

平成27年度建築基準整備促進事業

S17

積雪後の降雨の影響を考慮した積雪荷重の 設定に資する検討



- 【事業主体名】 株式会社雪研スノーイーターズ
千葉大学 大学院工学研究科
北海道立総合研究機構 北方建築総合研究所
防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター
- 【共同研究者】 国立研究開発法人建築研究所



本事業の背景

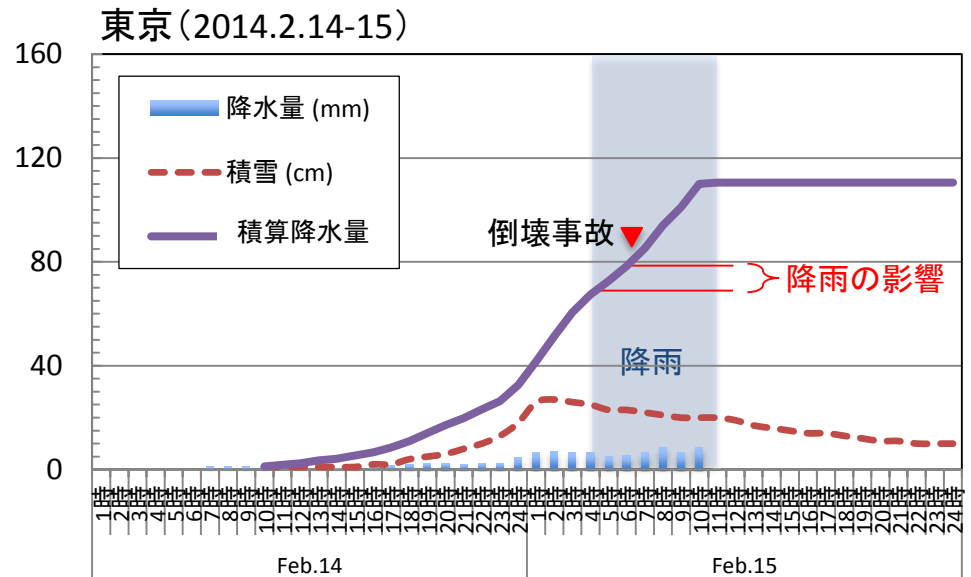
- 平成26年2月14-15日にかけて関東甲信で大雪が発生し、建築物の倒壊被害が相次ぐ。
- 被害は、大スパン・緩傾斜の屋根に被害が集中(ほとんどが**3度以下の緩傾斜**)。

- 降雪後に降雨が重なった地域に、建築物の被害が集中。
- 被害発生地域の特徴は以下の3点

- ①一般区域(多雪区域以外)
- ②建築基準法の垂直積雪量よりも大きい積雪
- ③最深積雪に対して相対的に降水量が大きい



気象官署(●)と主な被害地点(■)



東京における降雪後の降雨時の気象時系列図

本事業の背景

- 降雨により、積雪のみによる荷重よりも大きな荷重が建築物に作用
- 積雪荷重に与える降雪後の降雨の影響を調査、荷重評価のあり方を検討する必要。

(社会資本整備審議会建築分科会「建築物の雪害対策について報告書H26.10」抜粋)

本事業の目的

降雨による積雪荷重増加の推定とその荷重評価の提案

検討項目

- ① 積雪期の降雨および降雪後の降雨量に関するデータ整理及び解析
- ② 降雪後の降雨を想定した積雪荷重の実測調査
- ③ 降雪後の降雨を想定した積雪荷重の設定に関する検討

H26
年度

降雪後の降雨を想定した積雪荷重の実測調査

屋外実験

試験体
設計施工

計測準備

降雨実験

データ整理

地上における降雪後の降雨量データに関する調査

気象データ収集整理

冬期降雨
に関する
既往知見

寒候期の降雨現象の推定
・積雪期の降雨現象
・降雪後の降雨量 etc

H27
年度

屋内実験

屋内実験計画立案

屋内実験

データ整理

降雪後の降雨を想定した積雪荷重の設定に関する検討

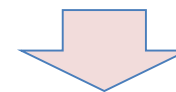
基準適用地域の検討

割増荷重に関する検討

基準(案)策定

研究体制

株式会社雪研スノーイーターズ
千葉大学 大学院工学研究科
北海道立総合研究機構 北方建築総合研究所
防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター
【共同研究者】
国立研究開発法人建築研究所



検討委員会

【委員長】 苫米地司（北海道科学大学学長）
【委員】 大塚清敏（大林組）、小坂橋裕一（日建設計）、中島肇（日本大学）、高橋徹（千葉大学）、堤拓哉（北方建築総研）、上石勲（防災科研雪氷）、建築研究所 4名
【協力委員】 国交省 6名

本報告内容

■屋外実験の概要

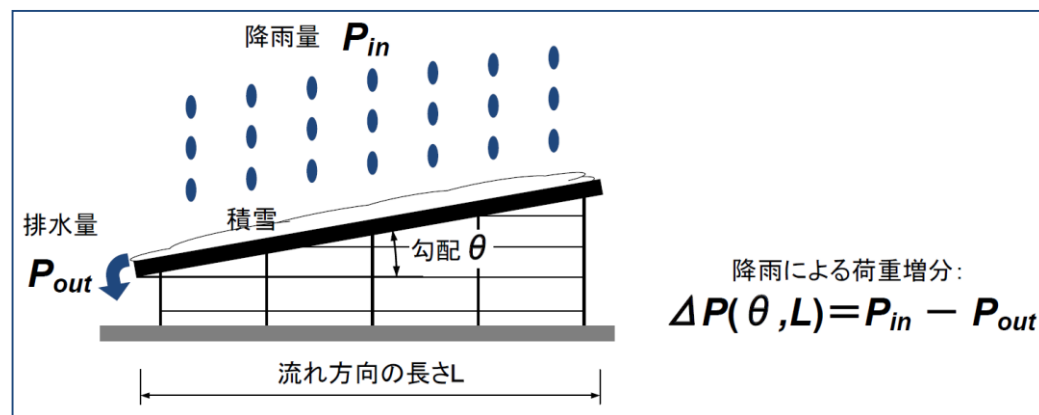
実験用仮設屋根を用いて、自然降雪後の屋根雪に一定強度の降雨を与えた時の荷重の増加量、その時間的変化を計測



