

振動による屋根雪の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3 屋根雪のすべり面の違いが構造体の応答性状に及ぼす影響

千葉隆弘，苫米地司（北海道工業大学），高橋徹（千葉大学大学院工学研究科）

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するとともに、多数の土砂崩れが発生し、甚大な被害が発生した¹⁾。新潟県中越地方は積雪深が平年で2mにも及ぶ地域が含まれており、降雪期前に完了させるように震災復興が急ピッチで進められた。しかし、年明けの2005年1月からの断続的な降雪により18年ぶりの豪雪となり、267棟の木造住宅が倒壊し、これらのうち、77%は先に発生した地震で被害を受けたものであった²⁾。このような新潟県中越地方で発生した自然災害をみると、地震と豪雪との複合災害の様相を呈しており、地震と雪とを複合的に捉えた災害対策が望まれるようになった。

建築基準法施行令第46条に示されている在来軸組構法の耐震規定をみると、屋根重量の増加に伴い住宅に作用する地震力が増加するため、屋根重量に対応した壁量が規定されている。しかし、屋根重量に加える雪荷重は考慮されていないのが現状である。一方、積雪期の地震により屋根雪が破断・滑動するとこによって構造体の応答性状が大きく変化することが考えられるが、このような屋根雪の動的挙動を考慮した耐震性の評価方法は検討されていない。

このような背景から本研究では、前年度に引き続き、屋根雪の動的挙動と構造体の応答性状との関係を明らかにすることを目的に、基礎的な振動実験を行った。前年度の実験で得られた振動による屋根雪の破壊形態を整理するとともに、この破壊形態を考慮した振動実験を行い、屋根雪の滑動とすべり面の違いが構造体の応答性状に及ぼす影響を検討した。

2. 既往の実験で得られた屋根雪の破壊形態

前年度の実験³⁾では、図1に示すように、大きさ900mm×900mmの屋根に鋼製の柱を取り付けた1階建て無落雪屋根を想定した試験体を対象に、振動による屋根雪の破壊形態を観察した。屋根葺材は積雪地域で一般的に使用されている塗装鋼板とし、屋根雪には自然雪を用いた。屋根雪の深さは5cm、10cm、および15cmである。屋根雪と屋根葺材とのすべり面については、屋根雪の滑動拘束度と破壊形態との関係を検討することを目的に、屋根面周囲の屋根雪が1辺、2辺、および3辺で凍着した状態を想定した。

さらに、塗装鋼板葺きの屋根に生じる「はぜ」と呼ばれる突起により全面の屋根雪の滑動が拘束された状態を想定した。

実験で得られた振動による屋根雪の破壊形態を表1に示す。表のように、1辺拘束の場合をみると、滑動する屋根雪と拘束された屋根雪との境界で引張破壊した事例や、拘束された屋根雪の水平面でせん断破壊した事例が確認でき、屋根雪の深さの増加に伴い水平面でせん断破壊した事例が増加する傾向を示す。次に、2辺拘束の場合をみると、拘束された屋根雪における鉛直面でのせん断破壊と水平

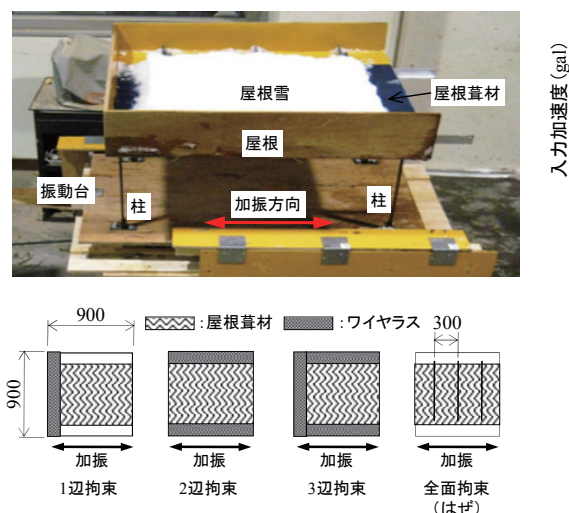


図1 前年度の実験状況

表 1 振動実験による屋根雪の破壊形態

破壊形態	5cm		10cm		15cm	
	【フッ素】 5cm	【つや消し】 5cm	【フッ素】 5cm	【つや消し】 5cm	【フッ素】 5cm	【つや消し】 5cm
引張破壊						
鉛直面のせん断破壊						
水平面のせん断破壊						

