

積雪後の降雨による最大積雪荷重に関する基礎的研究

-降雨強度及び浸透速度の影響-

Basic Study on Maximum Snow Load due to Rainfall after Snowfall

-Effect of rainfall intensity and penetration speed -

○宮澤 宗万¹, 石鍋 雄一郎², 中島 肇³*Shuma Miyazawa¹, Yuichiro Ishinabe², Hajime Nakajima³

Abstract: Heavy snowfall occurred in the Kanto Koshin region from February 14-16, 2014. The rain that fell in the immediate aftermath caused damage and collapse of buildings. One of the reasons for this may have been that the incremental load due to the rainfall after the snowfall greatly exceeded the building code. Existing literature is consulted and discussed in comparison to existing formulas for determining incremental loads due to rainfall.

In this study, it is assumed that the maximum snow load after a snowfall is just before drainage. The mechanism of the incremental snowfall load is proposed and the previous literature is analyzed by focusing on the penetration speed for each snow depth and rainfall intensity.

1. はじめに

2014年2月14～16日に関東甲信地域で大雪が発生した。直後に降雨が発生したことで建物の崩壊などの被害が発生した。これは、積雪後の降雨による荷重増分が建築基準法を大きく上回ったことが原因の一つだと考えられる。既往の文献などを参照することで降雨による荷重増分を求め、既存の算定式を用い比較し考察を行う。

本研究では、積雪後の降雨による最大積雪荷重は、排水寸前と仮定した。降雨荷重増分が発生するメカニズムを提案し積雪深・降雨強度別の浸透速度に着目して既往文献を分析する。

2. 積雪後の降雨から排水までのメカニズム

Figure1は、積雪後の降雨が発生し排水が起きるまでのメカニズムを示している。①～③が降雨開始から

排水のメカニズムとなる。

①では、積雪した後に降雨が発生し積雪表面から浸透が始まり降雨による荷重増分が始まる。②では、降雨が不飽和層を浸透しFigure1の飽和層の矢印のように屋根面まで到達することで不飽和層に変化が生じる。③で不飽和層を浸透し屋根面に接した降雨は屋根面から上方に向かって飽和層が成長させる。形成された飽和層は、屋根面に到達した雨水の通り道となり飽和層を通り排水される。また、排水は、棟から軒に向かって行われるため飽和層は棟から軒に向かって徐々に厚くなる。

本研究の最大積雪荷重は、棟から軒まで屋根面に飽和層が形成され排水される寸前に生じると仮定しているため飽和層・不飽和層における降雨の滞留量が降雨荷重増分になると考えられる。降雨開始から排水までのメカニズムを3章に示す式を用いて考察をする。

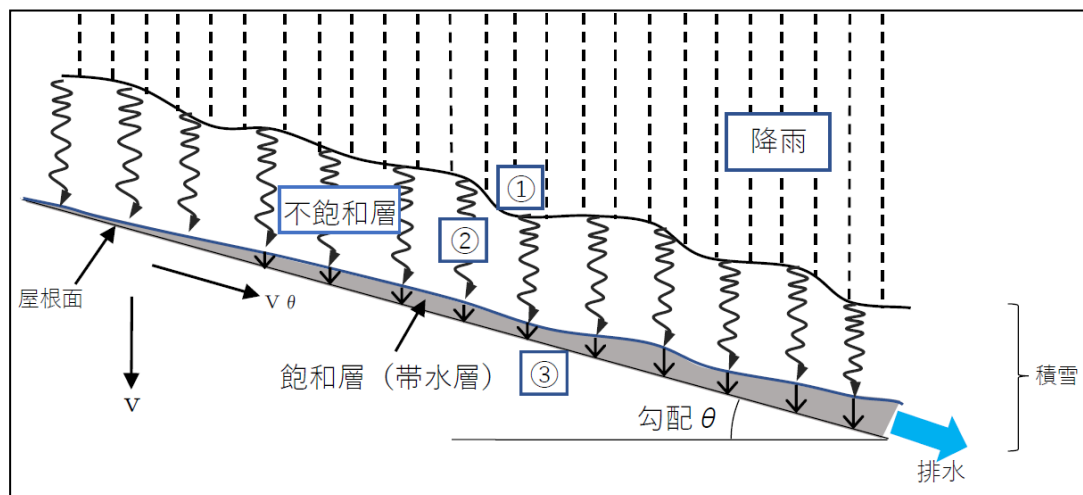


Figure 1. Infiltration model of rainfall after snow accumulation

3. 既往の文献から考察

既往の文献より、不飽和層と飽和層は、ダルシー則を適用して以下のように表せる^{[1]~[3]}。

不飽和層の流速 v は、不飽和透水係数 k_w 、水の粘性係数 μ_w 、積雪層の間隙中の毛管圧を示すマトリックポテンシャル h 、重力ポテンシャル z 、水の密度 ρ_w 、重力加速度 g とすると式 (1) で表せる^[1]。

$$v = -\frac{k_w}{\mu_w} \left(\frac{\partial h}{\partial z} + \rho_w g \right) \quad (1)$$