計測項目

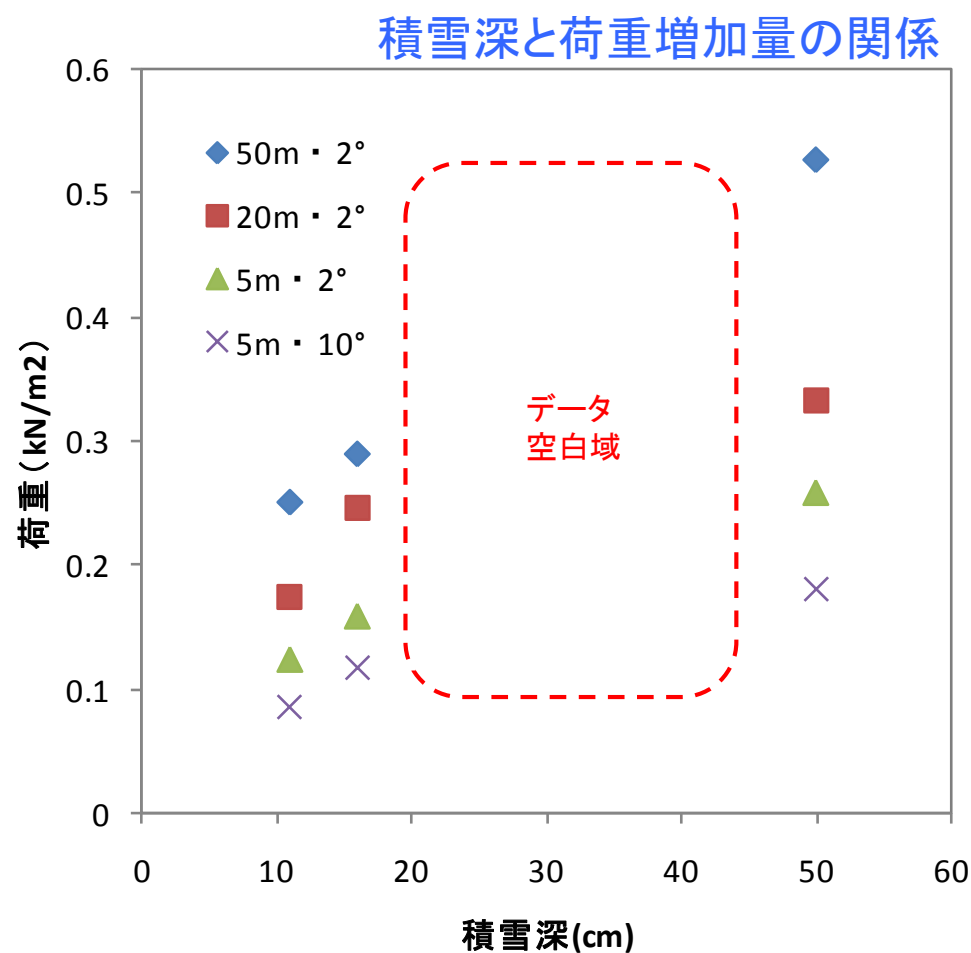
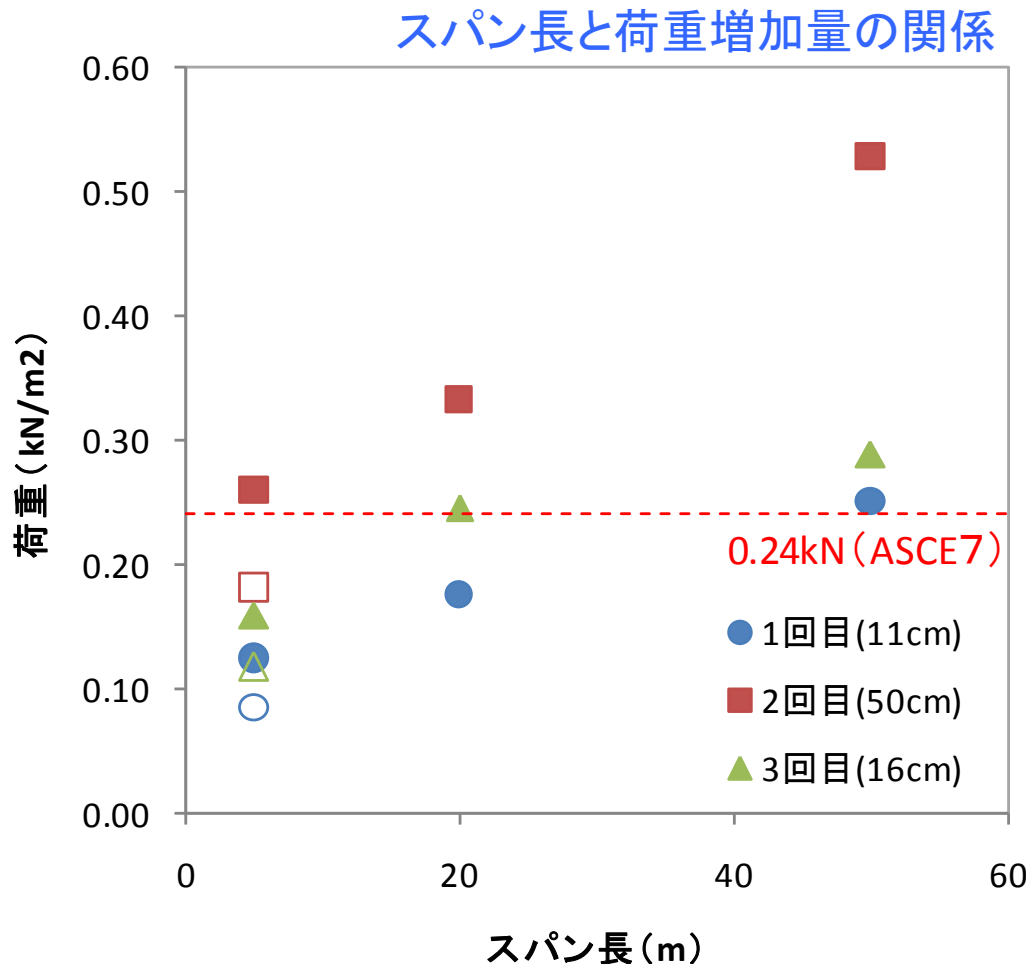
- 荷重直接計測：ロードセルによる荷重計測
- 荷重間接計測：流量計による屋根面流出量（荷重間接計測）
- 荷重分布計測：ロードセルによる荷重分布計測（50m屋根で3点）
- 水量分布計測：屋根雪の積雪水量スポット観測
- スポット観測：積雪断面観測（密度、含水率、雪温） etc...