: 滑動する屋根雪 : 拘束された屋根雪

面でのせん断破壊が同時に発生する事例が確認でき、屋根雪の深さの増加に伴い、いずれの拘束辺においても水平面のせん断破壊が発生している。3 辺拘束および「はぜ」の場合をみると、水平面でのせん断破壊が発生した事例が大半を占めるようになる。このように、屋根雪の深さの増加に伴い、拘束された屋根雪の水平面でせん断破壊が発生する傾向が強くなることがわかる。

3. 実験方法

前述のように、屋根雪滑動の拘束度が変化した場合、振動による屋根雪の破壊形態は屋根雪の深さの増加に伴い、水平面でせん断破壊が発生する傾向が強くなる。このことから本実験では、図 2 に示すように、振動により屋根雪が滑動するすべり面を、屋根雪と屋根葺材との界面および屋根雪の水平面の 2 種類を対象とし、屋根雪の滑動が構造体の応答性状に及ぼす影響を検討した。使用した屋根葺材は、積雪地域で一般的に使用されているとともに、表面粗さの異なる 2 種類（フッ素塗装鋼板：表面粗さ $R_{zJIS}=4.2\mu m$ ，つや消し塗装鋼板：表面粗さ $R_{zJIS}=21.2\mu m$ ）とした。屋根雪は自然雪とし、屋根雪の重量を $0.3kN/m^2$ ， $0.5kN/m^2$ ，および $0.7kN/m^2$ とした。すべり面の雪質は、しまり雪とざらめ雪の 2 種類とした。なお、実験室の温度は、屋根雪が凍着しないとともに雪質が急激に変態しない条件とするため、 $5^{\circ}C$ 前後に確保した。

実験状況を写真 1 に示す。写真のように、前年度の実験と同様に、1 階建て無落雪屋根を想定した試験体を用いた。屋根の大きさは $350mm \times 550mm$ であり、アルミ製の柱を介して振動台に取り付けた。実験に使用した地震波は正弦波とし、振幅は試験体の応答加速度と振動台の加速度との比率（加速度応答倍率）が 2.0 程度になるように共振曲線から設定した。加振スケジ

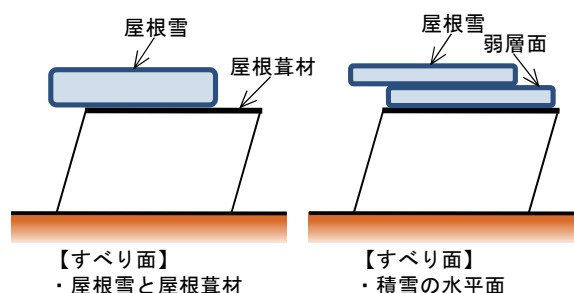


図 2 本実験で想定したすべり面

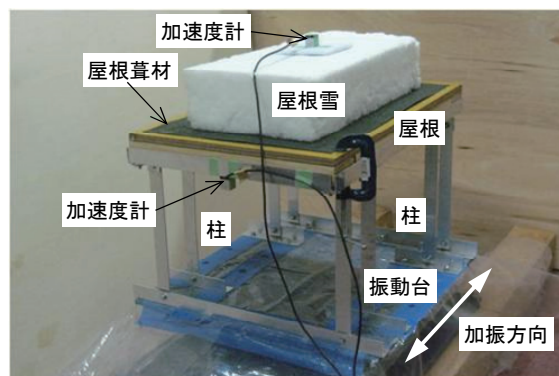


写真 1 実験状況

ジュールを図3に示す。図のように、自由振動加振により試験体の固有振動数を測定し、加速度応答倍率が2.0程度になる振動台の振動数を設定した。次に、振動台の変位を10mmとして調和加振し、終了するたびに変位を5mm増加させて再加振し、入力加速度を増加させた。なお、振動台の変位は30mmまでとした。これらの振動第、試験体、および屋根雪の動的挙動を加速度計（サンプリング周波数：200Hz）により測定した。ここで、図4に、屋根雪の重量と測定した固有振動数および加振振動数との関係を示す。図のように、屋根雪がない場合における試験体の固有振動数は6Hzであり、耐震性が確保された木造住宅の値に近似するようにしている⁴⁾。この固有振動数は屋根雪の重量の増加に伴い減少する関係を示し、一般的な単質点弾性応答モデルと同様の傾向を示している。試験体の減衰定数は約2%であったため、固有振動数の0.7倍で加速度応答倍率が約2.0となる。従って、加振振動数は、図中に示すように、重量増加に伴う固有振動数の減少に応じて設定した。

