

道路構造物からの落水雪を想定した衝撃荷重の計測

Measurement of the impact load that assumed the snow fall from a road structure

上田真代*, 松下拓樹**, 松澤勝*

Masayo Ueda, Hiroki Matsushita, Masaru Matsuzawa

* (独) 土木研究所 寒地土木研究所, 雪氷チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

** (独) 土木研究所 雪崩・地すべり研究センター (〒944-0051 新潟県妙高市錦町2丁目6番8号)

Key Words : (Snow and ice falling, Impact load, road structure, Fall impact test of the snow lump)

キーワード: 落水雪, 衝撃荷重, 道路構造物, 雪塊の落下衝撃試験

1. はじめに

道路案内標識等の道路施設や構造物に積もった雪が落下すると、走行車両の破損だけでなく、運転手の視界を遮り事故を誘発する恐れがある。

自動車に使用するフロントガラスについては、日本工業規格 (JIS R3212, 1998) において耐衝撃性試験が規定されているが、これは小さな硬い飛来物に対して最低限必要な強度があるかを調べることを目的としており、落雪による衝撃は想定されていない。板ガラスに対する衝撃強度は、加撃物の材質、重量、衝撃速度、接触面形状により複雑に影響を受ける。また、全ての落雪が被害を生じさせる訳ではなく、降雪直後の小さな雪塊が落下しても被害を生じさせない可能性が高い。これらのことから、落雪による被害発生の可能性を推定するためには、落雪の衝撃荷重を把握することが重要となる。

落雪の衝撃荷重の計測については、屋根などからの落雪を想定した密度が大きいしまり雪や氷化させた雪の事例^{1) 2) 3)}は存在するが、比較的密度の小さな雪についての事例⁴⁾は少ない。そこで、密度や硬度の小さな雪を含む様々な雪質条件の自然積雪を用い、道路案内標識等の道路施設からの落雪を想定して衝撃荷重の計測を行った。また、本試験の結果に基づき、衝撃荷重の推定方法について検討を行ったので、ここに報告するものである。

2. 試験概要

札幌市南区定山溪に位置する定山溪ダム流木処理場において、2012年1月上旬(1日)、3月上旬(3日)、および2013年2月中旬(2日)、3月上旬～中旬(3日)の計9日、雪塊の落下衝撃試験を実施した。

雪塊の落下による衝撃荷重の測定は、自然積雪から一

辺10～30cmの立方体の雪塊を切り出し、高さ1～6mから自由落下させ、コンクリートの地面に水平に設置した受圧装置に衝突させて行った(図-1)。

受圧装置は自動車のフロントガラスに雪塊が衝突した場合を想定し、雪塊よりも大きいもの(900mm×900mm)を使用した。実験に使用した受圧装置は、2枚の鉄板(厚さ9mm)の間に3台のロードセル(LCN-A1KNまたはA5KN)を取り付けたものである。これら3台のロードセルによる測定値(サンプリング間隔0.05ms)の合計を衝撃力 F (N)とした。図-2に衝撃力の波形の一例を示す。この波形から得られた衝撃力の極大値 F_{max} (N)を雪塊が衝突した面積 A (m^2)で除した値を衝撃荷重 P (N/m^2)とした。

