

積雪地域における木造住宅の耐震性について

○千葉隆弘 (北海道工業大学)

苔米地司 (北海道工業大学)

高橋徹 (千葉大学)

植松武是 (北海道立北方建築総合研究所)

1. はじめに

1995年1月に発生した阪神・淡路大震災では、多くの木造住宅が倒壊し、死者の8割は建築物倒壊等による圧死であった¹⁾。本震災における建物倒壊の要因としては、建築の年代が古く部材の老腐化が進んでいたこと、重量の重い粘土瓦屋根の住宅であったこと、1981年の新耐震基準制定以前の旧基準で建築された耐震上有効な壁量が少ない住宅であったこと等が挙げられている。

一方、近年発生した大きな地震のうち、2004年10月の新潟県中越地震による被害は極めて大きいものであった。死者は46名と阪神・淡路大震災に比べて少なかったものの、住宅の被害棟数は全壊で3,000棟を超えている。さらに、2004年12月からの断続的な降雪は19年ぶりの豪雪となり、249棟の住宅が積雪の重量に耐えきれず倒壊した。これら倒壊した住宅の77%は先に発生した地震によって全壊と判定されていた²⁾。すなわち、新潟県中越地方では、震災の復興が終了しないうちに豪雪が襲った、雪荷重と地震荷重による複合災害の様相を呈している。

本研究では、積雪地域における雪荷重が木造住宅の耐震性に及ぼす影響を明らかにすることを目的としている。雪荷重が作用している状態で地震力が作用した場合を想定する必要性や、その際に想定すべき積雪地域固有の条件等を整理した。さらに、震動解析を行い、雪荷重が木造住宅の震動特性に及ぼす影響を検討した。

2. 積雪地域における木造住宅の耐震性について

2.1 積雪期に発生した地震

本研究では、積雪地域における積雪期に発生した過去の地震を整理した。東京大学地震研究所のデータベース³⁾から、過去に発生したマグニチュード5以上の規模が大きい地震を抽出し、積雪期の地震が全体に占める割合を求めた。その結果を図1に示す。図のように、12月～3月を積雪期とした場合、M5以上の地震は、全体の30%に達する。積雪期に発生した地震を地域別で示すと、北海道、東北地方および北陸地方の積雪地域は、全体の約40%を占めている。このように積雪地域では、雪荷重が作用している状態で地震が発生することを想定し、対応策を早急に講じる必要がある。

2.2 旧基準で建築された木造住宅のストック

阪神・淡路大震災では、旧基準で建築された木造住宅の被害が多いことが報告されている。本研究では、積雪地域における旧基準で建築された木造住宅の割合を、平成15年(2003年)住宅・土地統計調査報告⁴⁾から調査した。調査の対象は、

