

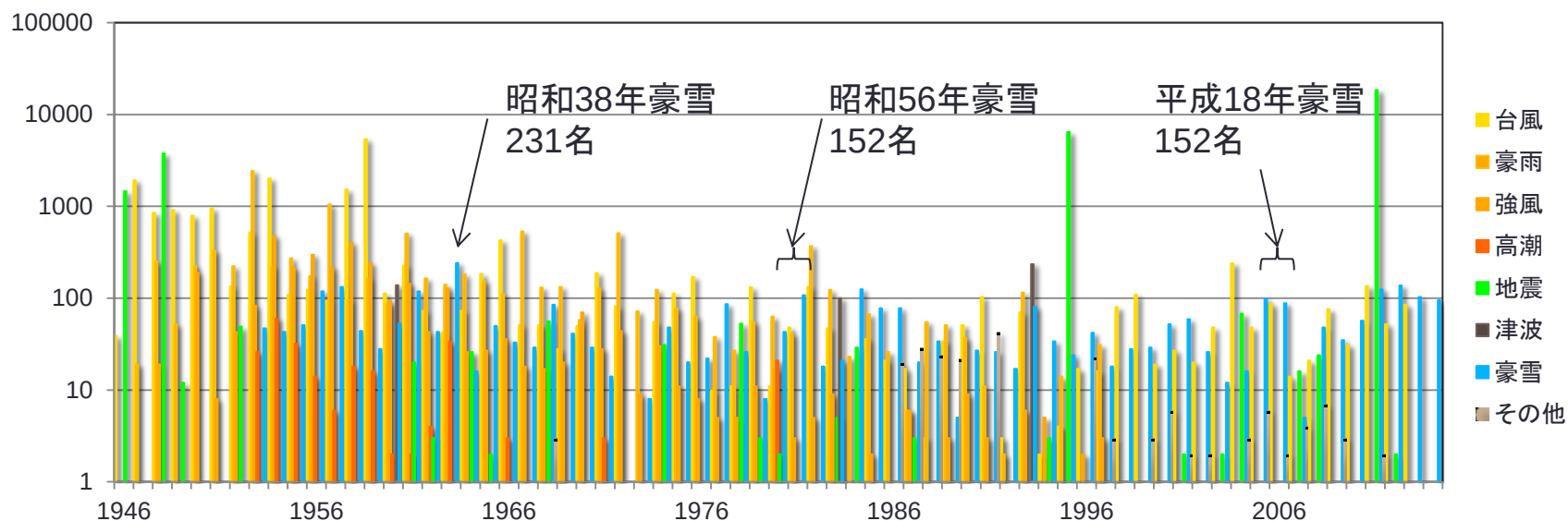
今後の積雪荷重の考え方

2015.9.7

サマーセミナー・夢空間2015

千葉大学 高橋 徹

我が国における自然災害による死者の推移

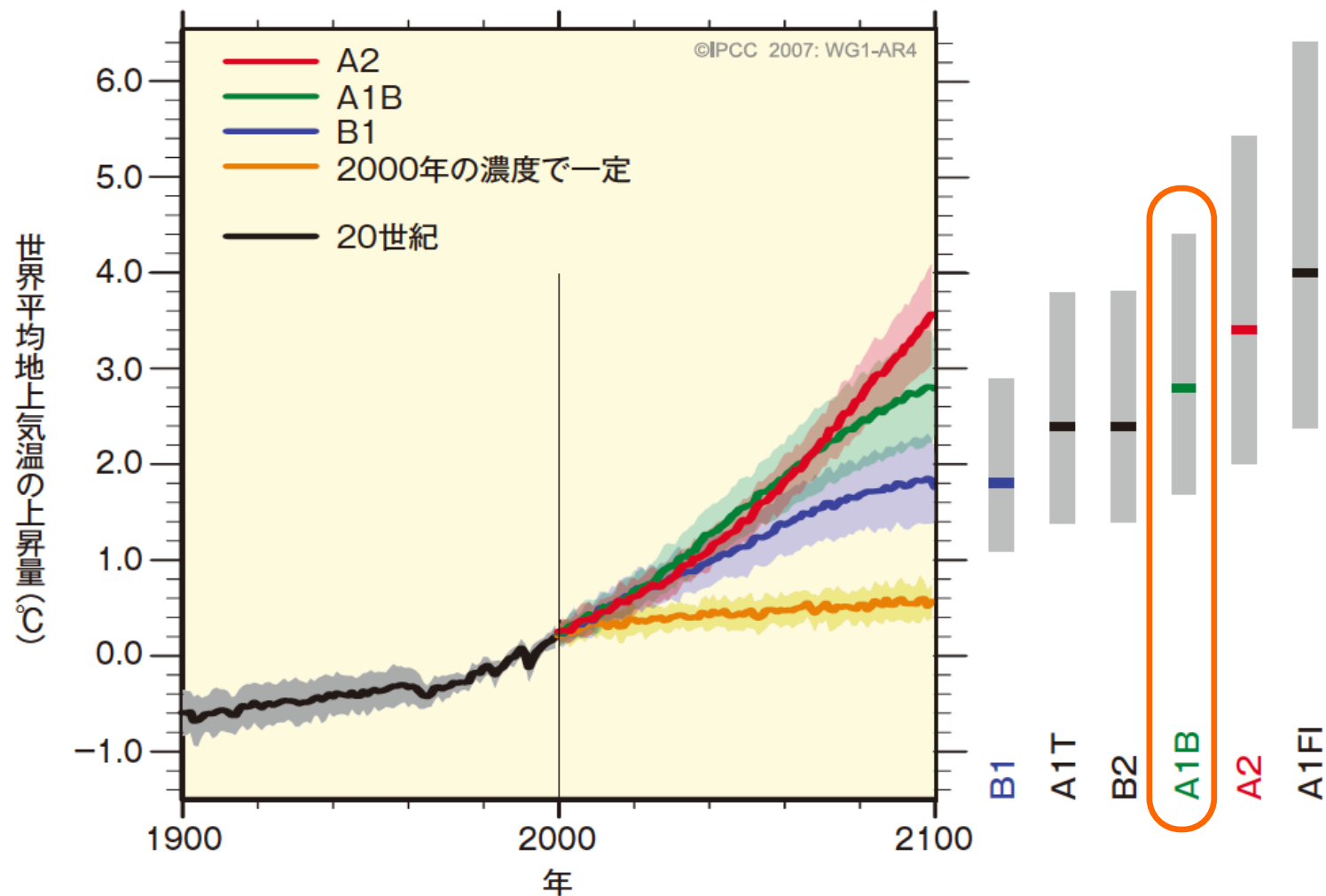


- ・地震災害は突破的に大きな値を取る。
 - ・風水害は過去に比べればおしなべて減少傾向にある。
 - ・豪雪は集計開始以降唯一0になった年がなく、多くはないが減りもしない。
- (暦年統計なので豪雪は2年に跨がりピークは下がって表示される。)