ここで、不飽和透水係数 k_w は、雪の粒径 ϕ 、乾雪密度 ρ_d 、有効飽和度 S^* 、飽和度 S 、雪粒子の粒径分布に依存した定数 ε とし以下の式 (1-2) により求められる^[1]。

$$k_w = 0.077 \phi^2 \exp(-7.8\rho_d/\rho_w) S^{*\varepsilon} \quad (1-2)$$

$$h = \frac{-43}{S^*} - 380 \quad (1-3)$$

$$S^* = \frac{S-0.07}{0.93} \quad (1-4)$$

飽和層の流速 v_θ は、飽和透水係数 k_s 、屋根勾配 θ 、動水勾配 ∇H とすると式 (2) のように表せる^{[2][3]}。

$$v_\theta = k_s \theta = -k_s \nabla H \quad (2)$$

$$k_s = 0.077 \phi^2 \exp(-7.8\rho_d/\rho_w) \quad (2-1)$$

式 (1), (2) から不飽和層・飽和層の浸透速度は、不飽和層と飽和層に共通して雪種による粒径や雪密度、水密度、飽和透水係数が影響を与えており積雪内の流速は、雪種により差が生じると考えられる。式 (1) (2) では、積雪深が用いられておらず浸透速度に関係しない事がわかる。また、飽和層と不飽和層では、飽和か不飽和の違いがある。そのため不飽和層では、有効飽和度や水の粘性係数、重力加速度が関係している。飽和層では、不飽和層と違い屋根面の影響を大きく受けることで屋根勾配、動水勾配を用いる。不飽和・飽和の違いから式 (1), (2) は、異なり浸透速度に影響が出ることが分かった。

また、飽和層形成の後に降雨が飽和層を通り排水が生じるため不飽和層と飽和層内の流速だけでなく飽和層の形成時間を求めることで不飽和層と飽和層の降雨荷重増分の割合を調べることができる。

以上から不飽和層と飽和層の流速が異なることが明確である。そのため、今後は、実際の実験データ^{[5][6][7]}を用いて比較および検証をする必要があると考えられる。

4. まとめ

積雪後の降雨による最大積雪荷重について文献調査を行い、積雪内の不飽和層・飽和層に分類し降雨が浸透し排水されるメカニズムおよびそれぞれの過程の浸透速度の算定式について分析した。

5. 今後の課題

最大積雪荷重は、飽和層が形成され飽和層に蓄積された雨水が排水される時までの降雨開始からの合計値と仮定している。そのため、飽和層が形成されるまでの時間を求める必要がある。

6. 参考文献

- [1] 勝島隆史：積雪内の不均一な水分移動の研究，国立大学法人長岡技術科学大学，学位論文，2013年12月
- [2] 石原直，喜々津仁密，大槻政哉，高橋徹，岩田善裕，奥田泰雄：勾配等が変化する屋根面での飽和層モデルによる積雪後降雨荷重の推定，日本建築学会関東支部研究報告集，No. 87号，pp. 365-368，2017年2月
- [3] 櫻井大介，高橋徹，大槻政哉，小嶋志龍，喜々津仁密，石原直：ダルシー則を用いた積雪後の降雨による屋根雪荷重の推定方法の提案，雪氷研究大会講演要旨集，pp. 224，2019年9月
- [4] 杉江伸祐，成瀬廉二：積雪の不飽和透水係数の測定，日本雪氷学会誌，62巻，第2巻，pp. 117-127
- [5] 高橋徹，大槻政哉，堤拓哉，上石勲，中村一樹，安達聖，喜々津仁密，斎藤佳彦，岩田善裕，奥田泰雄：積雪後の降雨に配慮した屋根雪荷重の評価に関する研究 その2 屋外における試験屋根を用いた人工降雨実験の結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 97-98，2015年
- [6] 高橋徹，大槻政哉，堤拓哉，上石勲，中村一樹，安達聖，喜々津仁密，斎藤佳彦，岩田善裕，奥田泰雄，小嶋志龍：積雪後の降雨に配慮した屋根雪荷重の評価に関する研究 その3 流量計とロードセルの計測結果，本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 99-100，2015年9月
- [7] 高橋徹，大槻政哉，堤拓哉，上石勲，中村一樹，安達聖，喜々津仁密，斎藤佳彦，岩田善裕，奥田泰雄：積雪後の降雨に配慮した屋根雪荷重の評価に関する研究 その4 実大屋外実験結果の考察とまとめ，日本建築学会大会学術講演会梗概集，pp. 101-102，2015年9月