4. 実験結果

測定した入力加速度 a_0 が約 6.0m/s^2 の加速度時刻歴を図5に示す。図のように、フッ素塗装鋼板のしまり雪の場合をみると、試験体および屋根雪の応答加速度は規則的に推移しており、屋根雪の応答加速度をみると、等加速度運動をしている区間があり、振動時に屋根雪が滑動していることがわかる。このような屋根雪の滑動により、試験体から遅れて屋根雪が振動する傾向を示す。すべり面が屋根雪の水平面の場合においてもフッ素塗装鋼板と同様の傾向を示す。一方、つや消し塗装鋼板の場合をみると、屋根雪の応答加速度は規則的に推移する傾向を示すものの、試験体の応答加速度が不規則となる傾向を示し、屋根雪の重量 $W=0.3\text{kN/m}^2$ に比べて $W=0.5\text{kN/m}^2$ の方が顕著となる。このように、表面粗さの大きい屋根葺材では、試験体の応答加速度が不規則となる傾向を示し、屋根雪の重量が大きいほど顕著である。

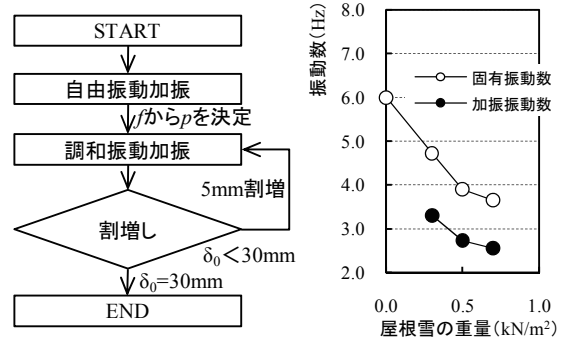


図3 加振条件 図4 測定した固有振動数

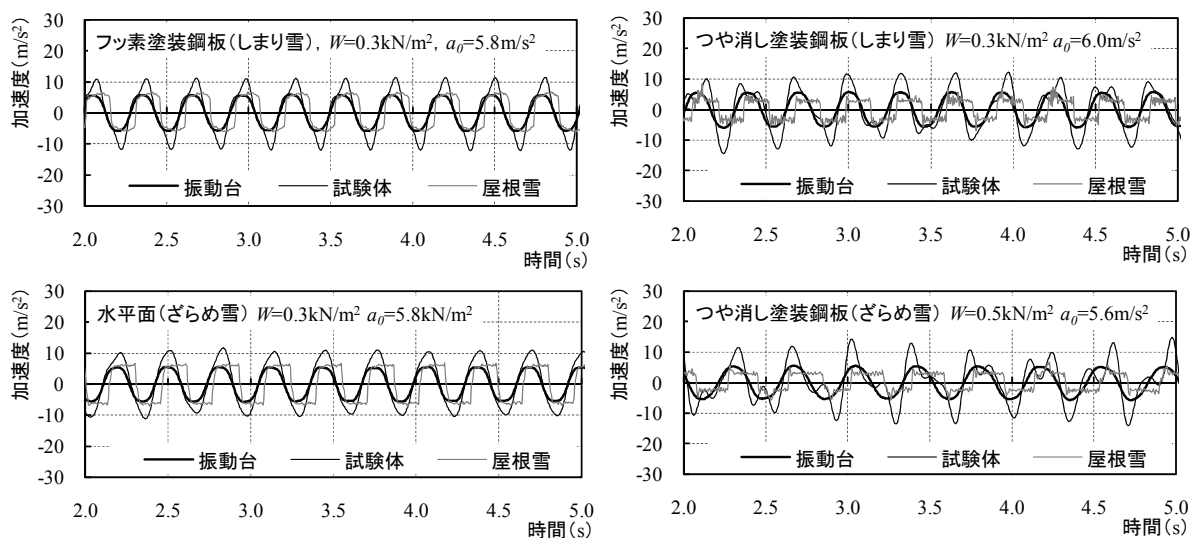


図5 実験で得られた加速度時刻歴

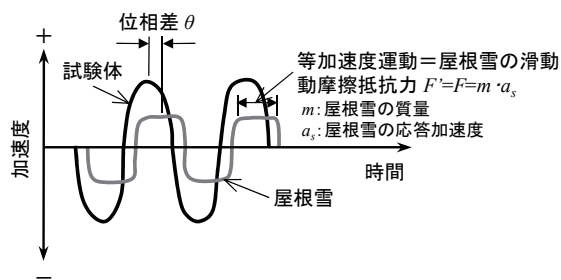


図6 動摩擦抵抗力 F' と位相差 θ

以上に示す試験体と屋根雪の動的挙動を図6に示すように、すべり面の動摩擦抵抗力 F' と試験体と屋根雪との位相差 θ で捉え、 F' が θ に及ぼす影響および θ が試験体の応答性状に及ぼす影響を検討した。図7に、動摩擦抵抗力 F' と位相差 θ との関係を示す。図のように、フッ素塗装鋼板および屋根雪の水平面の場合をみると、両者に明瞭な相関関係はみられない。これに対し、つや消し塗装鋼板をみると、ざらめ雪に比べてしまり雪の F' が大きくなる傾向を示し、 F' の増加に伴い θ が減少する関係がみられる。このように、表面粗さの大きい屋根葺材に対して動摩擦抵抗力が屋根雪の動的挙動に影響を及ぼしている。