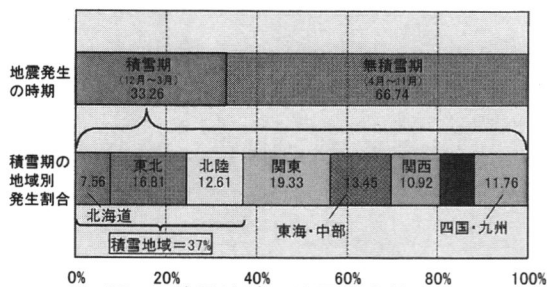


図1 積雪地域の地震発生状況

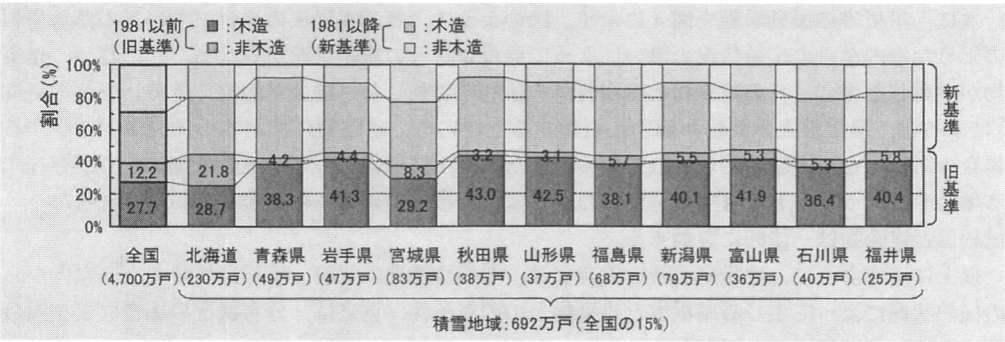


図2 積雪地域における旧基準で建築された木造住宅のストック

積雪地域である北海道、東北地方6県および北陸地方4県である。図2に示すように、2003年時点で全国の住宅は、4,700万戸ある。そのうち、旧基準で建築された木造・非木造住宅は全体の40%で、木造住宅のみでは全体の30%を占めている。このように、旧基準で建築された木造住宅は高い割合を示している。次に、道県別でみると、旧基準で建築された木造・非木造住宅は、宮城県を除いては40%を超え、全国比率よりも高い割合を示す。構造別でみると、札幌や仙台のような政令指定都市を含む北海道および宮城県で非木造の割合が高いものの、その他の県では大半が木造住宅で占められている。

以上に示すように、積雪地域において旧基準で建築された木造住宅の割合は、全国比率に比べて高い傾向があることから、積雪地域における木造住宅の耐震化に対する要求は高いと考えられる。

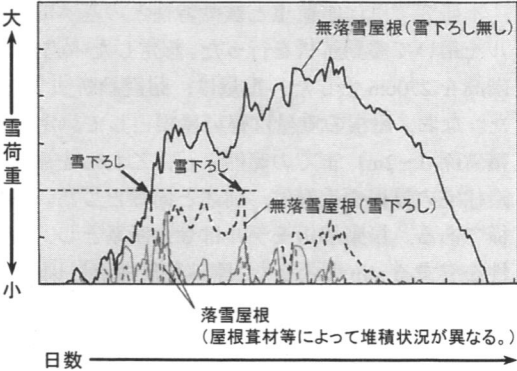


図3 雪荷重の推移

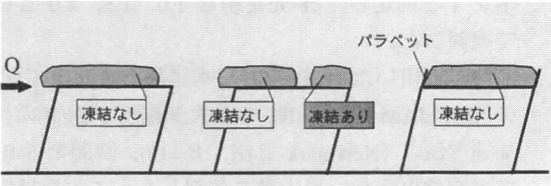


図4 陸屋根での振動挙動

3. 屋根雪の堆積状況と木造住宅の振動特性

前述のように、積雪地域の木造住宅では、積雪期の地震発生を想定する必要がある、雪荷重が木造住宅の震動特性に及ぼす影響を考慮する必要がある。このことから、屋根雪処理に応じた雪荷重の大きさを検討しておく必要がある。

積雪地域における木造住宅の雪荷重の推移は、図3に示すように、屋根雪処理の状況によって異なる。無落雪屋根の場合は、地上の積雪荷重と同様に推移する。しかし、無落雪屋根の場合においても、雪下ろしを行う場合は、そのたびに雪荷重がゼロとなり、再び雪荷重が増加するという推移を示す。一方、勾配屋根の場合をみると、屋根葺材に塗装鋼板のような雪が滑りやすいものを用いた場合は、屋根で滑雪が発生する。このため、雪荷重は、「堆雪→滑雪」を頻繁に繰り返す推移となる。このように、積雪期の地震荷重と雪荷重との複合的に検討するためには、木造住宅の屋根形状や屋根雪処理の状況を考慮する必要がある。

次に、屋根雪の振動挙動を図4に示す。図のように、無落雪屋根の場合においても落雪屋根のような室内からの伝熱状況の違いによって屋根葺材との凍結状況が異なる。このため、建築物が震動した場合、その建築物と屋根雪が一体的に震動しない場合が想定できる。既往の研究⁵⁾によると、屋根雪と建築物が個別に振動するときには、建築物に作用する加速度が減少する場合のあることも実験的に示されている。また、図中に示すように、凍結状況にむらが存在する場合や、パラペットを有する建築物の場合は、屋根雪が建築物に固着している状況となり、屋根雪と建築物は一体的に震動する。

