

太陽光発電の積雪設計について

千葉隆弘(北海道科学大学)

◆はじめに

- 太陽電池アレイ架台の耐雪設計→JISC8955
→ 建築基準法に準拠
- 積雪荷重の算定式
$$S = d \times p \times \mu_b$$

d : 垂直積雪量(cm)
 p : 単位積雪重量(多雪: $30\text{N/m}^2/\text{cm}$, 一般: $20\text{N/m}^2/\text{cm}$)
 μ_b : こう配係数

© 2016 Hokkaido University of Science All Rights Reserved.

垂直積雪量について

◆垂直積雪量とは

- 建築基準法で定義された地上積雪深の50年再現期待値

◆構造計算の水準

- 恒久建築物の耐用年数を50年としている
- 稀に発生する荷重に対しては、損傷を許容せず、継続的に利用可能(荷重は50年再現期待値, 畜舎等は30年)
- 極めて稀に発生する荷重に対しては、損傷を許容するものの人命確保を優先(荷重は500年再現期待値)
- 50年に1度の大雪が50年間に発生する確率
$$P = 1 - (1 - 1/50)^{50} = 0.64 = 64\%$$
- 500年に1度の大雪が50年間に発生する確率
$$P = 1 - (1 - 1/500)^{50} = 0.10 = 10\%$$

垂直積雪量について

◆垂直積雪量の設定方法

- 基本的には「特定行政庁」が設定
- 任意地点の「標高」と「海率」をパラメータとした重回帰式で推定される地上積雪深の50年再現期待値を特定行政庁で設定

$$d = 0.9(\alpha \cdot \text{altitude} + \beta \cdot \text{sea ratio} + \gamma)$$

- α , β , γ は全国を40分割し, それら区域ごとの重回帰分析で求められた重回帰係数と定数項であり, 海率は半径20kmと40kmの2種類がある(目的・説明変数: 気象庁観測地点)
- 太陽電池アレイの設計者が建築分野とは限らず, 垂直積雪量の設定が困難→判断を誤る可能性がある

垂直積雪量推定値の実態を把握

標高と海率による垂直積雪量の推定

◆実は・・・

- 極値 I 型 (Gumbel分布) の累積分布関数

$$d_T = \frac{1}{a} S + b$$

$$S = -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right\}$$

$$d_{r50} = \frac{S_{r50}}{S_{r100}} d_{r100}$$

- $S_{r50} = 3.9$, $S_{r100} = 4.6$ なので

$$d_{r50} = \frac{S_{r50}}{S_{r100}} d_{r100} = \frac{3.9}{4.6} d_{r100} = \boxed{0.85} d_{r100}$$

→ 再現期間換算係数 (100年→50年)

$$d = \boxed{0.9} (\alpha \cdot \text{altitude} + \beta \cdot \text{sea ratio} + \gamma)$$

→ 日本建築学会建築物荷重指針

荷重指針での偏回帰係数と定数項

◆1993年版の荷重指針

- 全国を40分割
- それら区域ごとに各気象庁観測地点の標高・海率を説明変数に、積雪深の100年再現期待値を説明変数として重回帰分析
- 海率半径は20kmと40kmの種類で重回帰分析を行い、重相関係数が高い方を採用
- 現在の基準法垂直積雪量の設定根拠

◆2015年版の荷重指針

- 全国を64分割
- 重回帰分析の方法は1993年版と同様

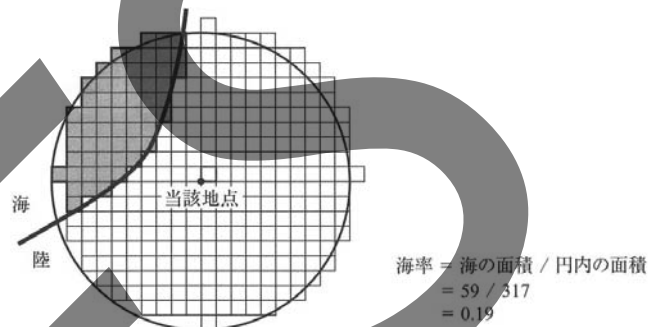


図 5.2.2 海率の定義

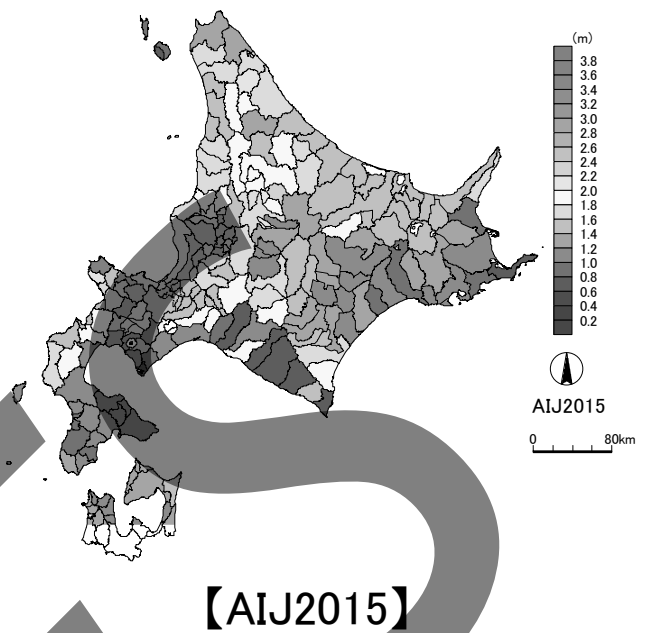
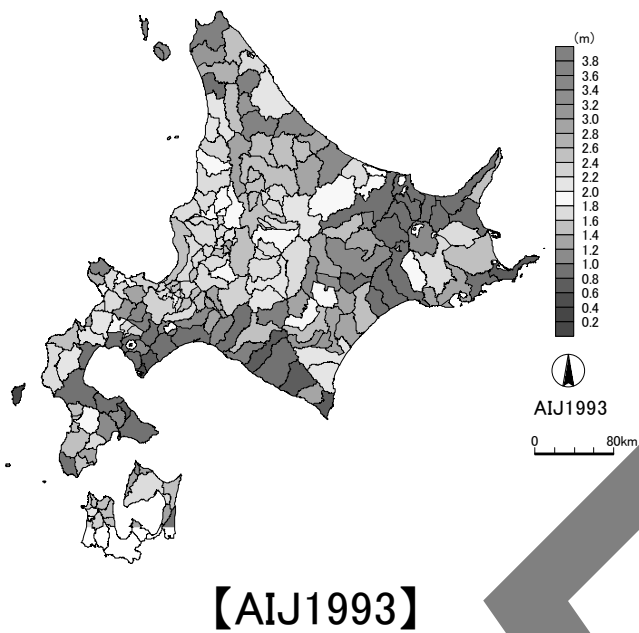
50年再現期待値の比較