過去の豪雪・大雪災害の特徴

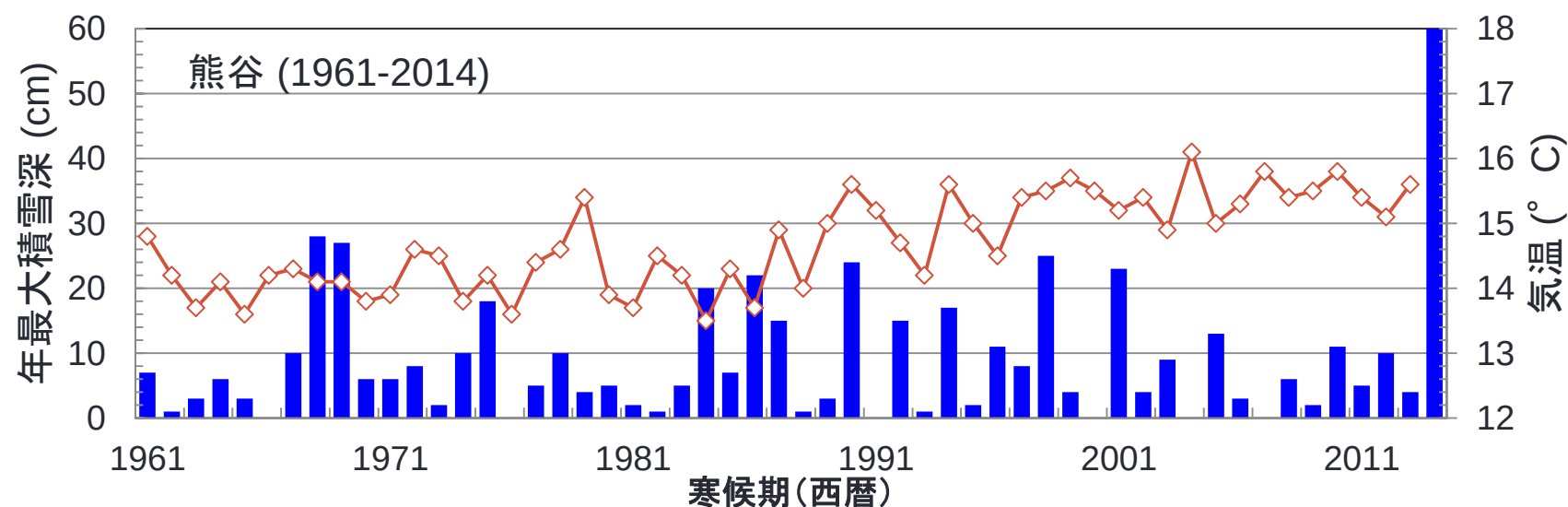
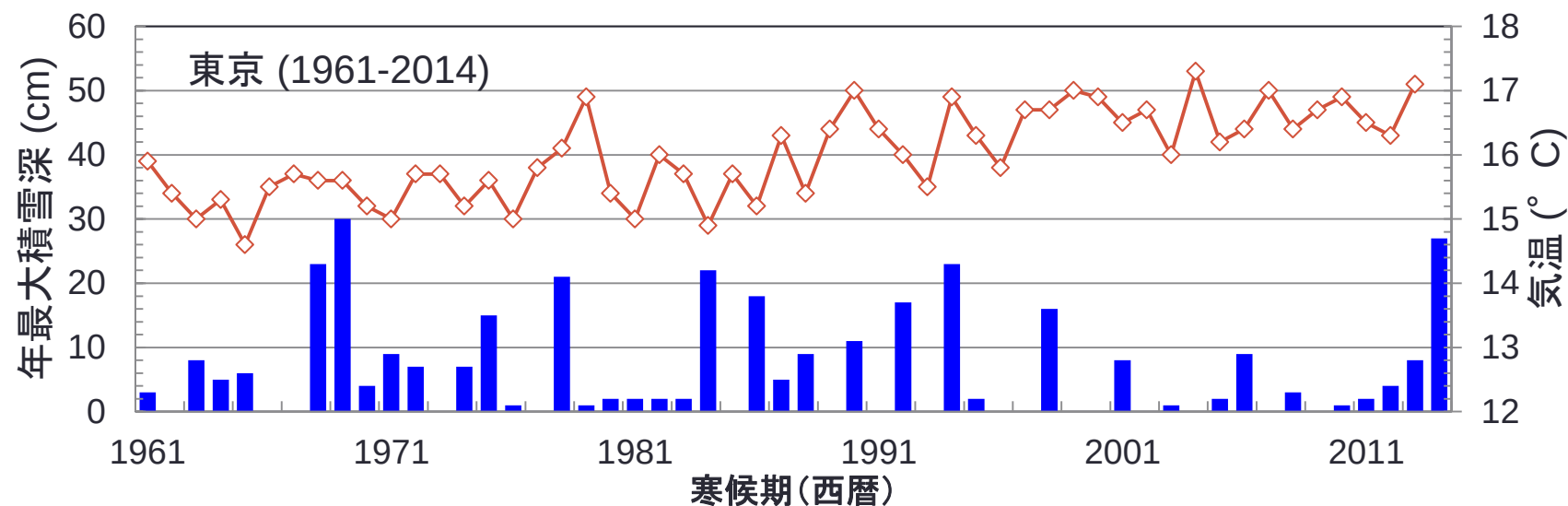
- 昭和38年豪雪：死者・行方不明者231名
 - 戦後初の豪雪，木造住家被害
 - 木造大スパン構造物の被害
 - 交通網の麻痺
- 昭和56年豪雪：死者・行方不明者152名
 - 大規模鉄骨造の相次ぐ倒壊
 - クリスマス豪雪（低気圧型）と年明けの山雪型の複合
- 平成18年豪雪：死者152名
 - 寒候期初頭の急激な降雪
 - 除雪作業中の高齢者の死亡事故が7割
- 平成23年から4年連続の大雪：4年間の死者461名
 - 非豪雪地帯での建物被害，人的被害，交通網の麻痺

温暖化傾向と雪(IPCCの予測)



出典: 気候変動に関する政府間パネル 第4次評価報告書 第1作業部会の報告

日平均気温と年最大積雪深の推移



出典: アメダスデータを加工

ここで屋根雪荷重の算定式のおさらい

- 屋根雪荷重の基本値 S (kN/m²)の算定式※

$$S = \mu_0 S_0$$

ここで, μ_0 : 屋根形状係数

S_0 : 地上積雪重量 (kN/m²)