以上に示すように、地震発生時の雪荷重は、屋根雪処理の状況、屋根形状、および室内からの伝熱状況によって生じる屋根雪と建築物との固着条件、更には、分布状況の影響などを複合的に考慮して評価する必要がある。

4. 雪荷重と木造住宅の振動特性

本研究では、雪荷重と震動特性との基本的な関係を把握するため、簡単な多質点弾塑性モデルを用いて震動解析を行った。想定した木造住宅は、間口6.75m×奥行き13.5mの層2階とし、階高を270cmとした。重量は、耐震診断法⁶⁾に示されている住宅の床均し荷重を用いて算定した。なお、屋根の重量は軽い屋根として算定した。雪荷重は、0から6,000N/m² (多雪区域では積雪深0~2m) までの範囲とし、これらを屋根の重量に加算して壁量を算定した。想定した木造住宅の規模や重量は、前述と同様とした。屋根の重量に加算する雪荷重についても前述と同様である。振動解析モデルはせん断系とし、復元力は図5に示すモデルで、1次剛性と2次剛性を有するslip型とした。剛性の反曲点は図中に示す通り壁倍率1の場合を想定した⁶⁾。また、本解析では、雪荷重ゼロ時の剛性で固定し、雪荷重のみを増加させた場合の震動特性を検討することを目的としている。さらに、既往の研究によると、既存住宅における壁量の充足率は、1Fに比べて2Fが大きい傾向があることが示されている⁸⁾。このことから本解析では、1F充足率を1と固定し、2F充足率を1.0, 1.5, 2.0とした上下階の剛性分布が異なる3ケースについて検討した。

解析に用いた地震波は、日本建築センターで配布しているEL CentroのNS、八戸のNS、TAFTのEW、JAM神戸のNSを最大加速度300galの振幅に変換したものを使用した。解析は、線形加速度法⁷⁾ (Newmark- β 法, $\beta=1/6$, 時間刻み0.01s) とし、各地震波で求められた各階の最大応答変位のうち、最大値を整理した。これら地震波の加速度応答スペクトルは図6に示す通りで、いずれの地震波においても0.5s以下の短周期側に大きな応答の山を有し、八戸のみ1.0sを超える長周期側に応答の山がみられる。なお、最大変位の標準偏差は $\pm 1\sim 3$ cmの範囲が中心で、極端に変位が大きい場合は ± 5 cm程度となった。これら最大応答変位の最大値は、基準変位(1/120rad時の変位)に対する比率で示した。