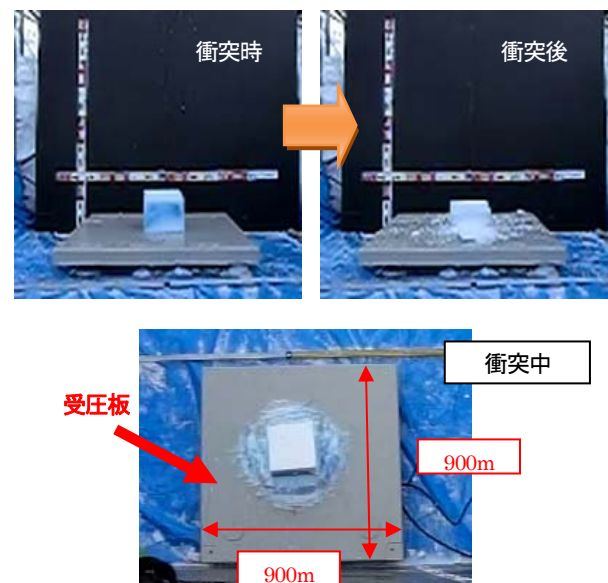


図-1 雪塊の衝突状況

20cm立方の雪塊を高さ3mから自由落下させた時の衝突状況

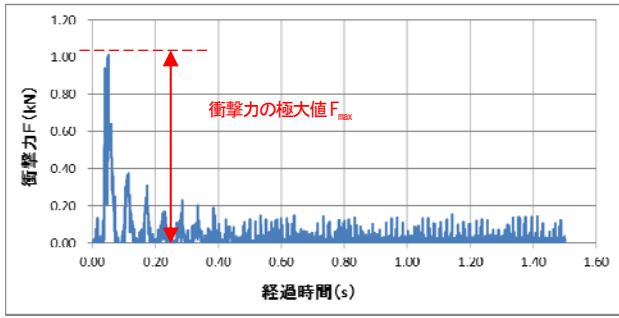


図-2 衝撃力の波形と極大値の例

また、雪塊を切り出した箇所の積雪の密度、硬度、雪温の測定および雪質の観察を実施しており、雪塊の密度は100cc角型サンプラーを用い、硬度はフォースゲージ(AIKOH RX-2)のアタッチメント(直径30mm)を積雪に貫入して測定した。

3. 試験結果

図-3は衝撃荷重と雪塊の密度の関係である。図中には、本実験の結果の他に、既往の研究(小竹ら¹⁾、上石ら³⁾、川田⁴⁾の測定結果も併せて示している。本試験の測定値に着目すると、図-3に示されるとおり、概ね小竹ら¹⁾による包絡線以下の値である。

なお、試験に用いた雪塊の雪質は、こしまり雪、しまり雪、ざらめ雪であり、密度は160~380kg/m³、硬度4~455kN/m²、雪温0°C以下である。

図-3では雪塊の密度の増加に伴い、衝撃荷重の増大が見られる。このことから、落下高さが10m以下の場合において、落雪による衝撃荷重の最大値は、雪の密度から概ね把握可能であると考えられる。ただし、値にばらつきが大きいことから、密度以外の要素が影響を与えているものと推測される。

図-4(a)は衝撃荷重と雪塊の質量、(b)は衝撃荷重と落下高、(c)は衝撃荷重と雪塊の一边の長さとの関係を示している。いずれにおいても関連性が確認できることから、衝撃荷重の最大値を把握できる可能性がある。しかし、雪質ごとに検討する必要があるなど、一つの要素だけで衝撃荷重を求めることは困難であると考えられる。そこで、雪質を代表する指標として硬度に着目した。図-5は、衝撃荷重と本試験で用いた雪塊の硬度の関係を図示したものである。衝撃荷重と硬度の間には、雪質に依存しない直線的な関係が確認される。図-5より次式(1)を得た。

$$P=0.439H \quad (1)$$

ここで、 P : 衝撃荷重 (N/m²)