荷重間接計測のイメージ



実験シリーズ		スパン長(棟～軒)		
		5m	20m	50m
屋根 勾配	2° (約1/30)	○	○	○
	10° (約1/6)	○	—	—

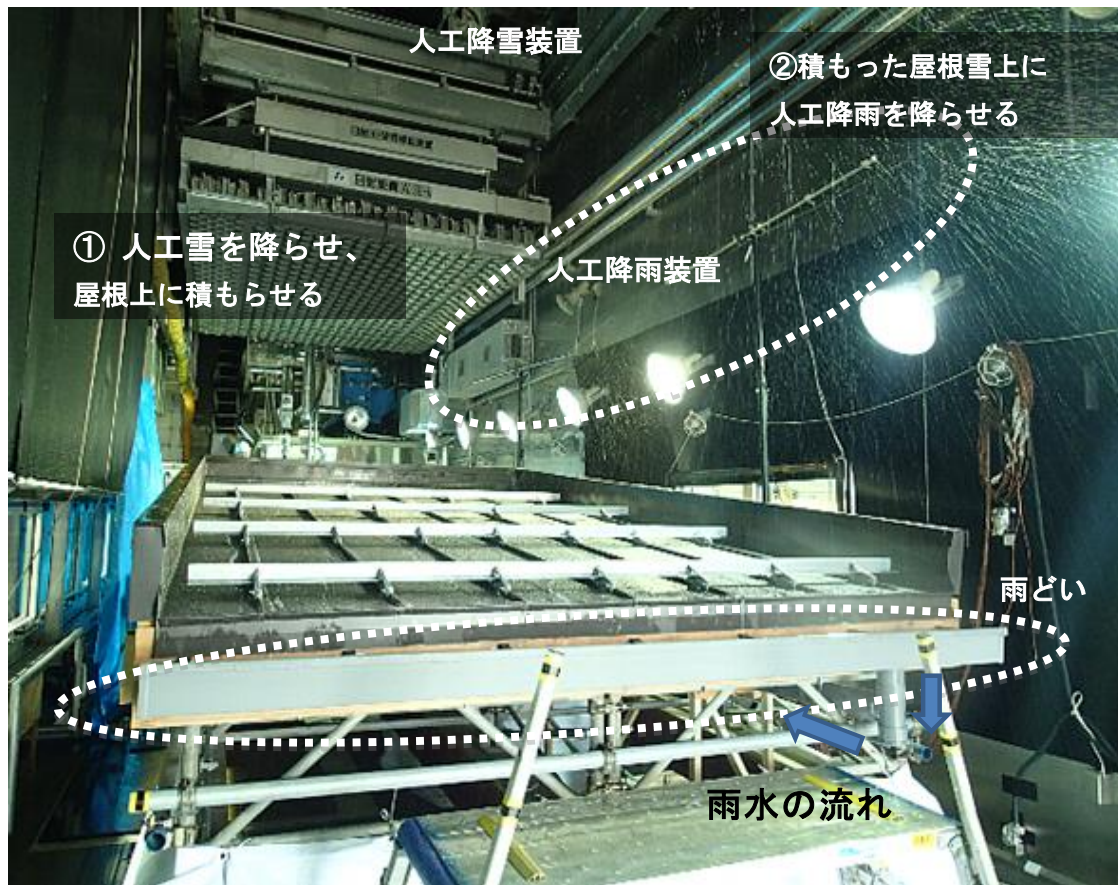
屋外実験（人工降雨による荷重計測）



- 積雪深の違いが荷重増加量に影響を及ぼすことから、屋内実験において、屋外実験における空白エリア(20~40cm付近)のデータ取得を行う。
- 降雨による付加荷重については、「降雨量と初期積雪深の決め方」と「それに応じた荷重増分量をどのように基準値にするか」の検討を進める。

屋内実験（人工降雨による荷重計測）

【実験概要】



雪氷防災実験棟内に設置した仮屋根試験体
（幅2.7m, スパン長5m, 傾斜2° または5°）



防災科学技術研究所新庄雪氷環境実験所
雪氷防災実験棟外観

実験シリーズ		スパン長(棟～軒)		
		5m	20m	50m
屋根 勾配	2° (約1/30)	○●	○	○
	5° (約1/12)	●	—	—
	10° (約1/6)	○	—	—

屋内実験（人工降雨による荷重計測）

【実験の流れ】

実験屋根・計測系の準備



-10℃で人工降雪
(焼結促進のため数回人工圧密)
(1~2日)



