耐震補強後の構造の検証 ※原設計時に、曲げ材の座屈の検定の義務づけなし	梁方杖位置 1.96 梁中央部 1.72	※明らかに1を超える。
D市屋内運動施設 (平成12年10月)	膜材料 0.70 鉄骨骨組み 0.85 ※評定資料における数値	—	—

表5 全壊した住家の被害状況

都道府県	構造種別	経過年数(年)※1	使用状況	垂直積雪量(cm)※2	当日の積雪量(cm)※3	多雪／一般	雪おろしの慣習
群馬県	木造	100	使用	35	70	一般	なし
	木造	117	不使用	59	約100	一般	なし
山梨県	木造	57以上	使用	80	不明	一般	なし
	木造	57以上	使用	80	不明	一般	なし
	木造	42	使用	75	108	一般	なし
	木造	45	使用	75	108	一般	なし
	木造	25以上	使用	65	105以上	一般	なし
	木造	25以上	使用	65	105以上	一般	なし
	木造	不明	使用	65	105以上	一般	なし
	木造	44	使用	65	150	一般	なし
	木造	32	使用	70	150	一般	なし
	木造	36	使用	55	104	一般	なし
	木造	35以上	使用	80	約180	一般	なし
福島県	木造	36	不使用	90	約80	一般	有り

※1: 「※※以上」とあるのは、当該年数以上経過していることは確認できるが、それ以前である建築年を特定できないと報告があったもの。

※2: 現行の建築基準法上の垂直積雪量

※3: 当日の積雪量として市町村等から報告のあったものであり、地域内の代表的な場所における目測等も含んでいるため、必ずしも被害場所における積雪量ではない。

表6 死亡・重傷者が発生した建築物の被害状況

都道府県	建築物の被害状況
埼玉県	ベランダ屋根の崩落により下敷き(死亡)
	カーポート崩落により下敷き(重傷)
	カーポート崩落により下敷き(重傷)
	カーポート崩落により下敷き(重傷)
群馬県	渡り廊下屋根の崩落により下敷き(死亡)
	カーポート崩落により下敷き(死亡)
	物置屋根の崩落により下敷き(死亡)
	物置屋根の崩落により下敷き(死亡)
岩手県	車庫の屋根崩落により下敷き(死亡)
長野県	カーポート崩落により下敷き(死亡)

表7 アーケードの被害状況

都道府県	施設	被害状況
群馬県	アーケード	屋根崩落
	アーケード	屋根破損
埼玉県	アーケード	屋根破損
	店舗庇	庇破損
長野県	店舗庇	庇破損
	アーケード	支柱湾曲
	アーケード	天井破損
	アーケード	屋根・天井破損
	アーケード	屋根崩落
東京都	アーケード	屋根崩落
栃木県	アーケード	屋根崩落