屋根形状係数 μ_0 は屋根の形状や勾配によって定まる係数

地上積雪重量 S_0 の算定

- 地上積雪重量 S_0 (kN/m²) の算定式

$$S_0 = k_{\text{env}} d_0 p_0$$

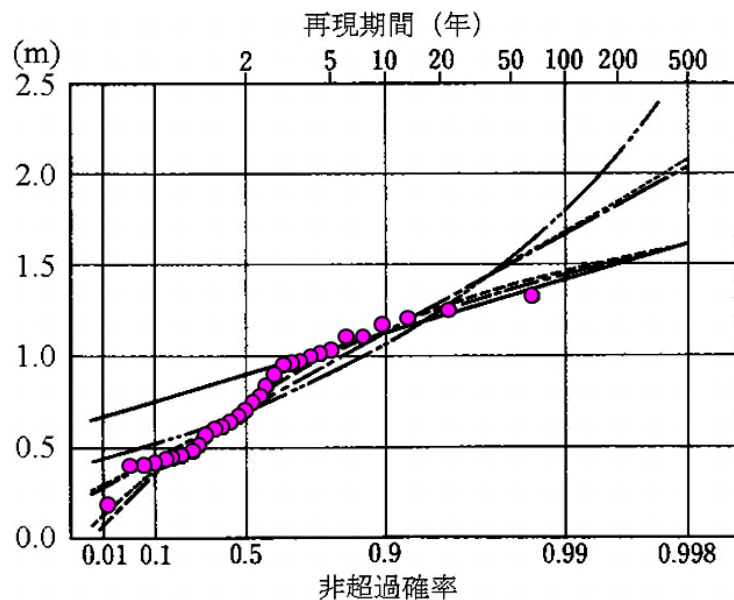
ここで, k_{env} : 環境係数

d_0 : 基本地上積雪深 (m)

p_0 : 等価単位積雪重量 (kN/m³)

基本地上積雪深 d_0

- 基本地上積雪深 d_0 は、地上積雪の観測資料に基づいて推定される。日本建築学会の建築物荷重指針では年最大積雪深の再現期間100年に対する値。施行令(建設省告示1455号)では再現期間50年に対する値。



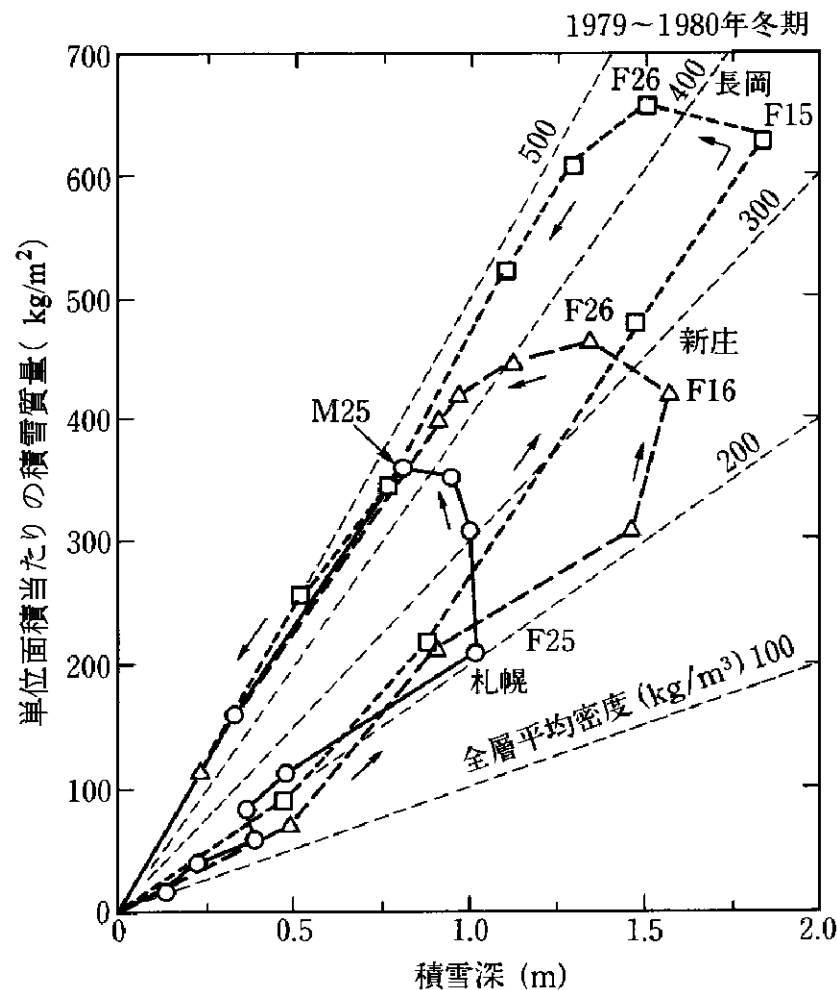
(c) 青森県 脇野沢 Weibull分布 (タイプC)

