

振動による屋根雪滑動と構造体との動的相互作用に関する基礎的研究

その1 振動による屋根雪の破断モードと構造体の応答性状

○千葉隆弘 (北海道工業大学), 宗像真木彦 (北海道工業大学大学院)
 苫米地司 (北海道工業大学), 高橋徹 (千葉大学)

1. はじめに

2004年10月に発生した新潟県中越地震では、約3,000棟の木造住宅が全壊した。さらに、12月からの断続的な降雪によって発生した18年ぶりの豪雪では257棟の木造住宅が全壊し¹⁾、これら全壊した木造住宅の77%は、先に発生した中越地震で全壊と判定されていた。このように、新潟県中越地方で発生した自然災害は、地震と豪雪の複合災害の様相を呈している。2007年3月の能登半島地震においても533棟の木造住宅が全壊し、土葺き瓦屋根のような重い屋根の木造住宅に被害が集中した²⁾。震源付近は豪雪地帯に指定されているが、2006年度の降積雪状況は暖冬の影響によって寡雪となり地震発生時には積雪が観測されていない。例年は数十cmの積雪が観測されており³⁾、地震時に積雪があった場合は、雪荷重による住宅の倒壊や避難経路の確保など、被害拡大に繋がる様々な要因が懸念される。このような状況を見ると、積雪地域における木造住宅の耐震性は、積雪期に発生する地震を想定して十分に検討する必要がある。

構造物に作用する地震力は重量の大きさで変化するため、積雪期に発生する地震では雪荷重を考慮して地震力を算定する必要がある。現行の建築基準法では、屋根重量に加える雪荷重が考慮されておらず、札幌市等では塗装鋼板葺きの「軽い屋根」を「重い屋根」として対応している。さらに、塗装鋼板葺きの無落雪屋根や勾配屋根では、振動により屋根雪の滑動・滑落が発生する可能性があり、筆者らは、振動による屋根雪の動的挙動が構造体の振動特性に影響を及ぼすことを実験的に明らかにしている⁴⁾。このように、積雪地域の木造住宅は、雪荷重の影響および屋根雪の動的挙動を考慮し、実状に即した耐震性の評価を行う必要がある。

本研究では、屋根雪の動的挙動が構造体の振動特性に及ぼす影響を明らかにするため、基礎的な振動実験を行い、屋根雪滑動の拘束度と屋根雪破断モードとの関係などを検討した。

2. 実験方法

2.1 実験シリーズ

本研究では平屋建の陸屋根を想定し、屋根葺材を貼り付けた大きさ900mm×900mmの合板の四隅を鋼製脚で支持した構造体に自然雪を堆積させて加振実験を行った。

屋根葺材は、積雪地域で一般的に使用されているフッ素塗装鋼板およびつや消し塗装鋼板を用いた。フッ素塗装鋼板の表面粗さ(RzJIS)は4.2μm、つや消し塗装鋼板の表面粗さは21.2μmであり、フッ素塗装鋼板の表面粗さの方が小さい。屋根葺材の表面は、図1に示すように、屋根面温度の偏分布を考慮した部分的な凍着状態をモデルとし⁵⁾、屋根雪の滑動を1辺～3辺で拘束した場合と、塗装鋼板葺きの「はげ」を想定した場合を対象とした。1辺～3辺拘束は、屋根面に貼り付けたワイヤラスで凍着状態を再現した。はげの高さは30mm、間隔は300mmである。

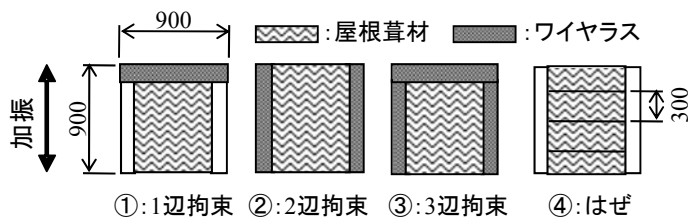


図1 実験シリーズ

表1 実験に使用した自然雪の雪質

雪質	実験に使用した雪		屋根雪	
	密度 [kg/m ³]	硬さ [N/mm ²]	密度 [kg/m ³]	硬さ [N/mm ²]
しまり雪	230	2.20	240	2.00
ざらめ雪	436	3.00	420	2.70