H : 雪塊の硬度 (kN/m²) である。

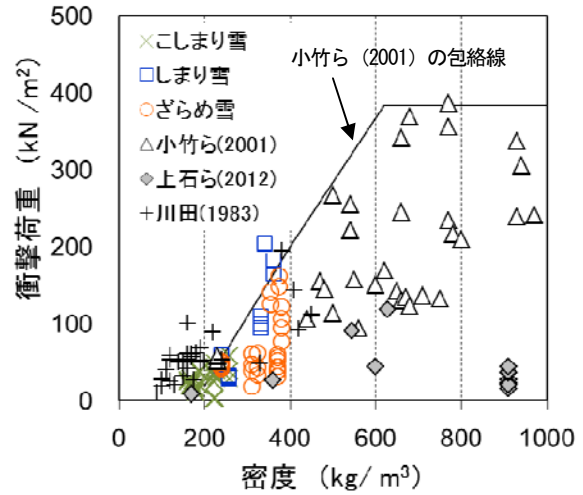


図-3 衝撃荷重と雪塊の密度の関係

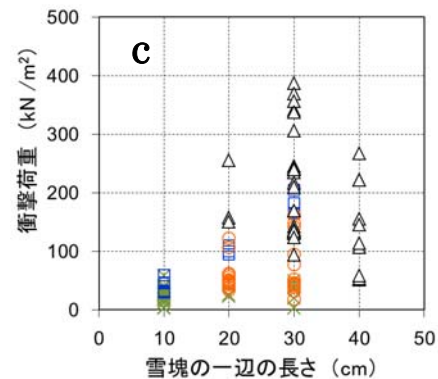
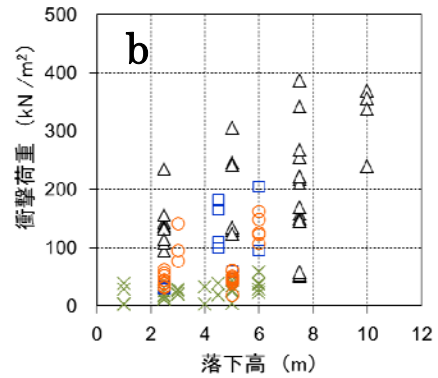
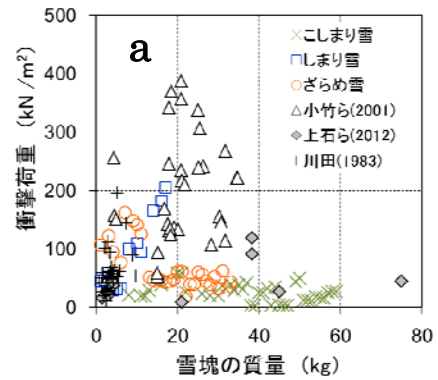
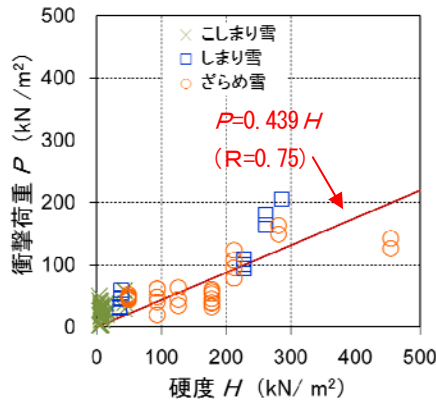
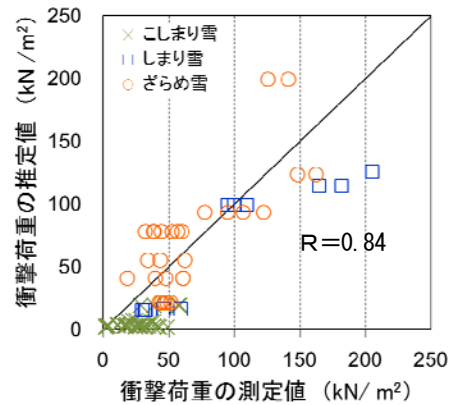


図-4 衝撃荷重と(a)雪塊の質量、(b)落下高、(c)雪塊の一边の長さとの関係



図一5 衝撃荷重と雪塊の硬度との関係
赤実線は回帰式 R は相関係数



図一6 衝撃荷重の推定値と測定値の比較
横軸は本試験における実測値であり、縦軸は落下させた雪塊の硬度 H を式(1)に与えて得られた推定値である。

4. 雪塊の落下による衝撃荷重の推定方法

図-2 に示されるように、雪塊の衝突によって発生する衝撃力は衝突後初期に最大値を示し、その後、比較的なだらかな波が続き、最終的に零に減衰する。この波形は、最初の衝突の瞬間を弾性体と見なし、後半を流体と見なすことで説明されている⁵⁾。そこで、弾性体および流体としてのそれぞれの視点から、衝撃荷重の推定方法について検討を行った。