凡例

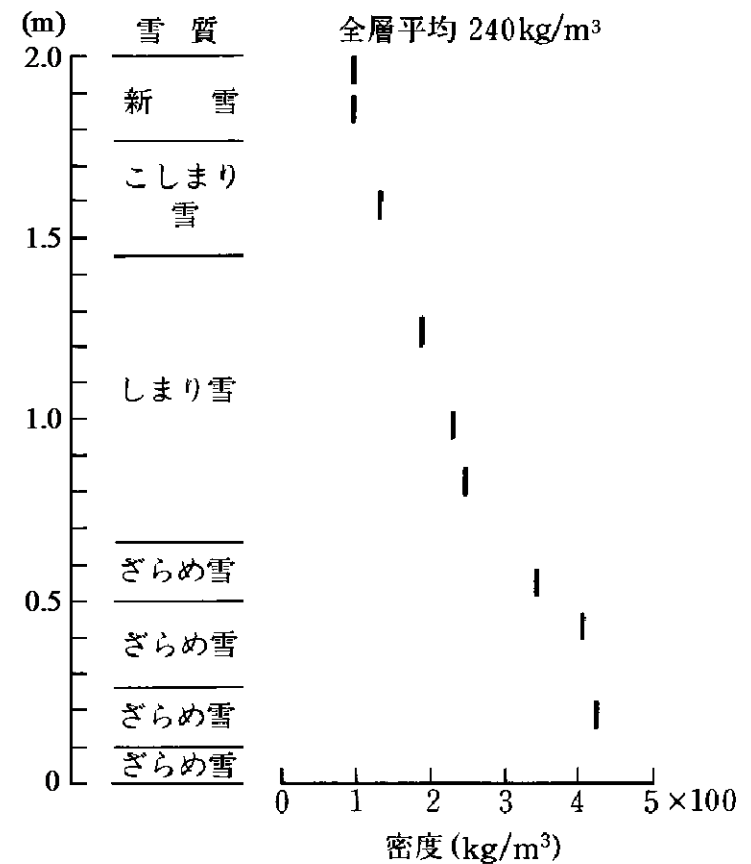
- Gumbel分布
- - - Frechet分布
- · - Weibull分布
- 正規分布
- · - 対数正規分布
- 上位1/3に対する
Gumbel確率紙上
での直線回帰

地点名の右の表示分布型は
各々の最適分布型である

雪の密度(等価単位積雪重量 p_0)

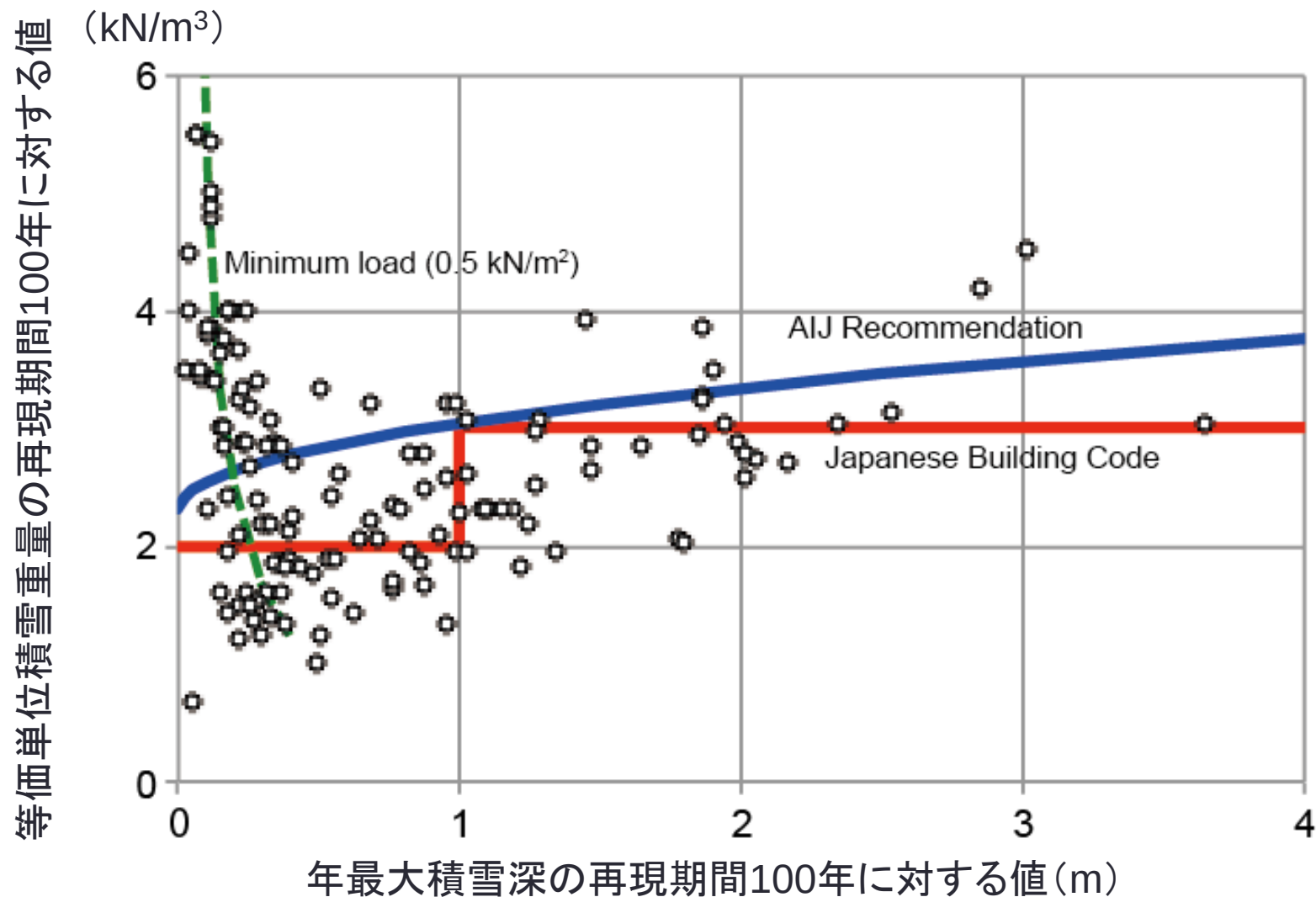


出典: 中村ら(雪氷防災, 白亜書房, 1986)