写真1 実験状況

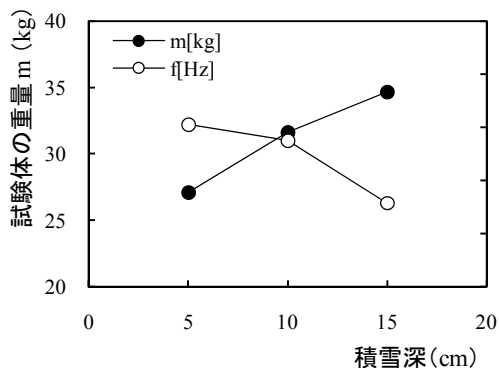


図2 試験体の重量と固有振動数

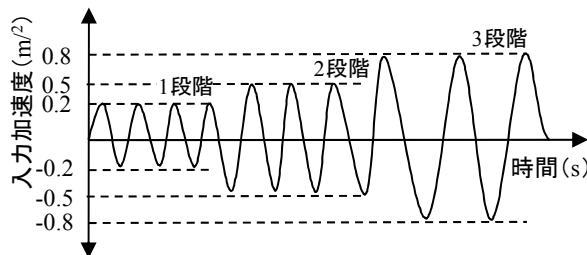


図3 加振方法

屋根葺材に堆積させた自然雪の深さは、5cm、10cm、15cmの3種類とした。自然雪の堆積状態は、実際の屋根雪を想定し、下層5cmはざらめ雪、上層はしまり雪とし、上層で深さを調節した。これら自然雪は、ふるいにかけて堆積させた。表1に雪密度および雪の硬さを示す。表のように、雪密度は、しまり雪が230kg/m³程度、ざらめ雪が436kg/m³程度、平均で333kg/m³程度であった。雪の硬さは、プッシュプルゲージの先端に取り付けた直径14mmの円盤を突き刺して測定した。その結果、しまり雪は2.2N/mm²、ざらめ雪は3.0N/mm²であり、実際の屋根雪で測定した値と近似した。

2.2 実験方法

実験状況を写真1に示す。振動台の動力は人力とし、自由振動加振、調和加振を行った。自由振動加振は、試験体の固有振動数を把握するために行った。試験体の重量および固有振動数fを図2に示す。図のように、重量は、積雪深の増加に伴い増加する関係を示し、25~35kgである。固有振動数fは、重量の増加に伴い減少し、積雪深5cmで3.01Hz、10cmで2.95Hz、15cmで2.72Hzとなった。これら固有振動数を基に、十分な応答加速度が得られるように調和振動の振動数を決定した。調和振動では、図3に示すように、振幅を段階的に増加させ、振動により屋根雪を破断させた。そのときの状況をビデオカメラで撮影するとともに、振動台、試験体、および屋根雪に加速度計を取り付け、破断時の応答加速度を測定した。加速度のサンプリング周期は0.005秒である。

3. 実験結果

3.1 振動による屋根雪の破断モード

フッ素塗装鋼板およびつや消し塗装鋼板における屋根雪の破断状況を表2に示す。表のように、フッ素1辺固定をみると、積雪5cmの場合は、拘束辺の雪が切断され、その雪が屋根葺材上を滑動した。積雪10cmの場合は、拘束されている屋根雪と滑動している屋根雪が衝突し、全体が粉砕した。これらに対し、積雪15cmの場合は、ワイヤラス上部の雪が層破断し、屋根葺材上を滑動した。このように、積雪深の違いにより破断モードが変化する傾向がある。2辺拘束および3辺拘束の場合をみると、1辺拘束と同様に、積雪5cm、10cmでは、拘束辺の雪