4.1 弾性体としてみた場合の衝撃荷重

雪塊の衝突直後に発生する衝撃荷重 P は、日本建築学会⁶⁾ 等に基づき、次式(2)で求められる。

$$P = F_{\max}/A = a\sigma_s \quad (2)$$

ここで、 F_{\max} : 最大衝撃力 (N)
 A : 雪塊が衝突した面積 (m^2)
 σ_s : 雪の破壊強度 (N/m^2)
 a : 係数である、

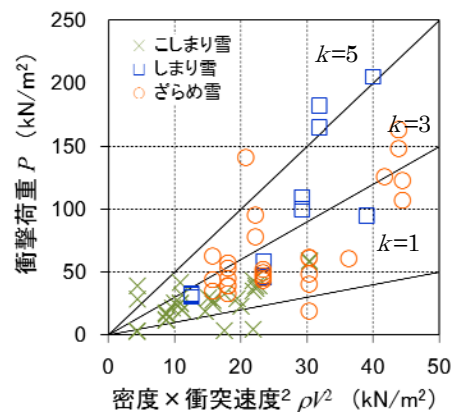
本試験では、フォースゲージを積雪に貫入した測定値を雪塊の硬度としており、雪の圧縮破壊抵抗が寄与している。ここで雪の破壊強度 σ_s を硬度 H で置き換えると、式(2)は式(1)と同じ形になる。

即ち、式(1)を用いることによって、雪質や落下高に因らずに雪塊の硬度 H から落雪による衝撃荷重 P を推定できる (図-6)。

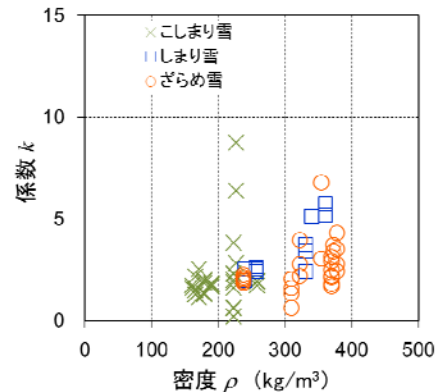
4.2 流体としてみた場合の衝撃荷重

自然積雪の落雪は、流体に近い衝突状況となっている可能性がある^{3) 5)}。そこで、雪密度 ρ (kg/m^3)、衝突速度 V (m/s) の流体と考えると、衝撃荷重 P は次元解析に基づき、次式(3)で表される⁶⁾。なお、 k は係数である。

$$P = k\rho V^2 \quad (3)$$



図一7 衝撃荷重 P と雪塊の密度と速度の二乗の積 ρV^2 の関係



図一8 係数 k と雪塊の密度 ρ の関係

図-7 は本試験における衝撃荷重 P (式(3)左辺) と、雪密度と衝撃速度の二乗の積 ρV^2 (式(3)右辺) の関係であり、図中に係数 k を示す。なお、衝突速度 V は、雪塊が自由落下した場合の衝突時の理論値を用いている。図-7 より、本試験の結果から算出される係数 k はおおよそ 1 ~ 5 の間の値をとり、これは既存の研究 (川田⁴⁾、阿部ら⁷⁾ の測定値の範囲とほぼ一致している。

図-8 は係数 k と雪塊の密度 ρ 、図-9 は係数 k と雪塊の硬度 H との関係である。図に示されるように、係数 k

は雪塊の密度よりも硬度の方に関係性が表れている。ただし、こしまり雪については、硬度が小さく、係数 k との関係性が明確でない。そこで、こしまり雪を除き、しまり雪とざらめ雪の係数 k と硬度 H (kN/m^2) について回帰分析を行い、式(4)を得た。図-9 中にしまり雪とざらめ雪の回帰直線を示す。

$$k=7.9 \times 10^3 H + 1.53 \quad (4)$$

図-10 は、式(4)による硬度から推定した係数 k の推定値と、本実験で計測した衝撃荷重 P と密度 ρ を式(3)に代入して算出した k 値との比較を示しており、相関係数は 0.69 である。次に式(4)から求めた係数 k と密度 ρ の測定値、雪塊の自由落下による衝突速度 V の理論値を式(3)に代入して、衝撃荷重 P を推定した。衝撃荷重の推定値と算出値を比較すると、両者の相関係数は 0.82 と高い(図-11)。このことから、密度 400kg/m^3 以下のしまり雪とざらめ雪の雪塊の落下による衝撃荷重は、雪の硬度、密度、衝突速度(≒落下高)を用い、式(3)および式(4)から推定できるものと考えられる。その一方で、密度や硬度の小さいこしまり雪については、明確な関係は見いだせなかった。