◆推定方法

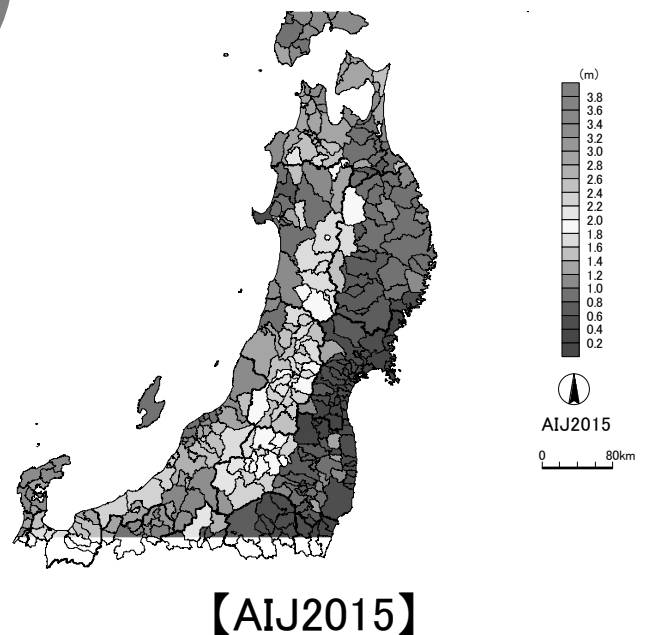
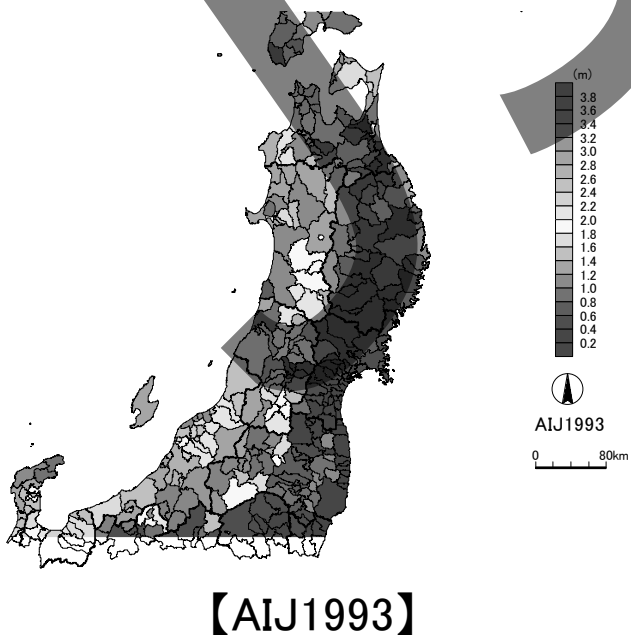
- 全国の市町村(庁舎)を基準
- それぞれの区分番号を市町村に割り当てる(AIJ1993:1~40番, AIJ2015:1~64番)
- 市町村(庁舎)の北緯, 東経, 標高, および海率を算定
- 区分に応じた重回帰係数および定数項に標高と海率を代入して年最大積雪深の50年再現期待値を市町村ごとに推定