表2 屋根雪の破断状況

屋根葺材	積雪深	屋根雪の拘束状態				はぜ
		1辺拘束	2辺拘束	3辺拘束	はぜ	
フッ素	5cm					/
	10cm					
	15cm					
つや消し	5cm					・破断なし
	10cm					・はぜより上部の雪が細かく破断
	15cm					・はぜより上部の雪が細かく破断

が振動により切断された後に屋根葺材上を滑動し、積雪 15cm では、ワイヤラス上部の雪が層破断する傾向がみられた。また、つや消しの場合をみると、前述のフッ素と同様の傾向を示した。

これらに対し、はぜの場合をみると、積雪 5cm の場合は破断が生じなかった。積雪 10cm では、はぜ間で小さな滑動が生じ、その衝撃により雪全体が粉碎した。積雪 15cm の場合においても前述と同様の傾向を示した。

このように、屋根雪滑動の拘束度を変化させることにより、振動による屋根雪の破断モードが大きく変化することが明らかとなった。

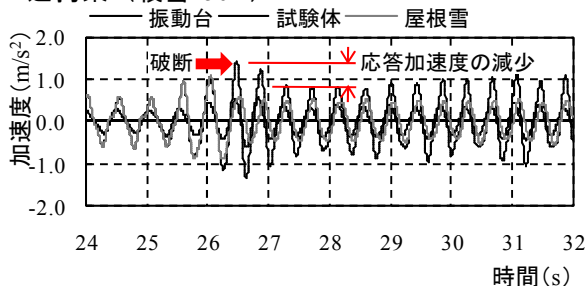
3.2 屋根雪破断時の応答加速度

つや消し塗装鋼板 2 辺拘束および 3 辺拘束の積雪 15cm を例に、測定した加速度の時刻歴を図 3 に示す。図のように、2 辺拘束の場合は 1.3m/s^2 、3 辺拘束の場合は 1.4m/s^2 程度の応答加速度に達したときに屋根雪が破断し、屋根雪の応答加速度が急激に低下している。破断後は、試験体と屋根雪の位相差がほぼ 90° となり、試験体の応答加速度は破断前より減少しており、2 辺拘束で顕著な傾向がみられる。

次に、屋根雪の拘束辺数と破断時の応答加速度との関係を図 4 に示す。図のように、フッ素の場合をみると、概ね拘束辺数の増加に伴い破断時の応答加速度が増加する関係を示す。積雪深別にみると、5cm に比べて 15cm の応答加速度が小さい傾向を示す。

このように、屋根雪滑動の拘束度の増加に伴い屋根雪の破断に必要な応答加速度が増加する

2 辺拘束 (積雪 15cm)



3 辺拘束 (積雪 15cm)