1℃で自然圧密(沈降/密度の調整)
(1~3日)



3℃で人工降雨(屋外実験と同法)
(4~5時間)



積雪計測(屋外実験と同じ方法)
(降雨中+数時間)



除雪・後片付け

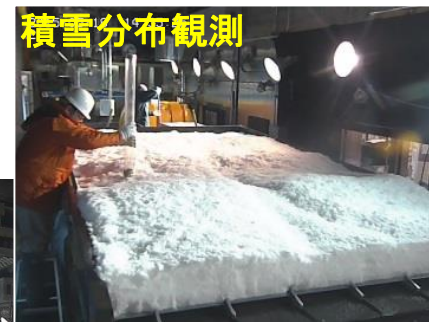
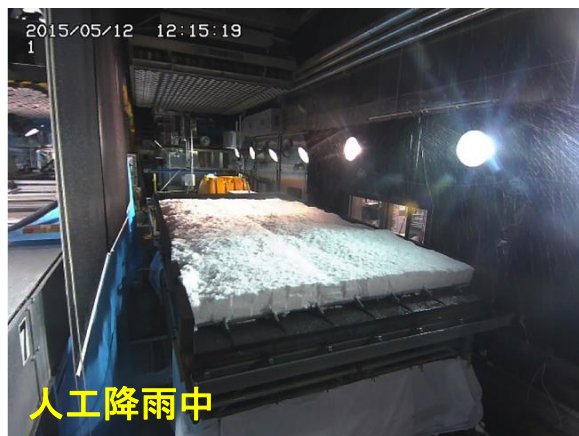
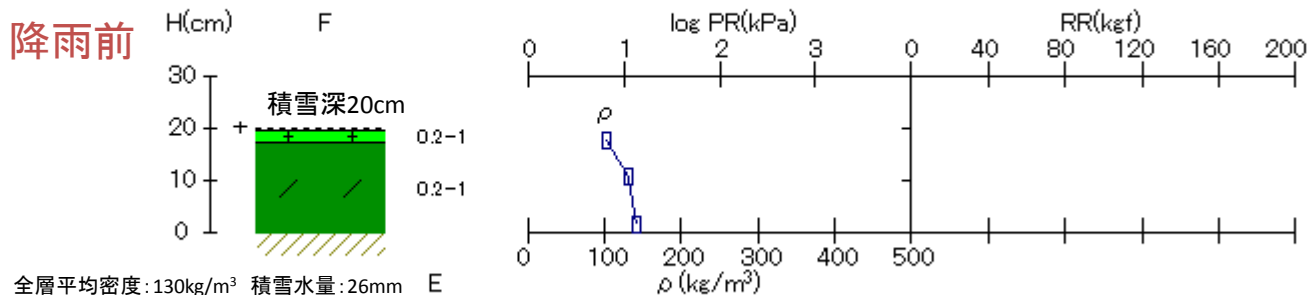


図 屋内実験の実験フロー(1サイクル)

屋内実験（人工降雨による荷重計測）

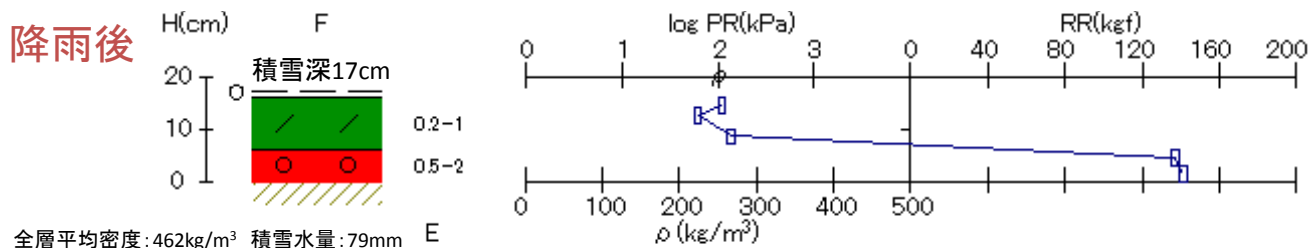
【実験結果】 屋根上の積雪の物性(2° 勾配屋根の例)