AIJ1993の推定値とAIJ2015の推定値とを比較

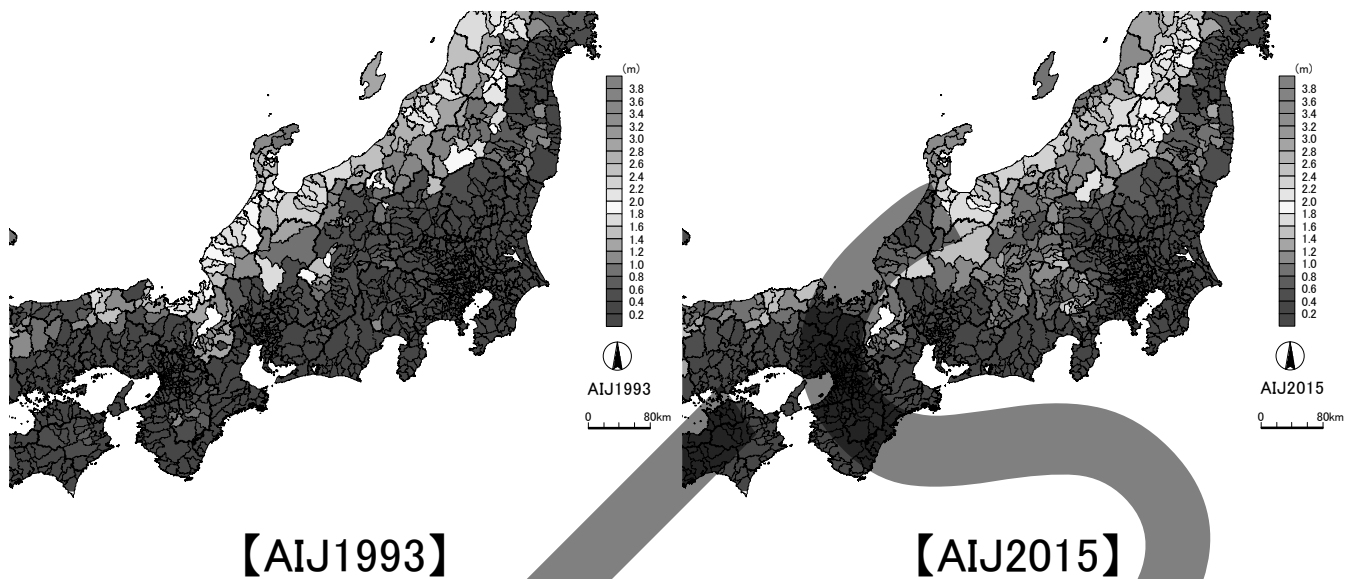
年最大積雪深の50年再現期待値



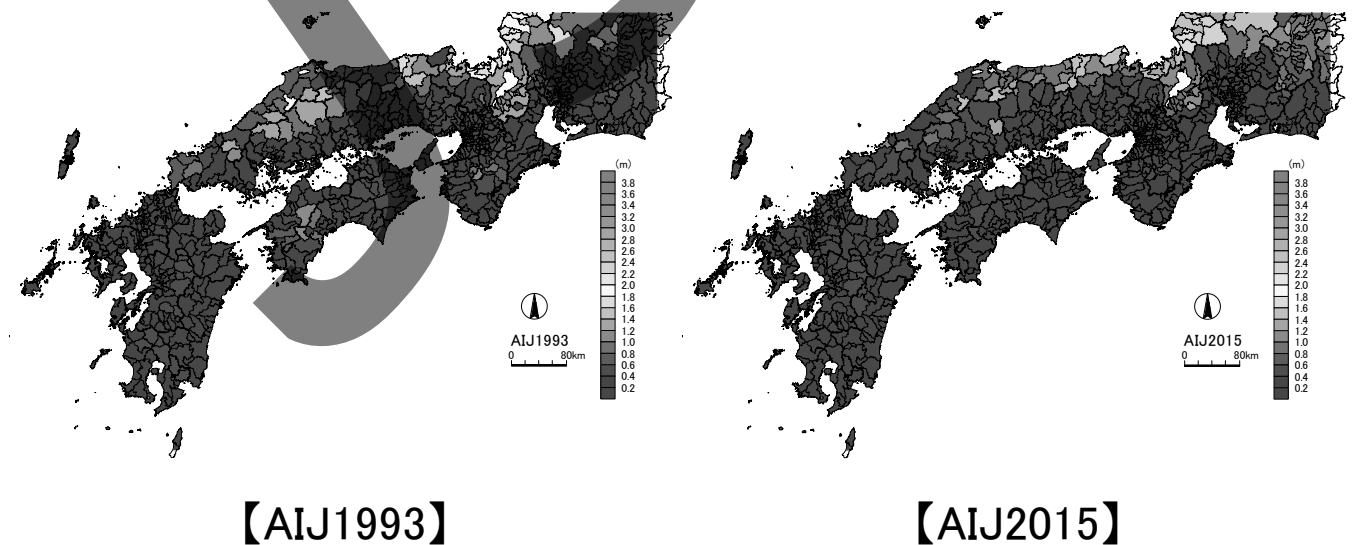
年最大積雪深の50年再現期待値



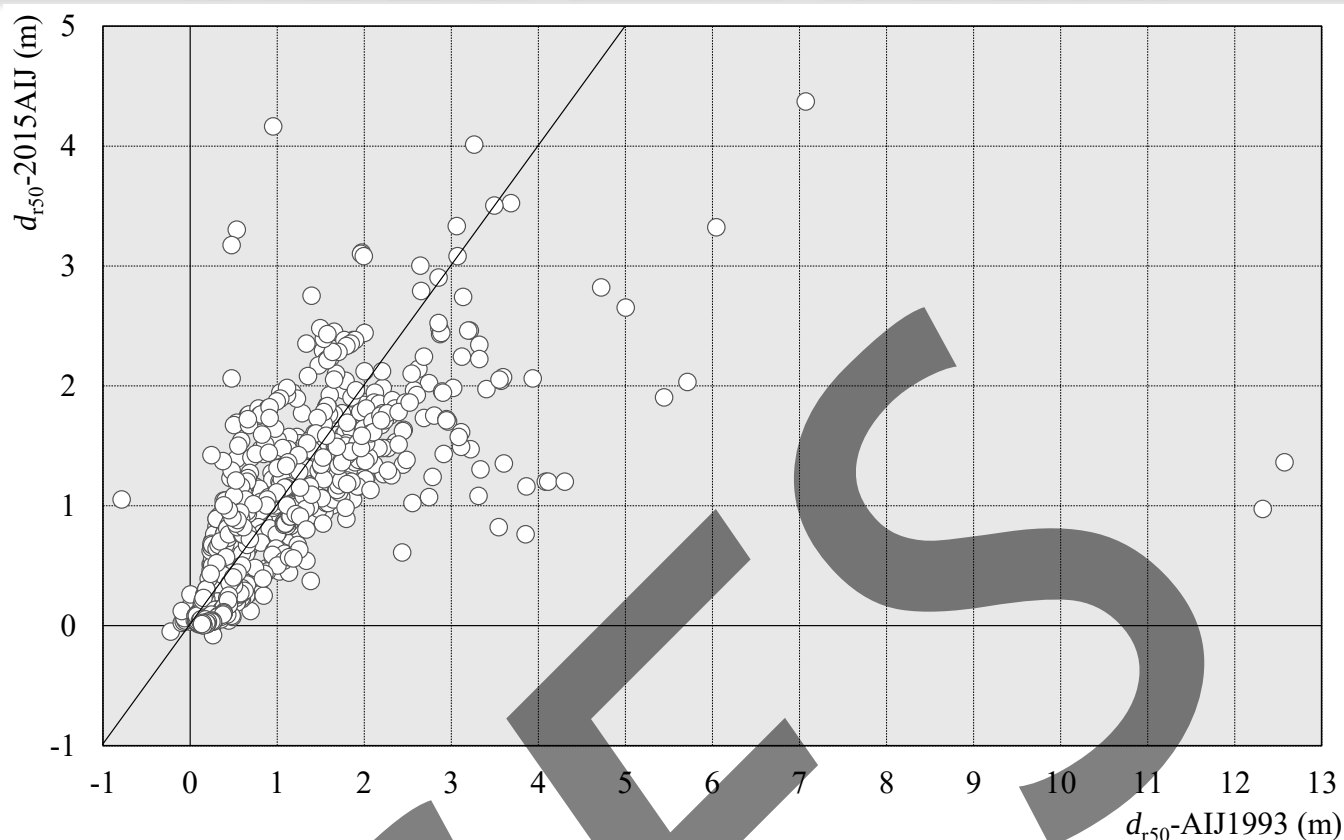
年最大積雪深の50年再現期待値



年最大積雪深の50年再現期待値



年最大積雪深の50年再現期待値



© 2016 Hokkaido University of Science All Rights Reserved.