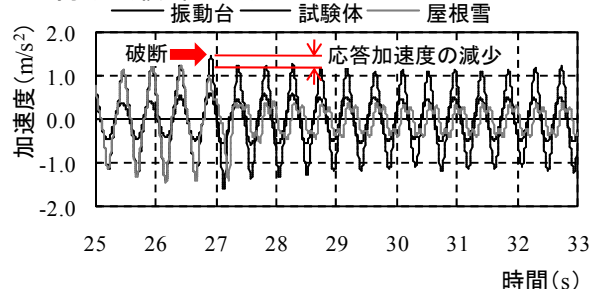


図3 試験体および屋根雪の時刻歴応答

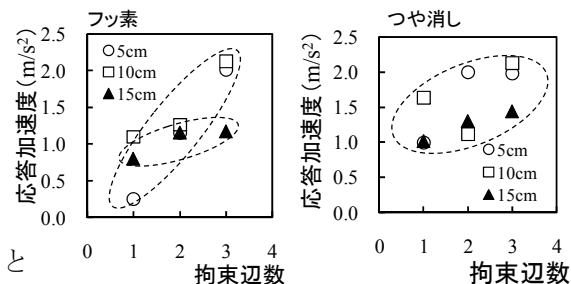


図4 拘束辺数と破断時の応答加速度との関係

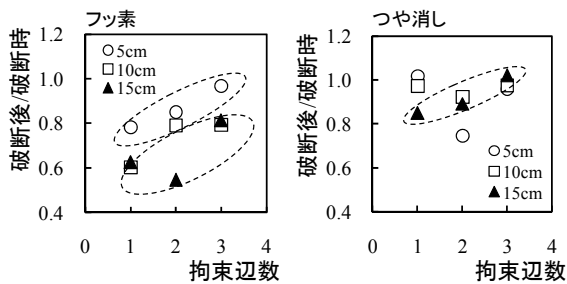


図5 拘束辺数と破断後の応答加速度との関係

ともに、積雪深が大きいほど、すなわち、雪荷重が大きいほど破断に必要な応答加速度が小さくなる。つや消しの場合をみると、概ね前述と同様の傾向を示すものの、積雪深の影響はフッ素ほど明瞭ではない。次に、屋根雪の拘束辺数と破断時の応答加速度に対する破断後の応答加速度の割合（破断後/破断時）との関係を

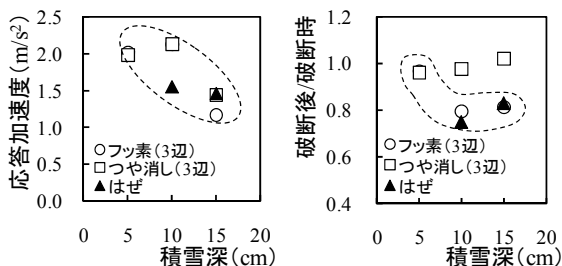


図6 積雪深と応答加速度との関係 5 に

示す。図のように、フッ素の場合をみると、拘束辺数の増加に伴い破断後/破断時が増加する関係を示す。積雪深別にみると、積雪深が多いほど破断後/破断時が小さい傾向を示す。つや消しの場合をみると、積雪深 15cm の条件では、前述と同様の傾向を示すものの、5cm、10cm の条件では、バラツキがみられる。このように、屋根雪滑動の拘束度および積雪深は、屋根雪破断後の滑動状況に有意な影響を及ぼすことが認められ、その傾向はフッ素で顕著となった。

次に、はぜにおける破断時の応答加速度と破断後/破断時を 3 辺拘束と比較した結果を図 6 に示す。図のように、はぜにおける破断時の応答加速度は、積雪深の増加に伴い減少する傾向を示し、フッ素およびつや消しと同様の減少傾向である。これに対し、破断後/破断時をみると、積雪深増加に伴う破断後/破断時の減少傾向は、フッ素と同程度であり、つや消しの場合は、積雪深の増加に伴う破断後/破断時の減少傾向が確認されない。このように、はぜにより屋根雪の滑動が拘束された場合においても振動により屋根雪が破断し、構造体の応答性状に影響を及ぼすことが明らかとなった。

4. まとめ

本研究では、振動による屋根雪の動的挙動が構造体の応答性状に及ぼす影響を検討するため、基礎的な振動実験を行った。その結果、振動により屋根雪が破断する状況や破断後の応答性状は、屋根雪滑動の拘束度および積雪深が影響を及ぼすことが明らかとなった。今後は、ランダム加振した場合や勾配屋根の場合を検討すると共に各種影響量を定量的に把握・評価し、積雪地域住宅の地震応答シミュレーションへと発展させる予定である。なお、本研究は、北海道立北方建築総合研究所の植松武是博士に多大なる協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 新潟県防災局：豪雪・融雪に関する情報，<http://bosai.pref.niigata.jp/content/gousetsu/>
- 2) 石川県危機管理対策課：平成 19 年能登半島地震に関する被害の状況，<http://www.bousai.pref.ishikawa.jp/top.asp>
- 3) 気象業務支援センター編：気象庁平年値，CD-ROM
- 4) 千葉隆弘，他 3 名：屋根雪の振動が木造住宅の地震応答に及ぼす影響，寒地技術論文・報告集，Vol.22，pp.314-318，2006.11
- 5) 苫米地司，伊東敏幸，高倉政寛，山口英治：屋根雪の降雪現象に関する基礎的研究，日本雪工学会誌，Vol.11，No.2，pp.2-9，1995.4