降雨前

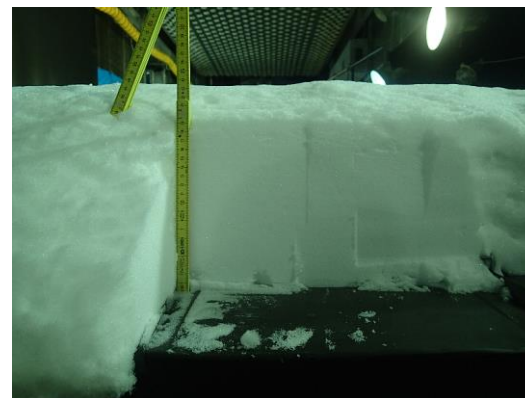


Shinjo Cryospheric Environment Laboratory, Snow and Ice Research Center, NIED

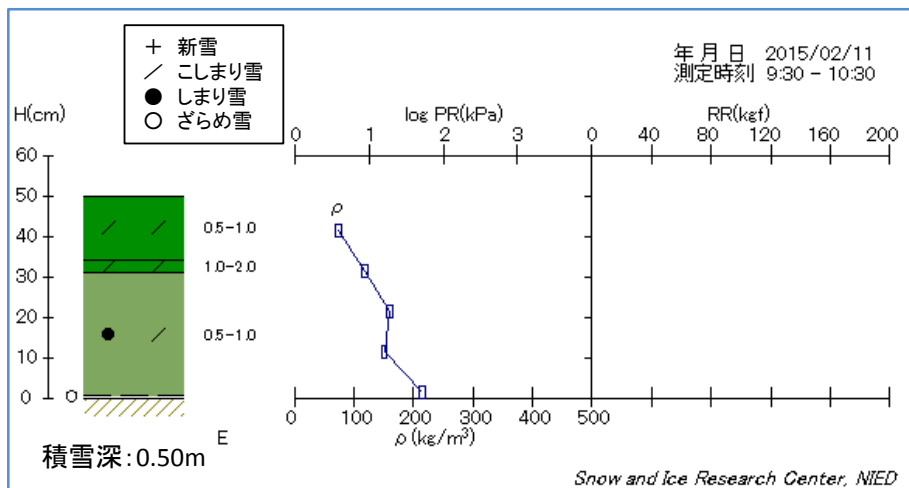
降雨後



Shinjo Cryospheric Environment Laboratory, Snow and Ice Research Center, NIED



屋外実験の自然積雪の例



Snow and Ice Research Center, NIED

- 降雨前の積雪は、大部分がこしまり雪と類似。屋外ではしまり雪、屋内では新雪も見られている。
- 密度分布は、下層の方が大きいプロファイルを再現できている(屋外の事例は積雪50cmと大きく最下層は200kg/m³まで圧密されている)。
- 降雨後は、全体的に密度は大きくなっているが、最下層で5cm程度、飽和した帯水層が形成された。

屋内実験（人工降雨による荷重計測）

【実験結果】

傾斜角-No.	降雨前積雪深 cm	降雨前密度 kg/m ³	初期積雪荷重 kN/m ²	降雨強度 mm/h	降雨増分水収支ピーク荷重 kN/m ²	降雨開始からピークまでの時間 min
5°-1	36	103	0.371	9.89	0.202	165
5°-2	25	161	0.403	10.0	0.184	136
2°-1	25	178	0.445	9.89	0.226	154
2°-2	39	106	0.413	9.33	0.232	170
2°-3	12	118	0.151	9.6	0.151	103

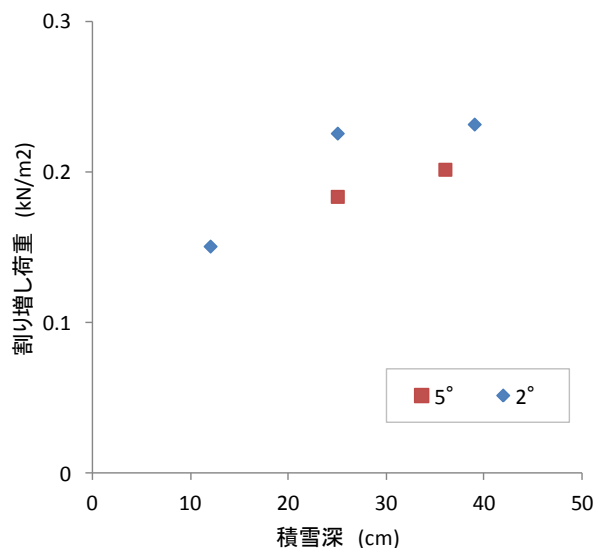


図 積雪深-ピーク荷重散布図

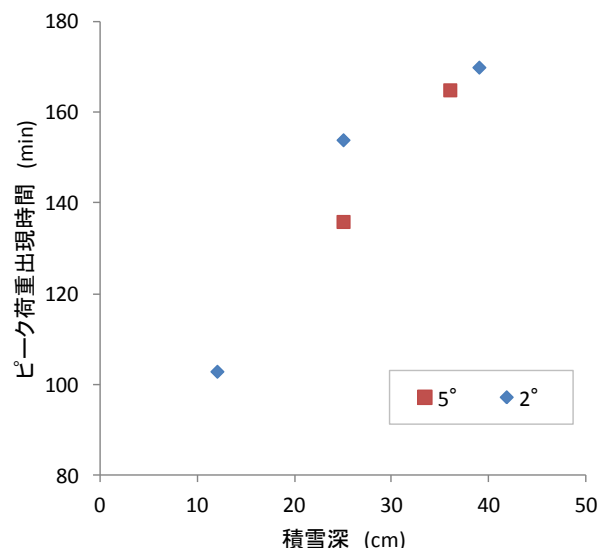
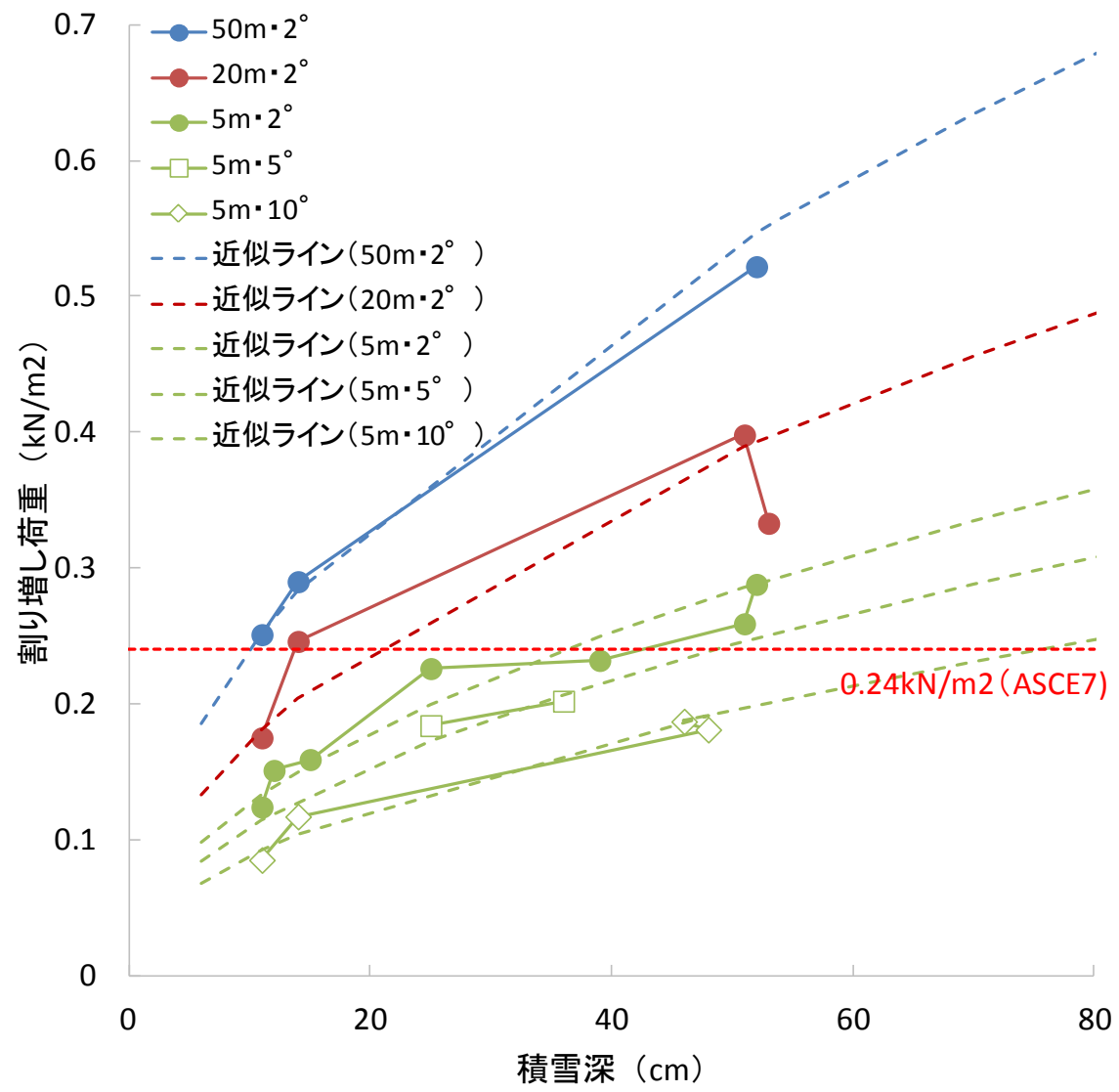


