

(50) 雪荷重を考慮した木構造物の耐震安全性

金沢大学工学部 正員 ○北浦 勝
日本ピー・エス・コンクリート 中垣内 優治

1. まえがき 山陰、北陸、東北地方などの日本海側は今冬18年ぶりの豪雪に襲われ、多大の被害に見舞われた。金沢などの都市部においても積雪深は150~200 cmに近く、少し山間部に入ると積雪深は軽く4 mを越えていた。雪の比重は降雪後の経過日数や場所などによって大きく異なるが、今冬は地表近くの気温が未だ下り切っていない12月下旬から1月中旬にかけて降雪があったので、金沢大学工学部構内で測定した雪の全層比重は0.36以上となっていた。従って150 cmの積雪深であれば、1 m²当り540 kgの雪荷重が構造物に作用していたことになる。

ところで豪雪地域においては地震は少ないと言われているが、比較的最近においてもこれまでに福井地震(1948, M7.3)、新潟地震(1948, M7.5)といった大規模地震が発生している。今冬福井市では積雪深1 m以上の日が2ヶ月余続いた。このように積雪は数ヶ月継続するので、積雪期間中に被害地震の襲う確率は無視しえないものと考えられるし、現に比較的近年においても1927年3月の北丹後地震や1961年2月の新潟県長岡附近の地震は積雪時に発生し、大きな惨状がもたらされたと資料に記されている。積雪時の構造物は無積雪時のそれよりも耐震的に不利な条件にある。このような観点から本研究は、雪荷重に対する安全性が最も厳しいと考えられる木構造

を取り上げ、雪荷重が木造構造物の耐震安全性に及ぼす影響を、実験と理論の両面から明らかにしようとしたものである。



写真-1 工学部車庫A全景

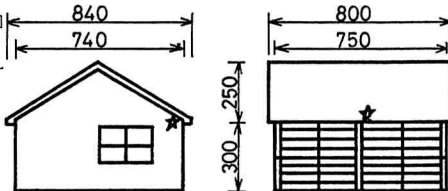


写真-2 白峰村小屋全景

2. 木造家屋の自由振動実験と水平加力実験

積雪時と無積雪時の木造家屋の固有周期 T (秒)、減衰定数 h

(%)、および水平方向の荷重-変位曲線(復元力曲線)を得るために、金沢大学工学部構内にある車庫A(写真-1

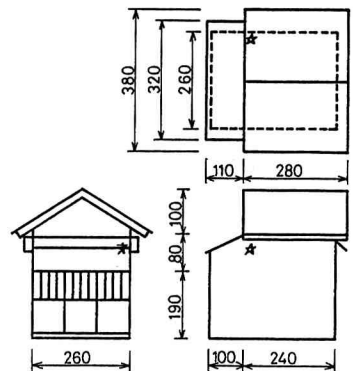


☆印は加速度計の取り付け位置 単位: cm

図-1 工学部車庫A

, 車庫B、石川県白峰村風嵐

地区にある消防団の小屋(写真-2, 図-2)を使用した。いずれも木造の1階建てであり、かつ建設後数十年を経ている。車庫Bは車庫



☆印は加速度計の取り付け位置 単位: cm

図-2 白峰村小屋

Aの隣りにあり、両者はほぼ同様の規模である。自由振動実験においてはまたる柱を数人で衝撃的に強く押しした。結果も表-1に示す積雪時には車庫B、小屋

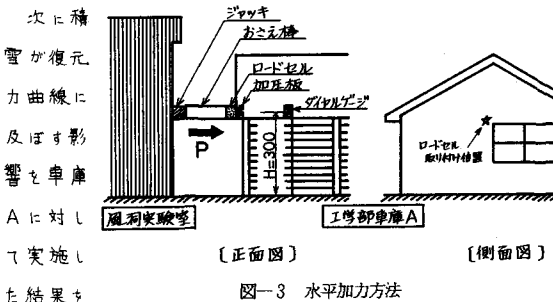
表-1 無積雪時と積雪時のT(秒)とh

	車庫A(30cm積雪)		車庫B(40cm積雪)		小屋(130cm積雪)	
	T	h	T	h	T	h
無積雪時(O)	0.52	0.057	0.27	0.027	0.61	0.056
積雪時(S)	0.50	0.061	0.30	0.024	0.72	0.049
S/O	0.96	1.07	1.11	0.89	1.18	0.88
S/O(理論)	1.13	0.88	1.17	0.85	1.55	0.65