出典: 前田(AIJ論文報告集, No.319, 1982)

雪の密度(等価単位積雪重量 p_0)



雪の密度(等価単位積雪重量 p_0)

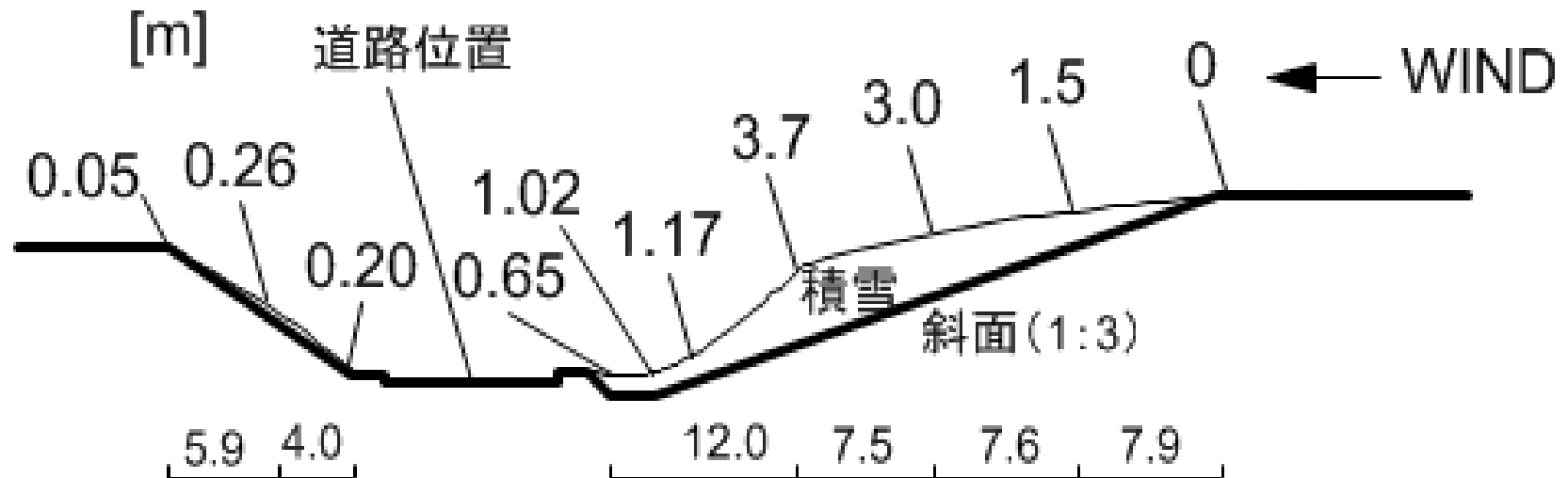
- 比較的観測資料が豊富な年最大積雪深に掛けて年最大積雪重量が算出できるように、**等価な**単位密度を用いる。
- 建築基準法施行令で規定しているのは最低限度である。
- 運用上、1mを若干下回る地域での安全性に弱点がある。
- 建築学会の算定式:

$$p_0 = 0.72\sqrt{d_0/d_{\text{ref}}} + 2.32 \quad [\text{kN/m}^3]$$

d_{ref} : 無次元化のための単位積雪深(1m)

環境係数 k_{env}

- ・具体的な算定式を示すことは難しい。
- ・吹きだまりの恐れのある場所で1.0以上とする。



窪地に発生した吹きだまりの実測例(建築物荷重指針・同解説2015)

屋根形状係数 μ_0

- 屋根形状係数 μ_0 の算定式

$$\mu_0 = \mu_b + \mu_d + \mu_s$$

ここで,

μ_b : 基本となる屋根形状係数

μ_d : 風による偏分布に関する屋根形状係数

μ_s : 屋根上滑動による偏分布に関する屋根形状係数

cf. 建築基準法施行令 $m_b = \sqrt{\cos(1.5b)}$

最近の雪害の例

- 1998年：山梨県内：屋内運動場3棟倒壊
- 2005年：2004年中越地震直後の豪雪で269棟全壊判定
- 2006年：平成18年豪雪（建物被害はわずか）
- 2011年：山陰地方で倉庫の倒壊，東北地方で民家の被害
- 2012年：夕張で廃校の体育館等倒壊
- 2013年：最終処分場上屋倒壊
- 2014年：関東甲信地方で多数の倒壊
- 2015年：水力発電所建屋の屋根崩落，旅館の倒壊