図 積雪深-ピーク荷重時間散布図

- 5° 勾配屋根で2事例、2° 勾配屋根で3事例の実験を実施。
- 勾配の大きい5° 屋根の方がピーク荷重、ピーク荷重出現時間が小さい傾向。
- 同じく、積雪深の小さい方が荷重、時間が小さい傾向にある。
- 屋外実験の結果と同じ傾向を示していた。

降雪後の降雨を想定した積雪荷重の設定に関する検討

【実験結果に基づくピーク荷重の分布】



- 積雪深とともに割り増し荷重は増加するが、その増加率は小さくなる。
- 割り増し荷重は、積雪深の平方根に比例すると考え、(1)式で近似した。

$$y = a\sqrt{x} \quad (1)$$

y: 割り増し荷重 a: 係数 x: 積雪深

- 係数aは下表のようになった。

スパン長(m)	勾配(°)	係数a
50	2	75.8
20	2	54.5
5	2	40.0
5	5	34.4
5	10	27.6

- 本結果を適用して、降雪時の降雨を考慮した積雪荷重の算定方法を以下に検討する。

図 全実験結果による屋根形状及び積雪深と割り増し荷重の関係

降雪後の降雨を想定した積雪荷重の設定に関する検討

【定められた積雪荷重の低減】

降雪時の降雨を考慮した積雪荷重 (S) は、(2)式の通り、予め定められた積雪荷重 (S_s) に降雨による割り増し荷重 (S_r) を加えることで求める。

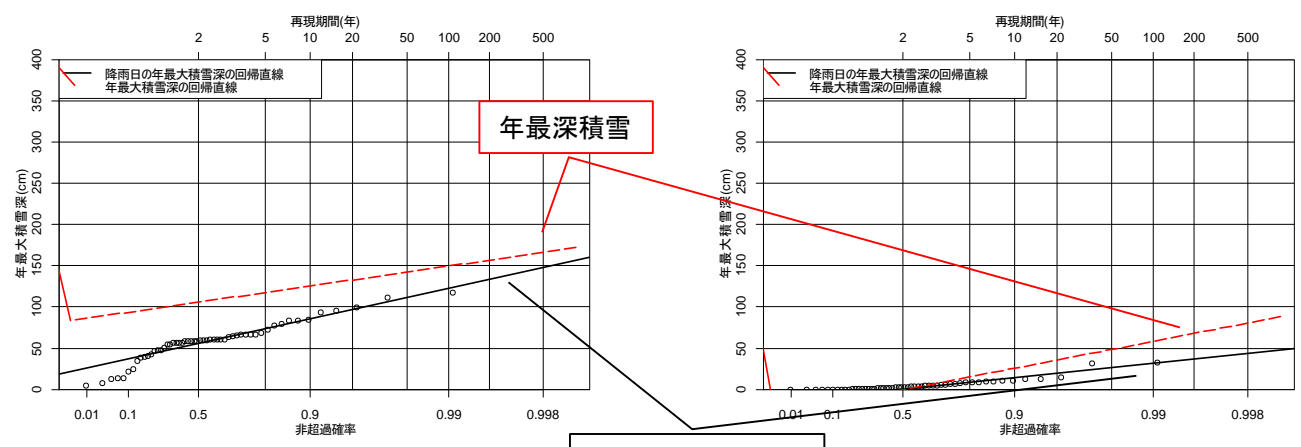
$$S = S_s + S_r \quad (2)$$

➤ 過去の気象データから、**降雨時の積雪深**を抽出し、一般の年最大積雪深と比較すると、降雨時の方が小さい傾向にある(上図)。

➤ ここでは、「**降雨現象がみられる時期に年最深積雪が出現するのはレアケース**」との考え方にに基づき、**降雨時の積雪深(50年再現期待値)**から積雪荷重を設定する。