ともに固有周期Tは延び、減衰定数hは低下している。車庫Bでは積雪深が40cmであるので、T, hともに約1割の変化が見られる。小屋では130cmの積雪深があるにもかかわらずTにおいて18%の増, hにおいて12%の減が見られる程度である。他方車庫Aは30cmの積雪があるにもかかわらずTはほとんど変わらず、hは激増している。ここで、仮に建物が線形1自由度系に近似できるものとし、雪荷重による構造物への作用は重量のみが増加するものとする、積雪時と無積雪時の固有周期(T_s, T_o)の比、および減衰定数(h_s, h_o)の比は、次式で与えられる。

$$T_s / T_o = \sqrt{(W + \Delta W) / W} \quad , \quad h_s / h_o = \sqrt{W / (W + \Delta W)}$$

ここに、W: 建物の重量、 ΔW : 雪荷重による重量、を表わしている。Wとしては屋根および天井の重量とした。その結果車庫では $W = 6$ t、小屋では1.32tを得た。また ΔW は、車庫Aでは1.69t、車庫Bでは2.25t、小屋では1.84tであった。これらの値を上式に代入した結果を表-1に示した。表から車庫Bについては実験値と理論値がほぼ一致しているとみせるが、小屋については両者がかけ離れており、実験結果も雪荷重による重量増加のみでは説明できない。また車庫Aも雪荷重も重量増加のみでとらえることができないことを示している。このことには、雪荷重が建物に作用したことによって、柱とはりの接続部などがしっかりと接続され、無積雪時よりも剛な架構が構成されるようになることなども関係しているのではないかと考えられる。なお従来の実験結果によれば、一般に重量の増加は減衰定数には変化を及ぼさないとされているが、ここで対象とした雪と木構造のような組み合わせにおいてはやはり減衰定数の変化を考えねばならないことが明らかとなった。



次に積雪が復元力曲線に及ぼす影響を車庫Aに対して実施した結果も

図-4に示す。加力方法は図3のようであり、鉄筋コンクリート造の風洞実験室を反力壁とみなし、車庫Aとの間にロードセル、ジャッキなどを取り付けて、車庫Aを図の右側方向に2回ずつ加力した。なおこの実験では、家屋に損傷を与えることすら許されていないので、荷重Pや地表面からの高さmの建物変位 x (mm)は建物の終局値に比べてかなり小さくなっている。積雪時の荷重が小さ過ぎたために、無積雪時の結果と単純に比較できないが、積雪時の曲線の傾きが無積雪時のそれよりも大きくなっていることは注目される。このことは変位が小さい範囲では言わゆるP- δ 効果がほとんど現われないこと、前述したように雪荷重は架構を剛にすること、落下した屋根雪が建物の壁に沿って高く積まれた状態になり、建物の変位を抑えること、などによるものと考えられる。

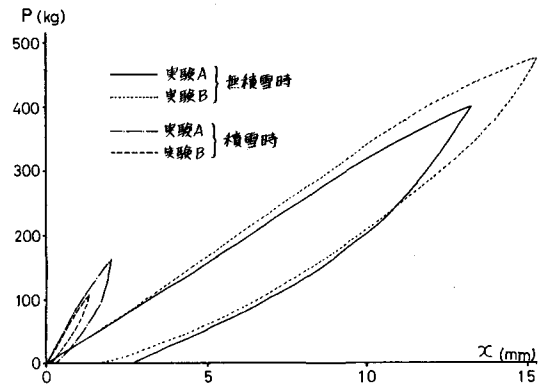


図-4 復元力曲線

車庫実験では大変形時の復元力特性も求められなかったので、図-5に示すような模型の木造家屋に、図-6

に示すような方法で静的な水平力を加えた。図-7に、得られた復元力曲線も示す。屋根の重量Wは3.3kgであるが、屋根と同程度の荷重をさらに加えても、曲線全体としてはほとんど変化が見られない。

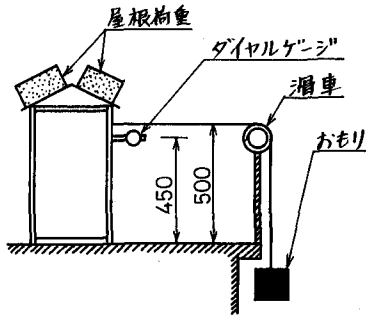


図-6 水平加力方法

ただし変位の小さい領域では曲線の傾きがやや大きくなっており、実建物の復元力特性とよい対応を示している(図-4参照)。さらに上載荷重が大きくなって、屋根荷重の4倍、9倍となると、上載荷重のない場合とは明らかに差が現れており、曲線の傾きは全体として小さくなっている。このことにはP-δ効果が反映されているのであろうと考えられる。以上の模型実験の結果から推測すると、車庫実験時の積雪程度では変位がかなり大きくなさない限りP-δ効果による復元力特性の劣化は現れないものと思われる。