11

垂直積雪量推定値に関するまとめ

- AIJ1993版に示されている偏回帰係数と定数項→それまでの観測データから導かれている
 - 観測データが少ない
 - 最近の極端現象が含まれていない
- } 精度が悪い

- 建築基準法における垂直積雪量の精度が悪いことを考慮する必要がある
- 最近の観測データを考慮したAIJ2015版も参照し、慎重に積雪荷重を評価することが望ましい

© 2016 Hokkaido University of Science All Rights Reserved.

12

積雪荷重の屋外測定

◆はじめに

- 積雪地域における太陽電池アレイの設置架台

- 積雪荷重に耐える必要がある(モジュールも)

- 積雪で埋まらないように高さを確保
- 滑落雪による軒下堆雪も高さ設計に配慮
- 想定される荷重に耐えられるように構造計算

無視
されがち

【研究内容】

架台に作用する積雪荷重の測定→設計資料構築

屋外測定の概要



屋外測定の概要



【気象データ測定】

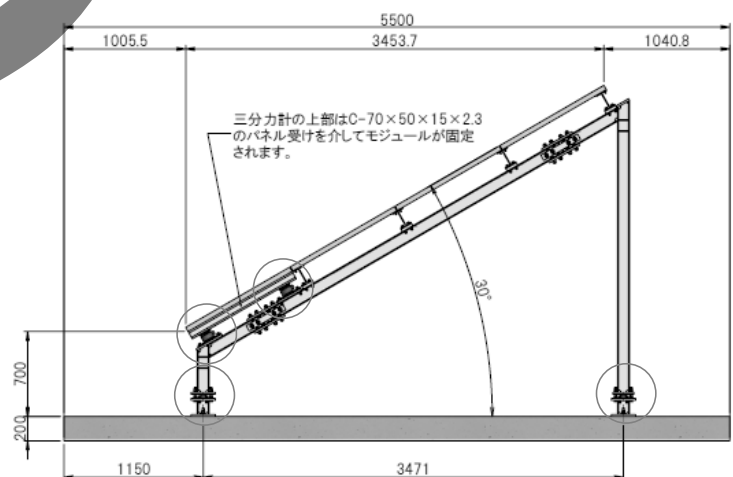
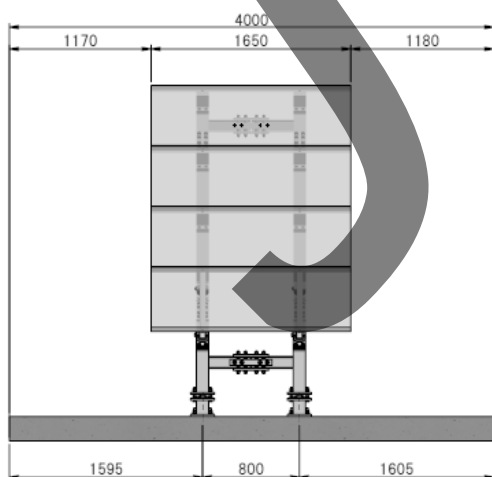
- ・気温
 - ・風向・風速
- ※10分間平均値を記録



【積雪状況撮影】

- ・KADEC-EYEで撮影
- ・撮影間隔: 30分

屋外測定の概要

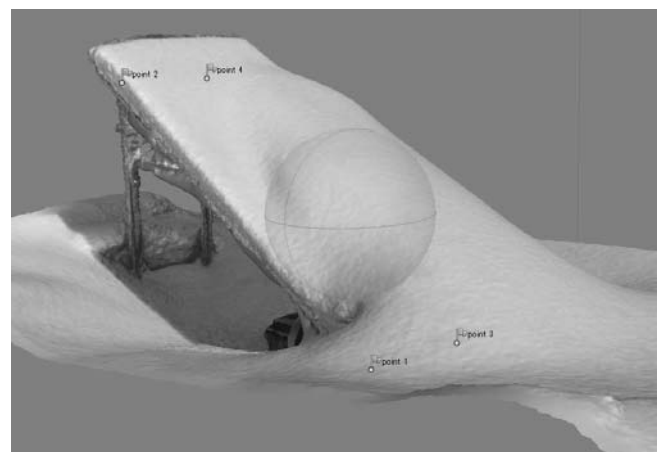
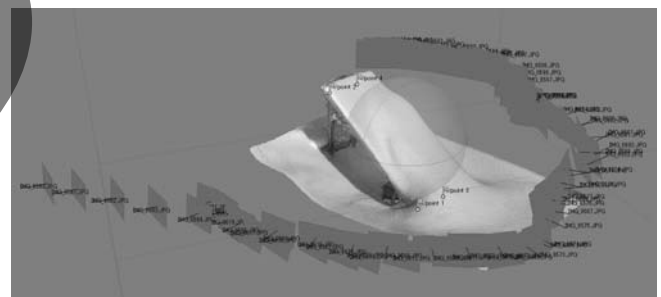