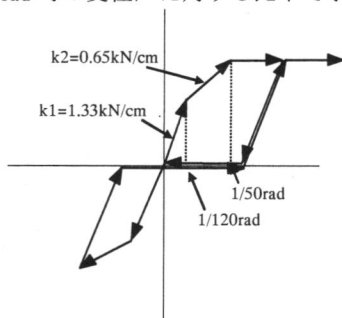


図5 復元力特性

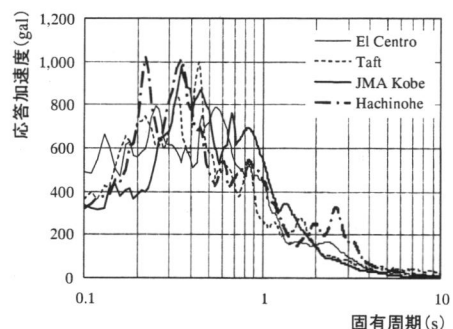


図6 用いた地震波の応答スペクトル

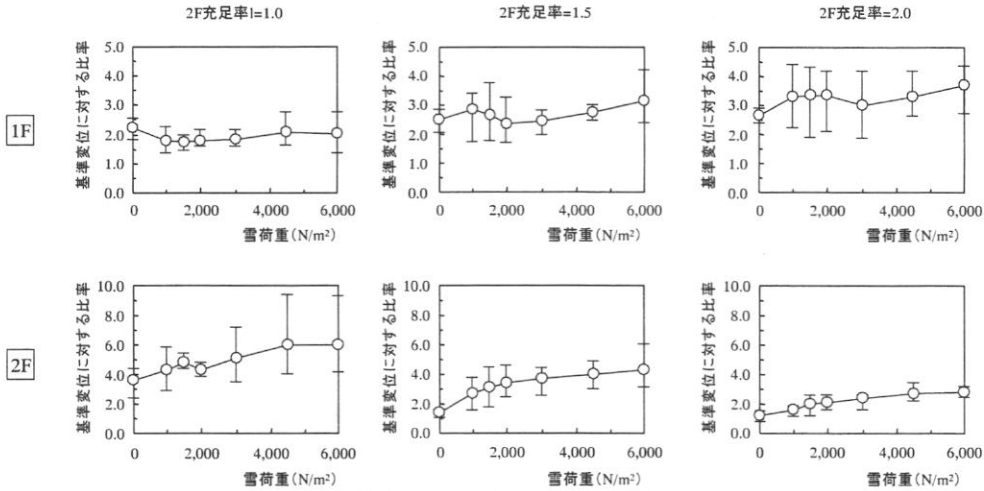


図7 雪荷重と基準変位に対する比率との関係

雪荷重と基準変位に対する比率との関係を図7に示す。1Fの基準変位に対する比率は、いずれの2F充足率においても雪荷重の増加に関係なく、ほぼ一定の値で推移している。2F充足率と基準変位に対する比率との関係は、2F充足率の増加に伴い1F変位が増加する関係を示す。このように、1Fの変位は、雪荷重の影響が小さく、上下階の剛性分布による影響が強い。一方、2Fの基準変位に対する比率は、2F充足率1.0において雪荷重の増加に伴い増加する関係を示す。この関係は前述した雪荷重と壁量との関係と同様である。これに対し、2F充足率1.5、2.0の場合は、雪荷重1,000N/m²まで比率が増加する傾向があるものの、雪荷重がそれ以上になると、変位がほぼ一定で推移する。以上に示すように、上下階の剛性分布により雪荷重が最大変位に及ぼす影響が異なる傾向がある。

5. まとめ

本研究では、積雪地域における雪荷重が木造住宅の振動特性に及ぼす影響を明らかにするとことを目的に、雪荷重が作用している状態で地震力が作用した場合を想定する必要性や、その際に想定すべき積雪地域固有の条件等を整理した。さらに、振動解析を行い、雪荷重が木造住宅の振動特性に及ぼす影響を検討した。

総2階建て木造住宅の場合で、屋根雪と建築物が一体的に振動するときを想定した地震応答解析の結果、上下階における剛性分布の違いにより、雪荷重が最大応答変位に及ぼす影響が異なることが明らかとなった。今後は、屋根雪と住宅が固着していない条件での実験的検討や解析を行う予定である。また、本解析は各ケースの相対的な比較であるため、1次固有周期や適切な復元力特性（雑壁）など実際の住宅における振動挙動を考慮することが課題である。

【参考文献】

- 1) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編：阪神・淡路大震災調査報告 総集編，2000
- 2) 新潟県防災局：豪雪・融雪に関する情報，<http://bosai.pref.niigata.jp/content/gousetsu/>
- 3) 東京大学地震研究所：「日本付近のおもな被害地震年代表」データベース，<http://saigai.eri.u-tokyo.ac.jp/rikaDB/>
- 4) 日本統計協会編：平成15年度住宅・土地調査報告(全国編)，2004
- 5) Tsutomu Nakamura, Yasuaki Nohguchi, Toshiichi Kobayashi, Yutaka Yamada, Keiichi Ohtani, and Seitaro Takada: The reduction of earthquake energies on buildings by snow on their roofs, Snow Engineering, pp.193-200, 1997
- 6) 国土交通省住宅局建築指導課監修：木造住宅の耐震診断と補強方法，日本建築防災協会，2004.7
- 7) 柴田明徳：最新耐震構造解析，森北出版，pp.97-112，2003.5