1998年山梨県内の雪害



2004年中越地震直後の豪雪による被害



2004年中越地震直後の豪雪による被害



平成18年(2006年)豪雪の被害



2011年の大雪被害



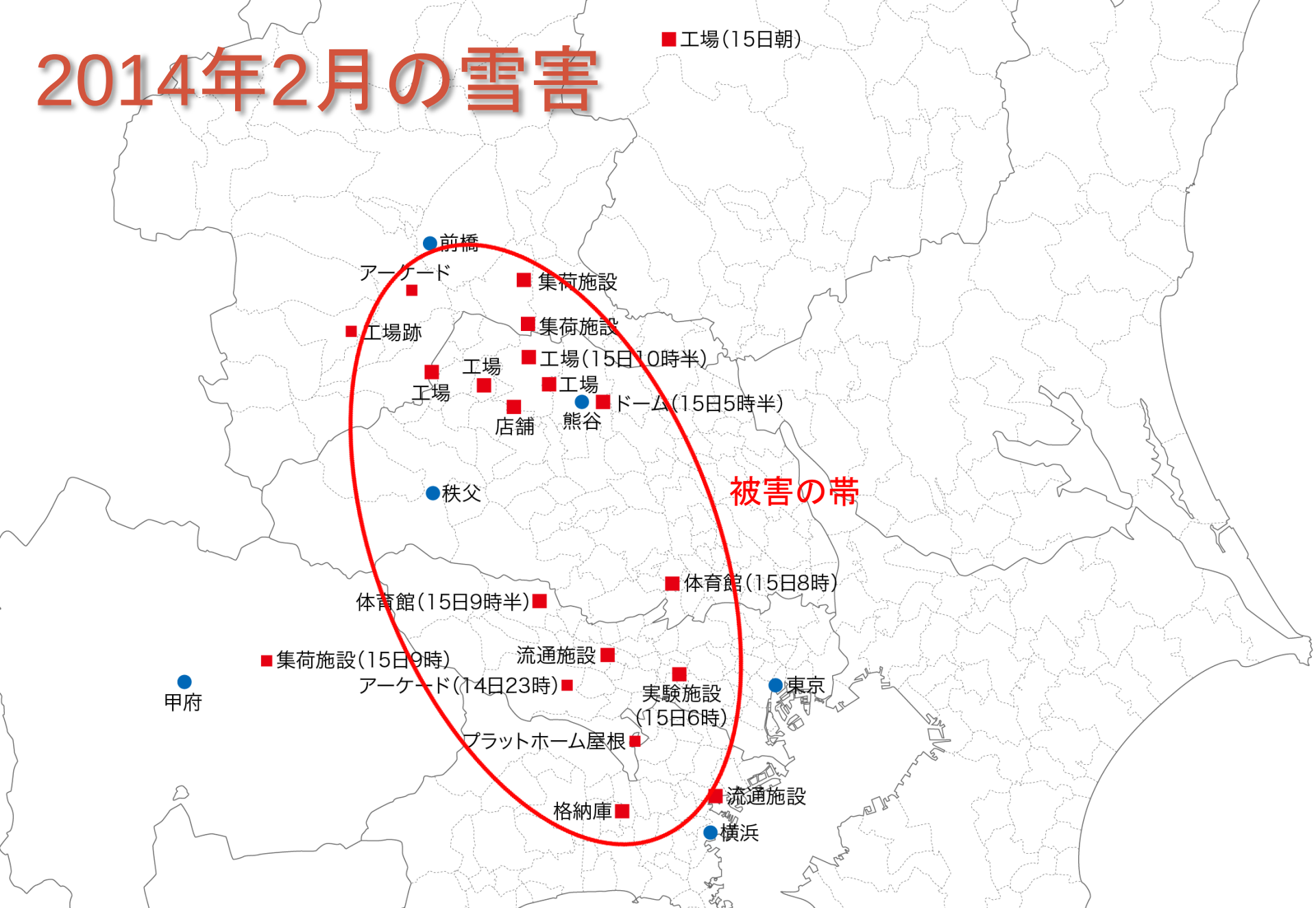


2011/01/29

2011年寒候期の雪被害



2014年2月の雪害



気象官署(●)と主な被害地点(■)