○ : ロードセル

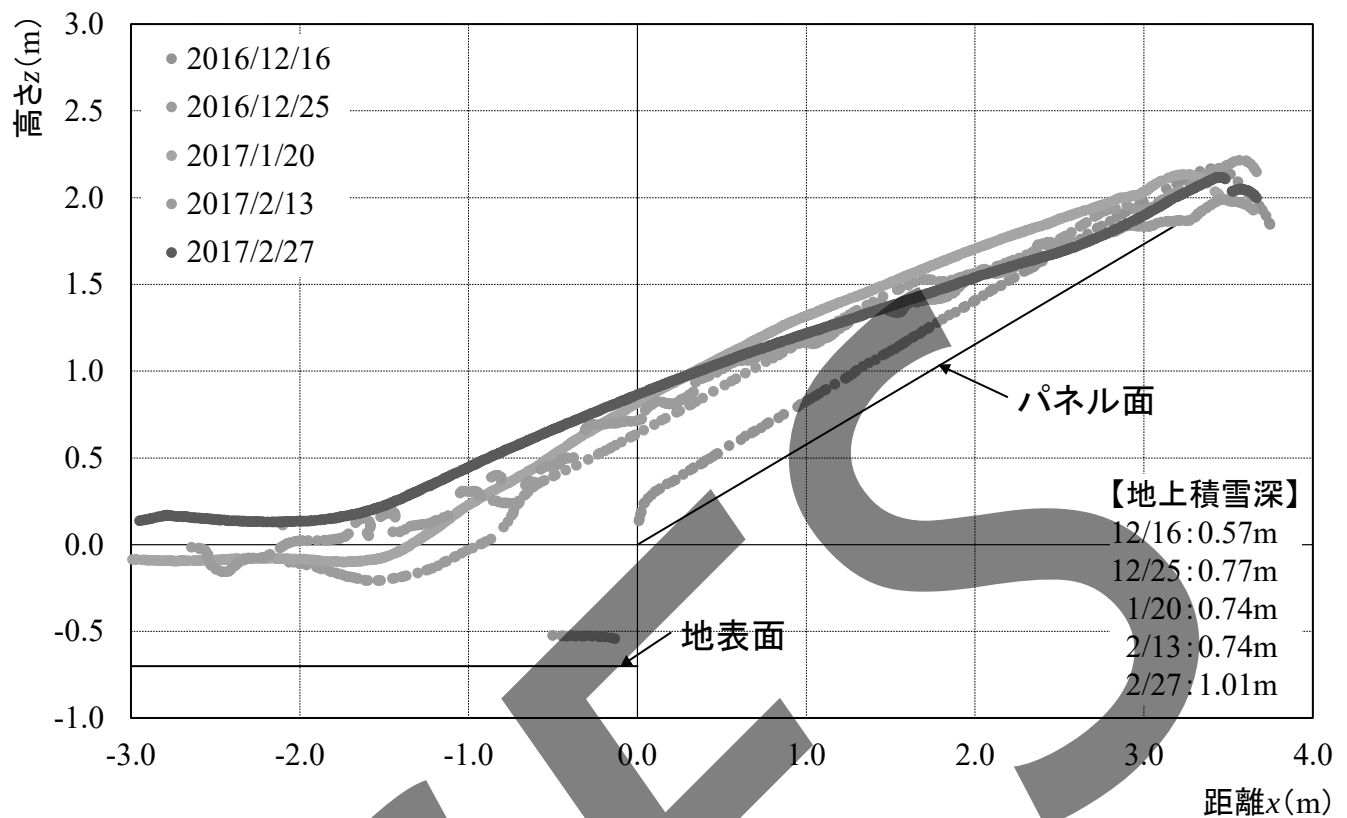
積雪状況の観測



積雪深測定 by PhotoScan(2017/2/27)



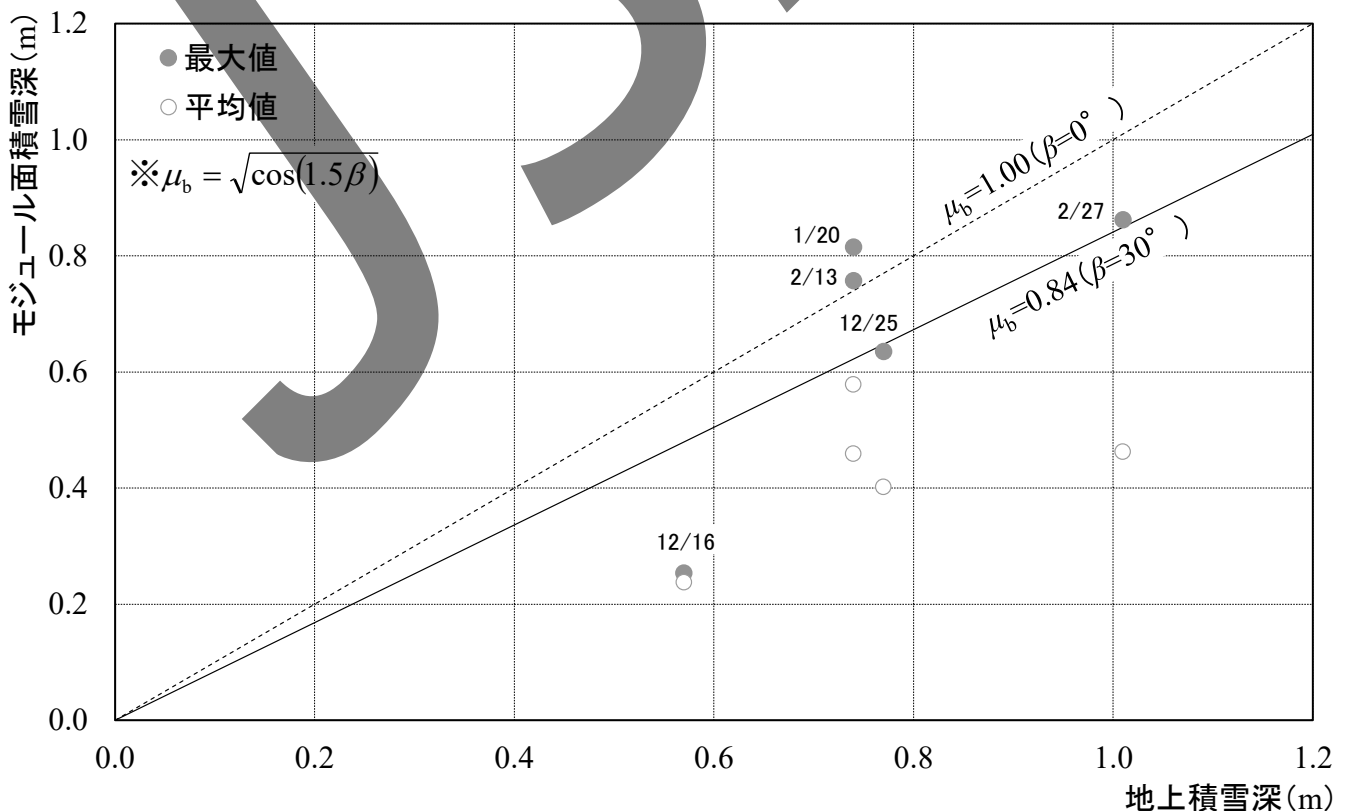
積雪深測定 by PhotoScan(中央測線)



© 2016 Hokkaido University of Science All Rights Reserved.