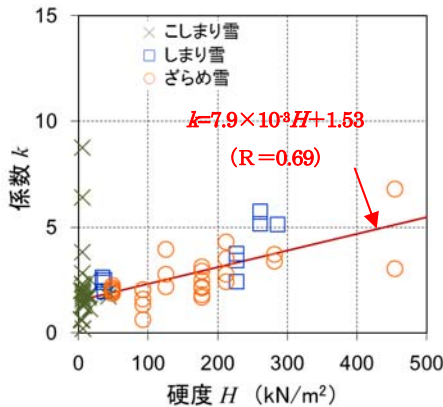


図-9 係数 k と雪塊の硬度 H の関係
直線はしまり雪とざらめ雪の回帰直線, R は相関係数

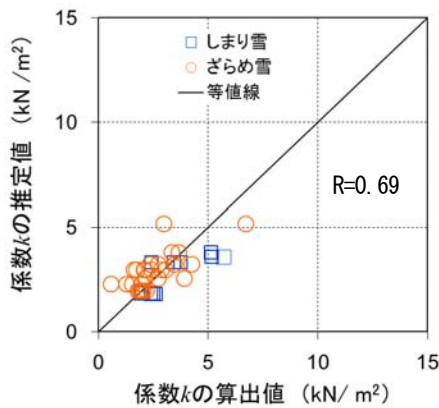


図-10 係数 k の式(4)による推定値と実測値
を式(3)に代入して算出した値の比較

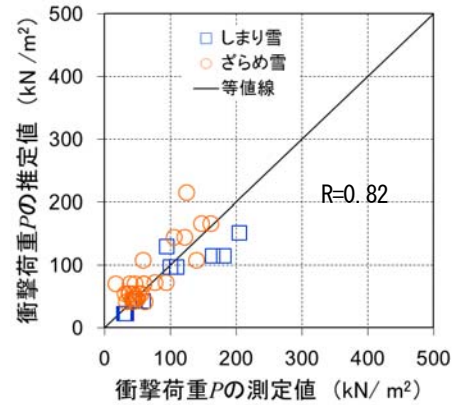


図-11 衝撃荷重 P の測定値と推定値の比較
推定値は式(3)と式(4)から求めた値

5. おわりに

本試験においては、雪塊の密度よりも硬度の方が衝撃荷重との相関が高く表れていた。雪の衝撃荷重と硬度との関係は既往の研究^{2) 4)}でも指摘されているが、硬度を用いた衝撃荷重の推定方法はまだ得られていない。そこで、本報告では硬度を用いた衝撃荷重の推定方法を示した。ただし、密度や硬度の小さいこしまり雪の衝撃荷重については、推定結果にばらつきが見られた。今後は、雪塊の衝突時の破壊形態なども考慮して、低密度から高密度までの雪塊の落下による衝撃荷重を検討していきたい。

謝辞

試験の実施にあたり、北海道開発局札幌開発建設部豊平川ダム統合管理事務所及び定山溪ダム管理支所の関係各位のご協力に対し、ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 小竹達也, 苫米地司, 西川薫: 屋根上積雪の落雪による衝撃荷重に関する一考察, 日本建築学会構造系論文集, 543, pp.31-36, 2001.
- 2) 横澤直幸, 諏訪宗行, 相茶日出海, 細川和彦, 苫米地司: 雪氷塊の落下衝撃荷重について その2, 日本建築学会大会学術講演便概集, pp.37-38, 2005.
- 3) 上石勲, 佐藤威, 本吉弘岐, 平島寛行, 安達聖, 山口悟, 佐藤篤司, 石坂雅昭, 西田陽一, 橋立広隆, 大宮哲: 雪氷塊の落下衝撃実験, 寒地技術論文・報告集, 28, pp.188-191, 2012.
- 4) 川田邦夫: 小さな円形受圧板に対する雪塊の衝撃力, 日本雪氷学会誌 雪氷, 45, 2, pp.65-72, 1983.
- 5) (社)日本建設機械化協会 編: 新編防雪工学ハンドブック, pp.78-98, 森北出版, 1988.
- 6) (社)日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説(2004), pp.276-278, (社)日本建築学会, 2004.
- 7) 阿部修, 中村秀臣, 佐藤篤司, 中村勉: 大型野外シュートを用いた雪崩実験, その2-雪塊の衝撃特性-, 日本雪氷学会誌 雪氷, 59, 3, pp.189-199, 1997.