次に、位相差 θ と試験体の応答加速度 a_m を入力加速度 a_0 で除した加速度応答倍率 a_m/a_0 との関係を図8に示す。図のように、 a_m/a_0 は θ の増加に伴い減少する関係を示し、 θ が 50° 以上になるといずれの条件においても a_m/a_0 が 2.0 を下回る傾向を示す。屋根雪が滑動せず試験体と一体で振動した場合の a_m/a_0 は 2.0 であることから、 θ が 50° 以上になると試験体の応答加速度が減少したことになる。これに対し、 θ が 50° 以下の場合をみると、つや消し塗装鋼板である事例が大半を占め、 a_m/a_0 の値が 2.0 を大きく上回る傾向を示す。このように、表面粗さの大きい屋根葺材で θ の値が減少すると、試験体の応答加速度は増幅することがわかる。

5. まとめ

本研究では、振動による屋根雪の動的挙動と構造体の応答性状との関係を明らかにすることを目的に、1 階建て無落雪屋根を想定した試験体を用いた基礎的な振動実験を行った。その結果、すべり面の表面粗さが小さく構造体と屋根雪が規則的に滑動した場合は位相差が大きくなり、構造体の応答加速度が減少することが明らかとなった。さらに、表面粗さが大きく位相差が小さい場合においては、構造体の応答加速度が増加することが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会編：2004 年 10 月 23 日新潟県中越地震災害調査報告，2006. 8
- 2) 新潟県危機管理防災課：雪による家屋等被害（建物滅失）状況，入手先〈<http://www.pref.niigata.lg.jp/kikitaaisaku/1199812567102.html>〉，2005. 6
- 3) 千葉隆弘，宗像真木彦，苫米地司，高橋徹：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－。北海道の雪氷。第26号，pp. 33-36，2007. 9
- 4) 綿引誠，町田健一，大橋好光，坂本功：実物大建物振動台実験に基づく木造軸組工法住宅の耐震性能に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第599号，pp. 103-110，2006. 1

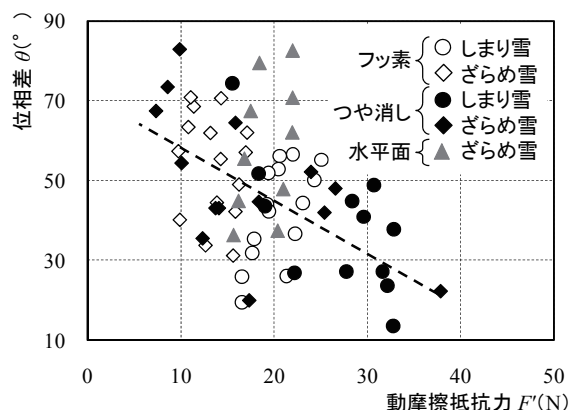


図7 動摩擦抵抗力 F' と位相差 θ との関係

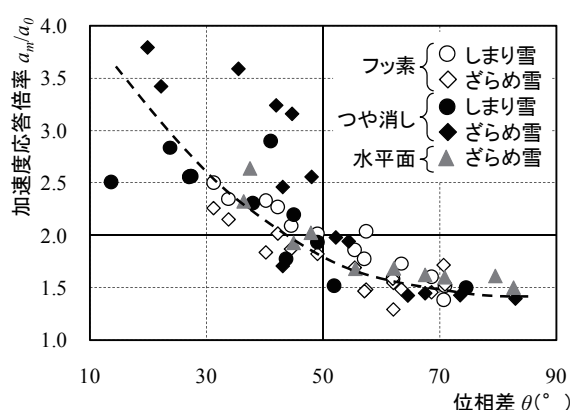


図8 位相差 θ との加速度応答倍率との関係