19

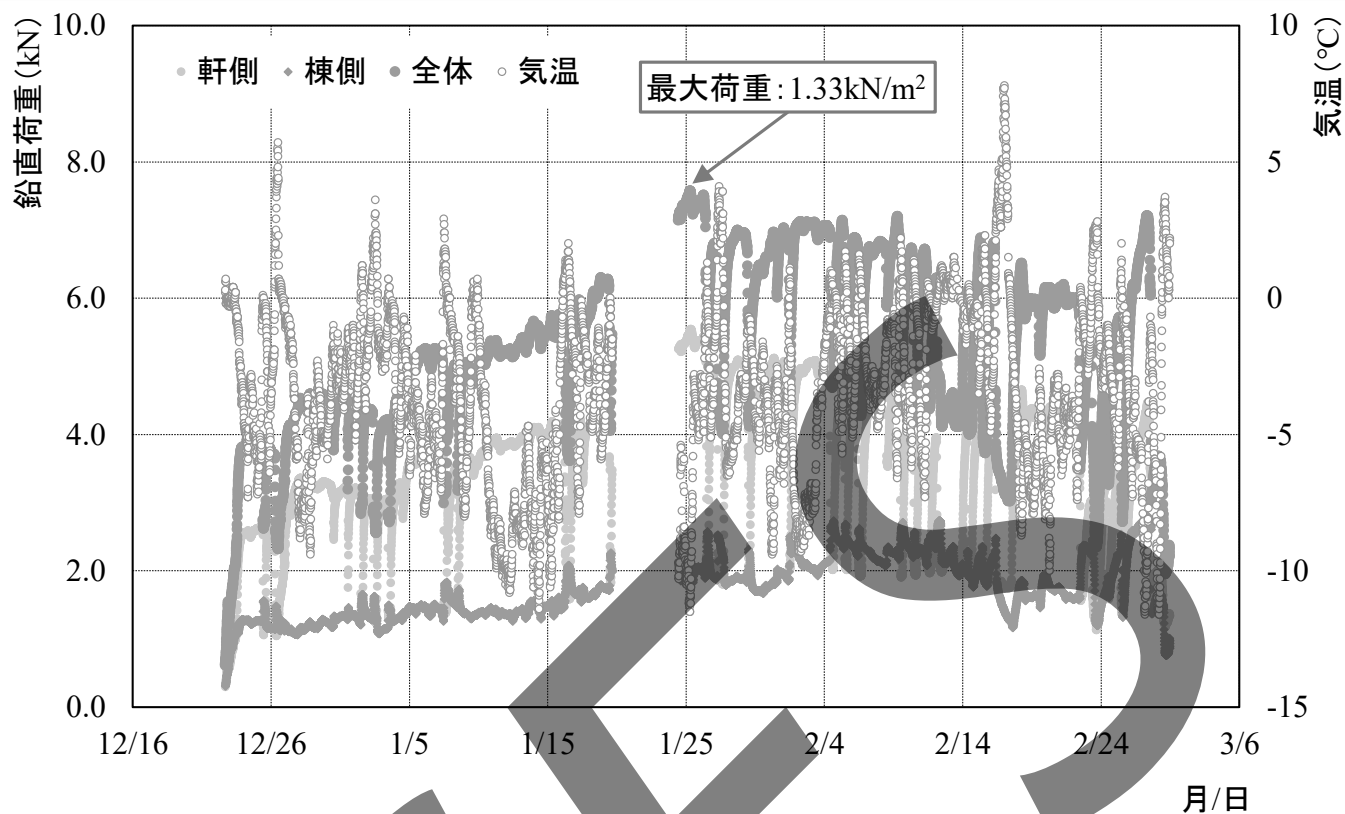
屋根形状係数 μ_b との比較



© 2016 Hokkaido University of Science All Rights Reserved.

20

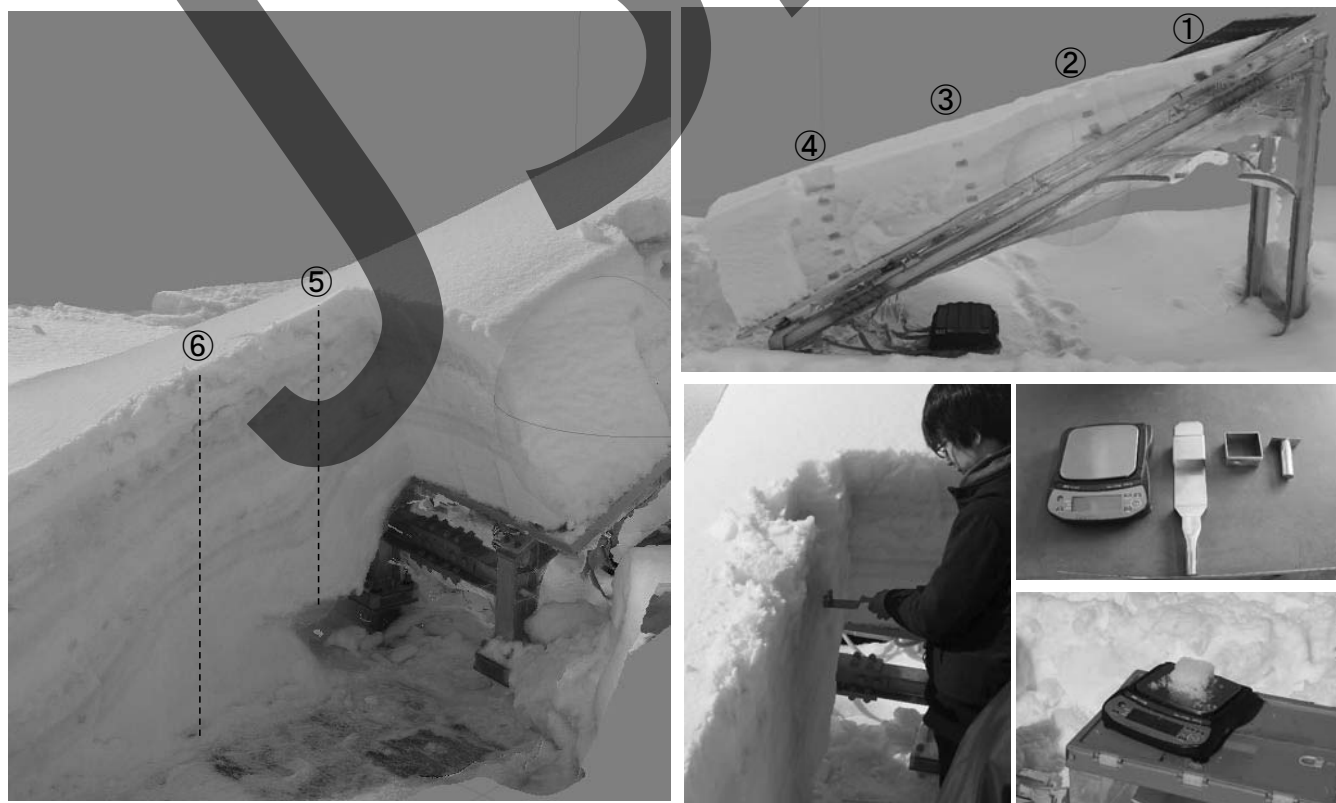
積雪荷重の測定結果



© 2016 Hokkaido University of Science All Rights Reserved.