➤ その場合、年最深積雪深による積雪荷重と降雨時の積雪荷重(いずれも50年再現期待値)の比を、**低減係数 (k_1 下図)**とし、(3)のように積雪荷重を低減できる。

$$S = k_1 S_s + S_r \quad (3)$$



札幌(多雪区域) 前橋(一般区域)

図 年最深積雪と降雨時の年最大積雪深のGumbel分布

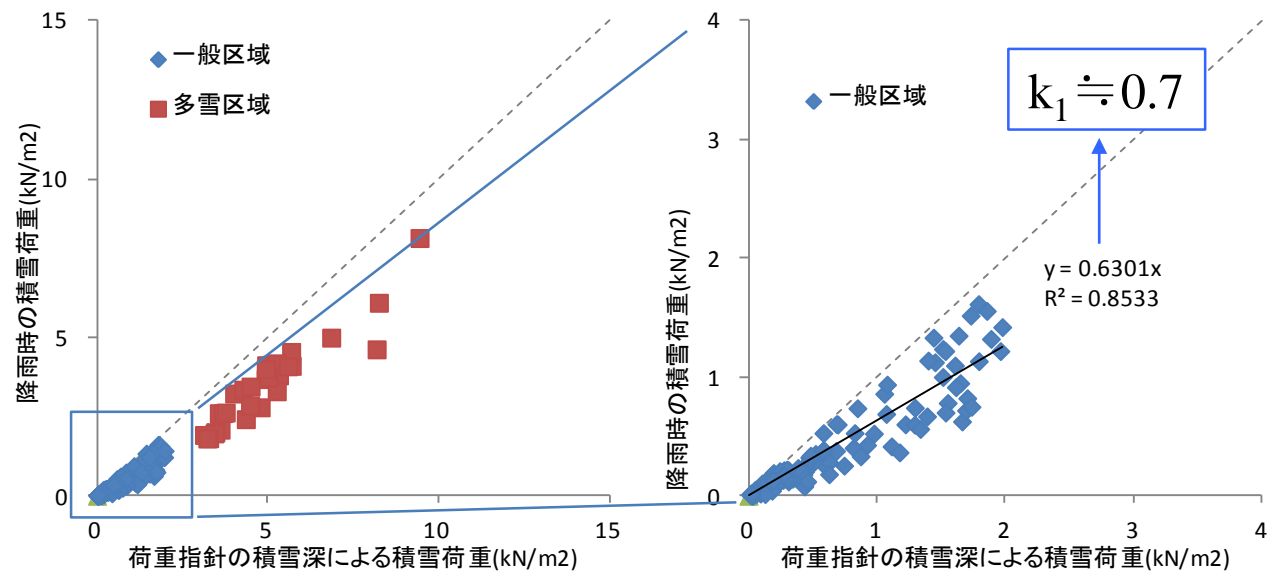


図 荷重指針の積雪深(50年)と降雨時の積雪深(50年)の関係

降雪後の降雨を想定した積雪荷重の設定に関する検討

【積雪荷重の算定方法の導入1(割り増し荷重の付加)】

降雪時の降雨を考慮した積雪荷重は(3)式で表すことができる。

$$S = k_1 S_s + S_r \quad (3)$$

S : 降雨の影響を考慮した屋根上の積雪荷重 (N/m²)

S_s : 建築基準法施行令第86条(以下、令第86条)に定める屋根上の積雪荷重 (N/m²)

S_r : 降雨による割り増し荷重 (N/m²)

k_1 : 降雨の影響を考慮した、積雪荷重の低減係数

降雨による割り増し荷重は(4)式で表すことができる。

$$S_r = A \sqrt{\frac{\mu_d d}{d_{ref}}} \quad (4)$$

d : 令第86条第1項に定めるその地方における垂直積雪量 (cm)

μ_d : 令第86条第4項に定める屋根形状係数

d_{ref} : 基準となる垂直積雪量 (1cm)

A : 屋根形状(スパン長さL、屋根勾配 θ)に応じた数値 (N/m²)

表 数値A (N/m²)

$\theta \setminus L$	5m	20m	50m
2°	40	55	76
5°	34	(47)	(65)
10°	28	(38)	(52)
15°	(20)	(28)	(37)

※実験シリーズ以外の屋根形状は直線補完し()付きで表記
p12

降雪後の降雨を想定した積雪荷重の設定に関する検討

【積雪荷重の算定方法の導入2(割り増し係数を乗じる)】

(3)式を(5)式のように、積雪荷重に係数を乗じる形式に変換することも可能である。

$$S = \alpha \cdot S_s \quad (5)$$

このとき α は、(2)式と(4)式より、(6)式のとおりである。

$$\alpha = \frac{S}{S_s} = k_1 + \frac{S_r}{S_s} = k_1 + \frac{A\sqrt{\mu_d d / d_{ref}}}{\mu_b \rho d}$$

$$= k_1 + \sqrt{(A^2 / \rho^2 d_{ref}) \cdot (1 / \mu_d d)}$$

$$= k_1 + \sqrt{\frac{A'}{\mu_d d}} \quad (6)$$

$$\text{ここで } A' = A^2 / \rho^2 d_{ref} \quad (7)$$

表 数値A'(cm)