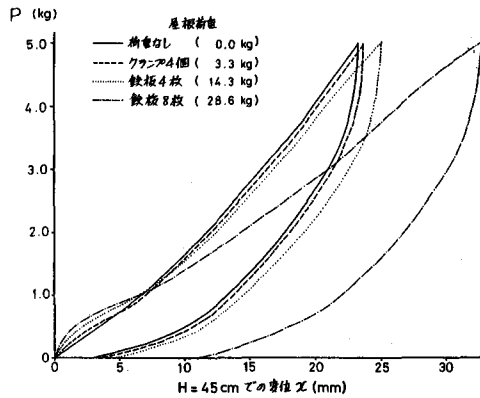


図-7 模型家屋の復元力曲線

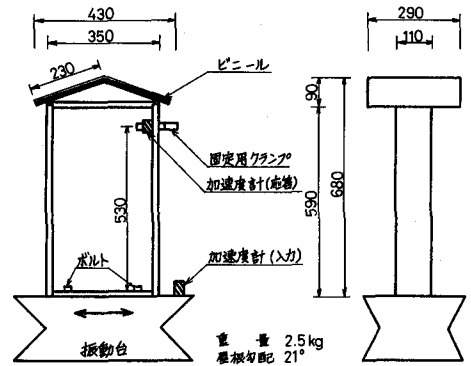
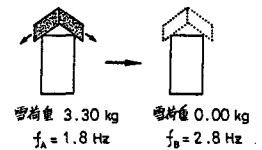
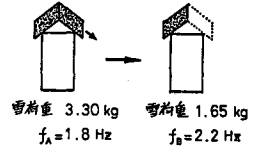


図-5 木造模型家屋



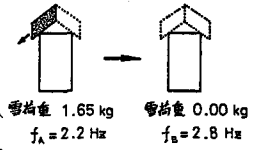
Case 1

屋根全体に雪があり、両側の雪が同時に落下する場合



Case 2

屋根全体に雪があり、片側の雪だけが落下する場合



Case 3

屋根の片面にだけ雪があり、それが落下する場合

図-9 屋根雪の落下

3. 振動中の屋根雪落下が木構造物の地震応答に及ぼす影響

図-5に示すような振動台上に設置された模型家屋を正弦波で加振し、得られた共振曲線を図-8に示す。屋根に雪のない場合、雪が屋根重量(3.3kg)の半しか積っている場合、屋根重量と同重量積っている場合、の3通りについて実験をした結果それぞれの共振振動数として、2.8 Hz, 2.2 Hz, 1.8 Hzを得た。

この結果も考慮に入れて、図-9に示すような3ケースの実験を行なった。図中の f_A , f_B はそれぞれ屋根雪落下前、落下後の固有振動数を表わしている。本模型の屋根雪は振動外力を受けると直ちに落下するので屋根の端に雪止めを付け、一定の加速度(200 gal)に達してから、雪止めをはずし、雪が落下できるようにした。また各ケースごとに加振振動数 f として、① $f < f_A$, ② $f = f_B$, ③ $f_A < f < f_B$, ④ $f = f_A$, ⑤ $f > f_B$ の5通りを選んだ。図-10に各ケースごとの屋根雪の落下時における応答加速度の包絡線の時間的変化を示す。屋根雪は時間 $t = 0$ (秒)において落下している。雪が落下

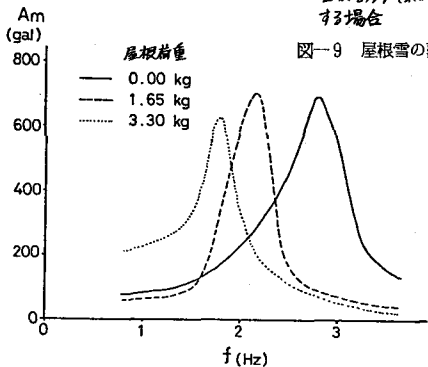
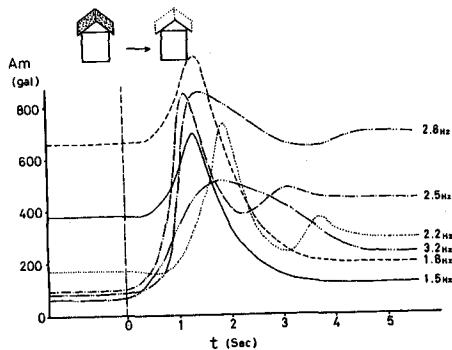
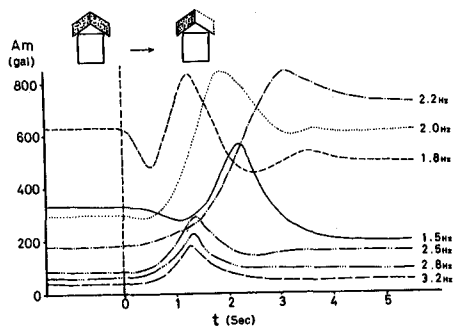