21

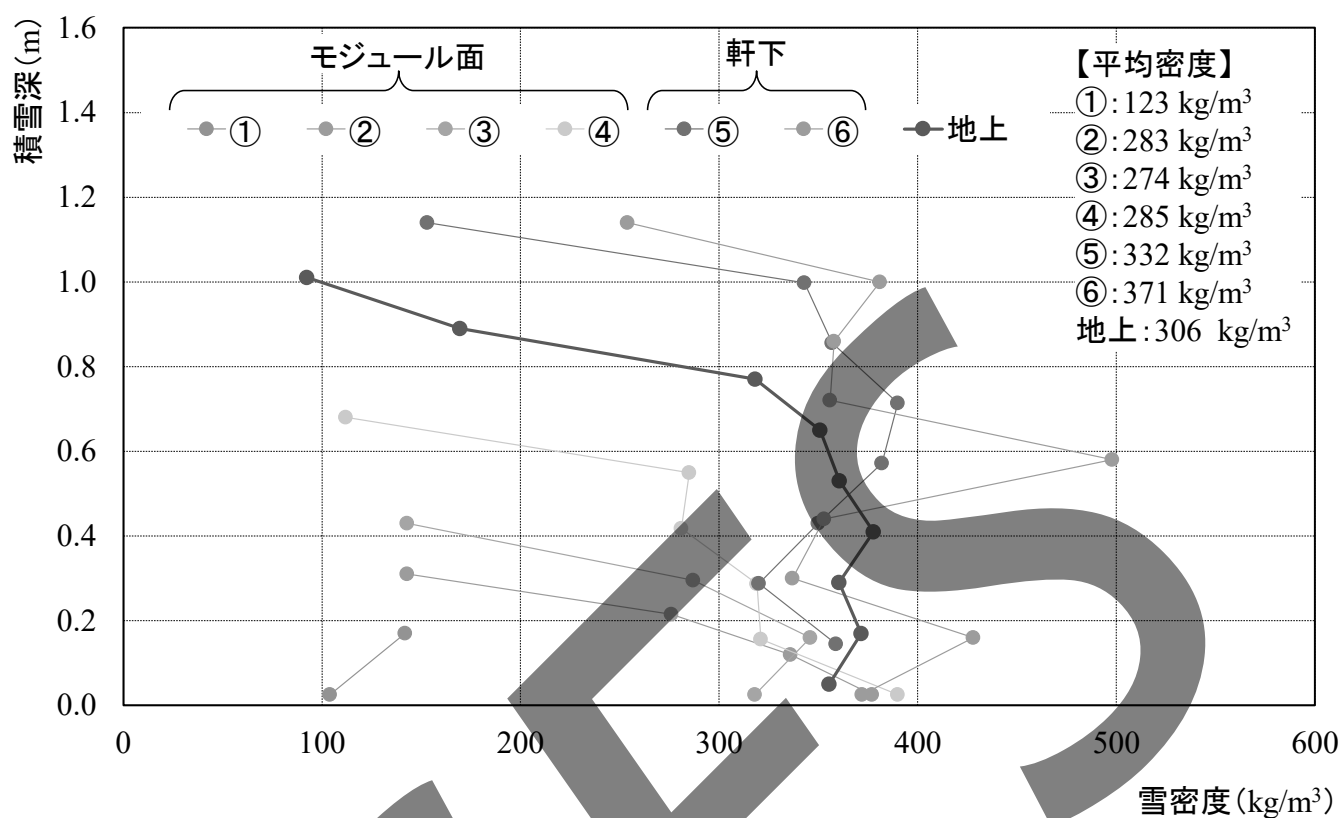
軒下積雪の断面観測と雪密度測定(2017/2/27)



© 2016 Hokkaido University of Science All Rights Reserved.

22

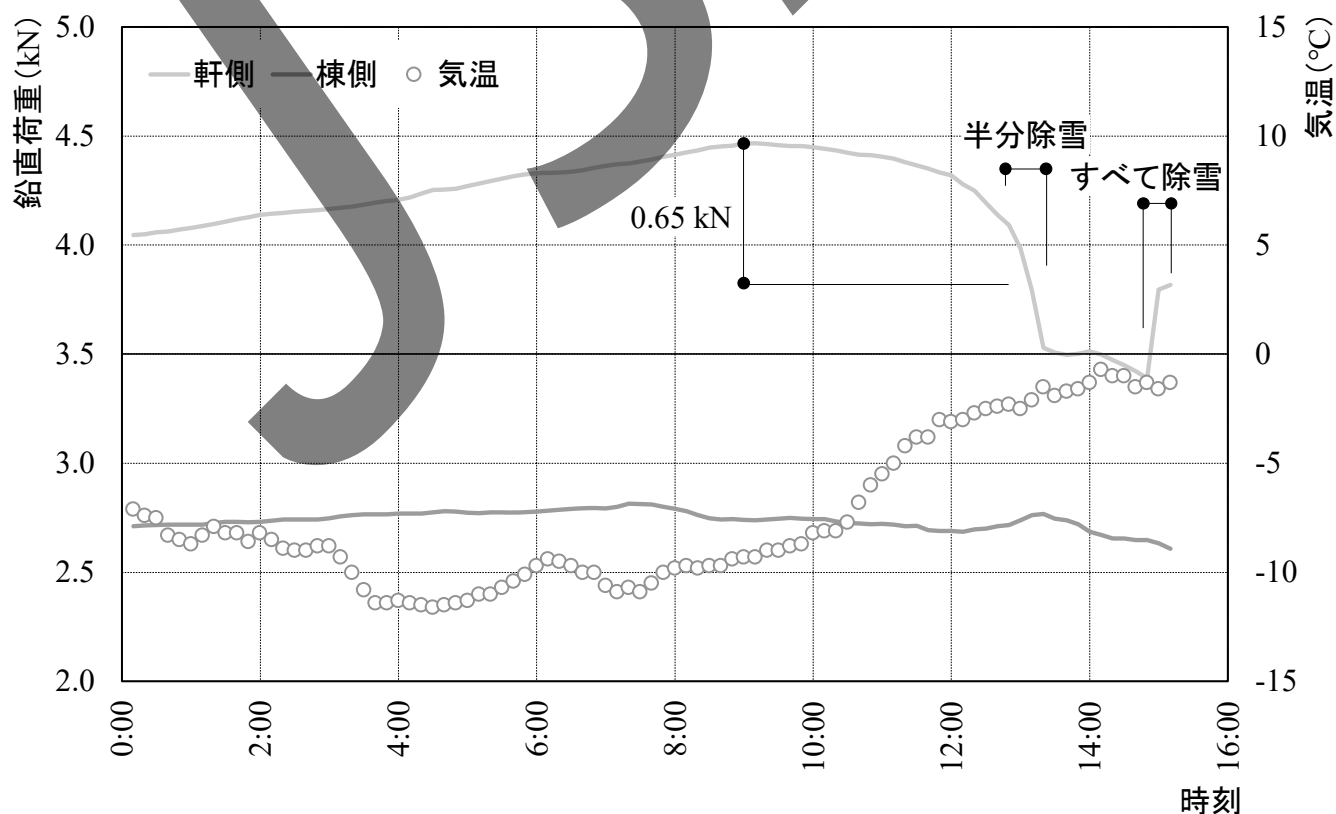
雪密度の測定結果(2017/2/27)