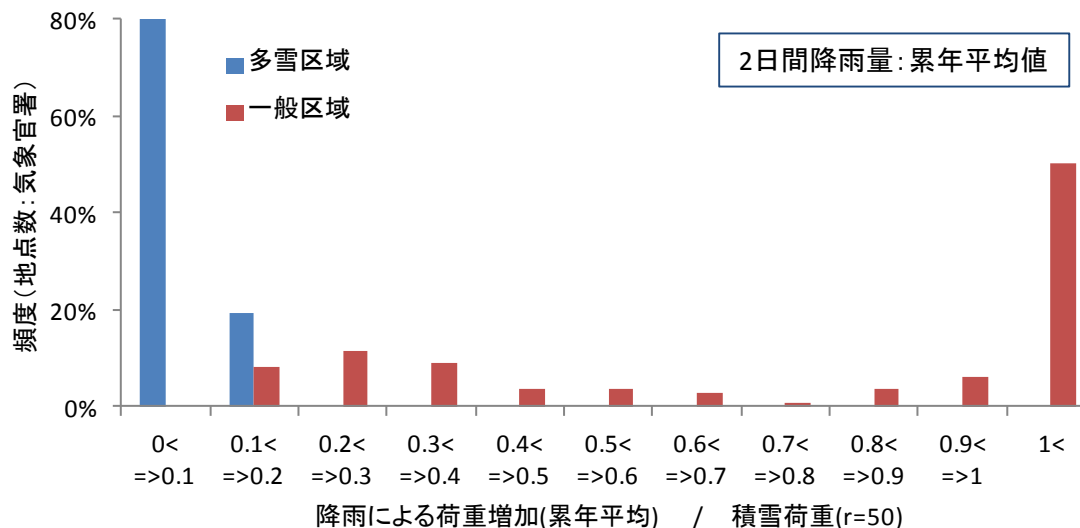
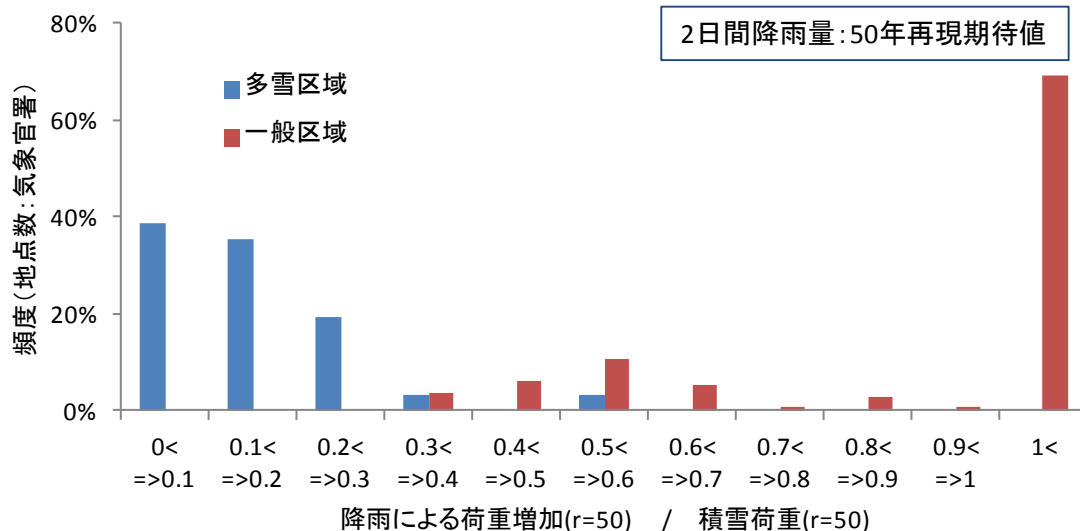
$\theta \setminus L$	5m	20m	50m
2°	5	7	14
5°	4	(6)	(11)
10°	2	(4)	(7)
15°	(1)	(2)	(3)

※実験シリーズ以外の屋根形状は直線補完し()付きで表記

【適用範囲の検討】

- もともと設定されている設計荷重に対して、降雨による割り増し荷重の比率が高いほど危険な状態にあると言える。
- 全国の気象観測地点で、その比を算出し、その地点数の頻度分布を示す。
- **多雪区域**をみると、50年値で、全体の90%以上の地点で0.3以下の割合。累年平均値では、ほぼ全ての地点で0.2以下の割合。
- **一般区域**を見ると、50年値で70%、累年平均値で50%以上が1以上の割合。また、0.1以下はなく、累年平均値では、0.1~1.0に満遍なく分布。

多雪地域の降雨による荷重増加の影響は小さいため、**降雨割り増し荷重を検討する地域として、多雪区域は適用外とする。**



降雨による割り増し荷重 =
2日間降雨量(mm)の荷重換算値

本研究のまとめと今後の課題

【まとめ】

- 平成26年度屋外実験、及び平成27年度屋内実験により、屋根形状（スパン長、勾配）と積雪深に応じた、降雨による割り増し荷重を計測した。
- その結果、積雪深、スパン長が大きいほど、勾配が小さいほど、割り増し荷重は大きくなることわかった。
- 実験結果を定量化し、降雨による影響を考慮した積雪荷重(S)の算定式を次式のように導いた。

$$S = \alpha \cdot S_s$$

$$\alpha = k_1 + \sqrt{\frac{A'}{\mu_d d}}$$

S_s : 令第86条に定める屋根上の積雪荷重 (N/m²)

k_1 : 積雪荷重の低減係数(0.7) A' : 屋根形状(スパン長、勾配)で決まる数値(cm)

d : 令第86条第1項に定めるその地方における垂直積雪量(cm)

μ_d : 令第86条第4項に定める屋根形状係数

【課題】

- 上記結果は、平板屋根上の積雪を用いて、且つ軒先の排水が円滑な状態での実験結果である。
- 連続山形屋根のように谷樋がある場合や、円弧屋根や腰折れ屋根のように勾配に変化がある屋根のような複雑な屋根形状の、荷重の割り増し度合いや荷重分布について未知である。
- 軒樋の排水不良等が割増し荷重に与える影響が不明である。