図-8 共振曲線



(a) case 1



(b) case 2

すると、落下前あるいは落下後の定常状態における応答よりも大きくなっている。特に落下後に共振状態となる場合は継続時間は短いものの、構造物にとってかなり危険な状態となることかわかった。

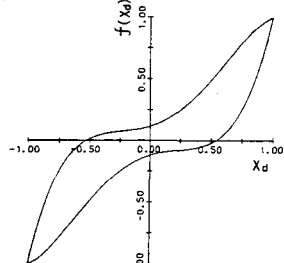


図-11 固有履歴ループ

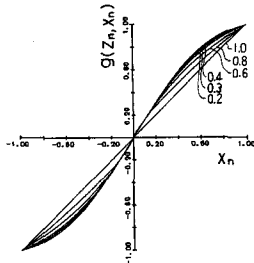
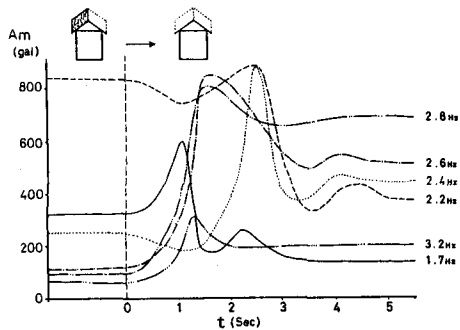
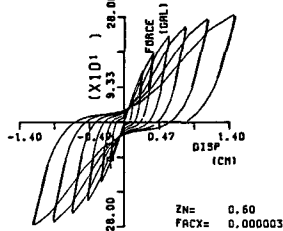


図-12 最大点曲線

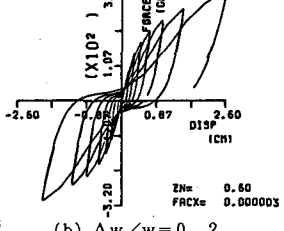


(c) case 3

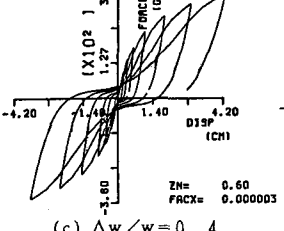
図-10 雪荷重の落下と応答



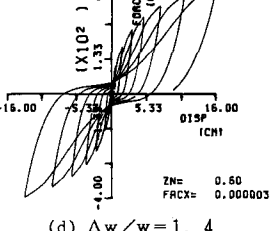
(a) $\Delta w/w = 0.0$



(b) $\Delta w/w = 0.2$



(c) $\Delta w/w = 0.4$



(d) $\Delta w/w = 1.4$

図-13 振幅増増調和波に対する応答

4. 木構造物の地震応答

前節の実験より得られた復元力曲線を、図-11のような固有履歴ループと図-12のような最大点曲線の種として表現するとともに、さらに劣化による影響も取り入れて復元力の制御法を開発した。図-13(d)は、このような復元力特性を有し、線形時の固有周期 T_0 が0.3秒、減衰定数 h_0 が5%の1自由度系に、振幅の漸増する調和波を入力させた場合の復元力を示している。入力の周期は0.3秒、振幅は最大300galである。同図(b)以下は、雪荷重による重量と系の重量の比 $\Delta w/w$ によって、固有周期 T_s と減衰定数 h_s が式(1)のように変化している系の応答を表わしている。 $\Delta w/w$ が1.4となると無積震時に比較して応答変位が10倍以上となるが、応答加速度は1.4倍にしかならない。また $\Delta w/w$ が1前後になると応答変位が急増することもわかる。

雪荷重が偏荷重として作用すると、構造物にとっては非常に不利となる場合がある。また雪荷重は柱の軸力を増加させ、柱軸方向の歪を生じさせる。このような現象も取り入れて今後研究を進める予定である。

最後に本実験実施に当たって全般的に協力していただいた当研究室の職員、学生の諸氏、ならびに図面作成などに助力していただきました池本敏和技官に謝意を表わします。