© 2016 Hokkaido University of Science All Rights Reserved.

23

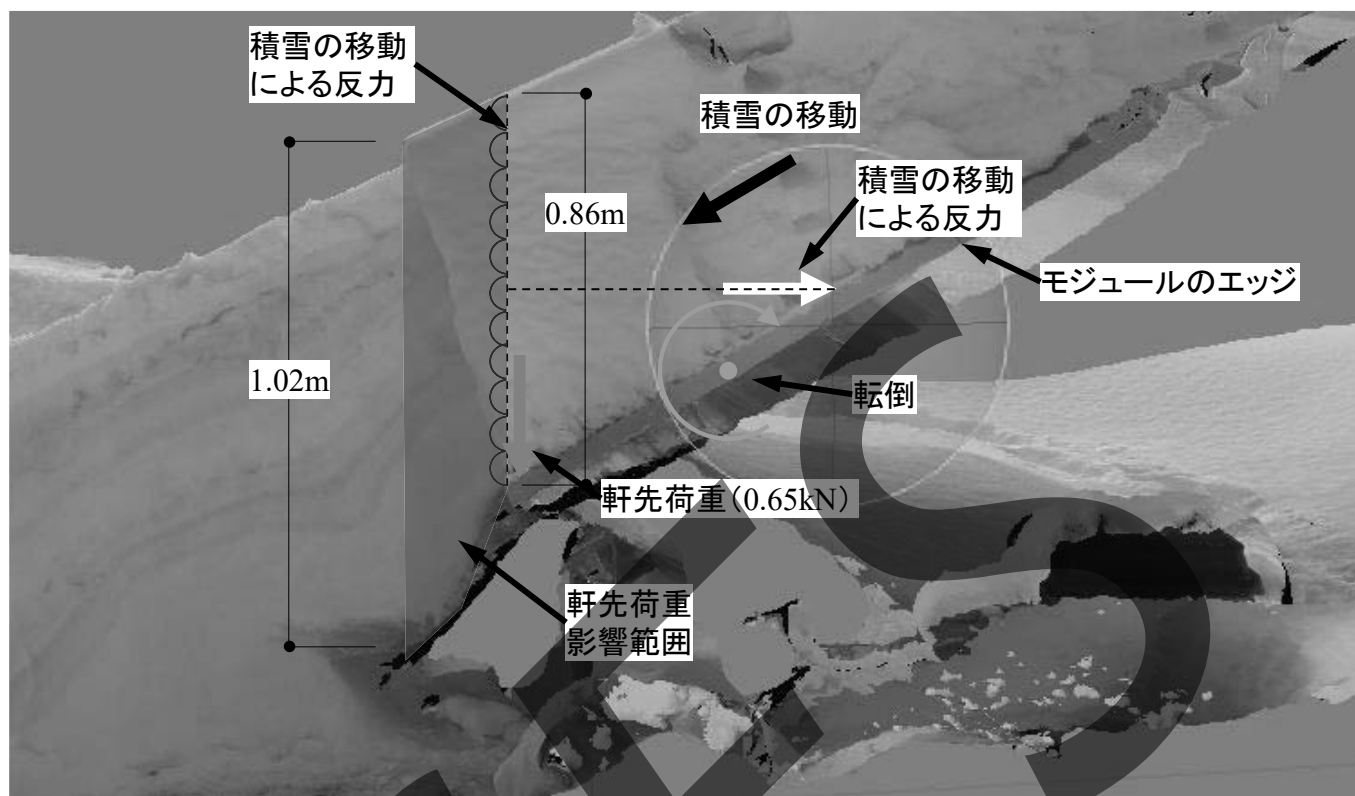
2月27日の荷重履歴(柱脚ロードセル)



© 2016 Hokkaido University of Science All Rights Reserved.

24

軒先荷重の考察



積雪荷重屋外測定まとめ

- 軒下堆雪により屋根形状係数 μ_b が1.0を上回る場合がある。
- 軒下堆雪は屋根雪に比べて雪密度が大きい。その要因は、屋根雪の滑雪駆動力による圧密であると考えられる。
- 軒下堆雪の状況を見ると、その堆雪がモジュール軒先にぶら下がっている様子が伺えた。
- 荷重の測定結果を見ると、一時的に荷重が低下していた。その要因が気温の上昇であった。
- 荷重の測定結果を見ると、軒側に大きな荷重が作用する傾向を示し、軒先の荷重が軒下の影響範囲から算定された荷重とほぼ同程度であった。
- 太陽電池アレイの勾配が緩いほど、軒先に積雪がぶら下がる荷重が増加するものと考えられる。