屋内運動場



屋内運動場



総合体育館



総合体育館



2014/03/08

野菜集送センター



野菜集送センター



膜構造物



クローズアップ



膜構造物



撮影：中村一樹

東京(2014年2月)降水量96mmで27cm

東京 2014年2月(日ごとの値) 主要要素

日	気圧(hPa)		降水量(mm)			気温(℃)			湿度(%)		風向・風速(m/s)					日照時間(h)	雪(cm)	
	現地	海面																
	平均	平均	合計	最大		平均	最高	最低	平均	最小	平均風速	最大風速		最大瞬間風速			降雪合計	最深積雪値
				1時間	10分間							風速	風向	風速	風向			
1	1016.8	1021.3	—	—	—	7.9	12.3	3.8	52	31	1.8	4.1	北西	6.8	北西	8.1	—	—
2	1006.4	1010.9	0.0	0.0	0.0	9.3	13.3	6.1	66	48	1.5	3.7	南南東	5.7	南南東	3.4	—	—
3	999.1	1003.5	—	—	—	12.8	17.8	7.0	70	52	2.2	6.5	西北西	9.7	南	5.9	—	—
4	1001.9	1006.4	5.0	1.5	0.5	5.0	11.8	0.9	75	43	3.7	8.2	北北西	15.0	北北西	0.0	—	0
5	1013.2	1017.8	—	—	—	1.6	5.2	−0.5	35	24	4.5	7.8	北北西	15.6	北北西	8.6	—	—
6	1017.8	1022.3	—	—	—	2.7	6.2	−0.3	33	26	3.7	6.3	北西	11.3	北西	3.3	—	—
7	1016.5	1021.0	—	—	—	4.0	7.2	1.1	37	24	2.9	5.7	北北西	13.6	北西	7.7	—	—
8	1008.4	1013.0	29.5	3.5	1.0	0.3	4.0	−0.9	86	46	4.9	9.0	北北西	19.6	北北西	0.0	22)	27
9	1003.4	1007.9	1.5	1.0	0.5	5.4	9.2	1.1	58	42	3.9	8.2	北北西	17.3	北北西	6.7	—	26
10	1012.3	1016.8	—	—	—	6.0	8.7	3.3	38	23	2.9	6.3	北北西	11.3	北西	4.3	—	9
11	1015.9	1020.5	0.0	0.0	0.0	3.3	4.6	2.1	51	38	3.5	6.1	北北西	10.3	北北西	0.0	—	4
12	1016.1	1020.6	—	—	—	4.8	8.2	2.8	49	44)	3.3	5.8	北北西	11.6	北	2.0	—	1
13	1019.5	1024.1	—	—	—	5.3	8.2	2.4	47	33	2.0	4.3	南南東	7.0	北北西	0.0	—	—
14	1021.8	1026.4	28.5	4.5	1.0	1.4	5.4	−0.2	83	38	3.8	6.8	北北西	12.6	北北西	0.0	18	18
15	999.5	1004.0	67.5	10.0	3.0	3.9	6.9	−0.2	79	51	5.4	9.8	北北西	15.8	北西	0.5	9	27
16	1009.5	1014.0	—	—	—	6.9	10.0	4.5	43	29	5.6	11.0	北西	23.1	北西	9.8	—	10
17	1015.2	1019.7	—	—	—	7.3	12.9	3.9	36	25	3.6	7.0	北北西	13.1	北西	9.3	—	4
18	1013.4	1017.9	—	—	—	4.7	8.8	2.9	34	25	4.9	7.8	北北西	14.3	北北西	8.4	—	—
19	1014.8	1019.4	—	—	—	4.7	9.0	1.5	37	24	4.3	7.6	北北西	13.2	北西	8.5	—	—
20	1017.3	1021.8	—	—	—	4.6	7.6	1.4	44	28	1.9)	4.8	北西	8.8	北西	3.9]	—	—
21	1017.6	1022.1	—	—	—	5.5	10.3	2.8	35	22	3.7	7.0	北北西	12.6	北西	9.9	—	—
22	1021.8	1026.4	—	—	—	5.1	9.5	1.7	35	22	3.0	6.1	北北西	10.0	北北西	9.3	—	—
23	1023.6	1028.2	—	—	—	5.6	8.3	2.9	48	40	2.2	4.0	北西	6.7	北西	2.6	—	—
24	1022.6	1027.2	—	—	—	6.3	8.8	4.0	50	40	2.0	3.7	東南東	6.7	北北西	2.3	—	—
25	1020.0	1024.5	—	—	—	8.2	12.9	3.4	48	29	2.1	5.0	北北西	9.3	北	10.1	—	—
26	1024.4	1028.9	—	—	—	10.0	14.2	5.7	47	30	2.8	5.3	南東	8.6	南南東	9.9	—	—
27	1018.5	1023.0	7.5	3.5	1.0	10.0	13.7	6.8	78	62	2.2	6.1	南	11.1	南東	0.0	—	—
28	1012.1	1016.5	18.0	9.5	2.5	13.8	18.6	8.5	62	33	3.2	6.7	北北西	12.1	北	5.3	—	—

熊谷(2014年2月)降水量140mmで62cm

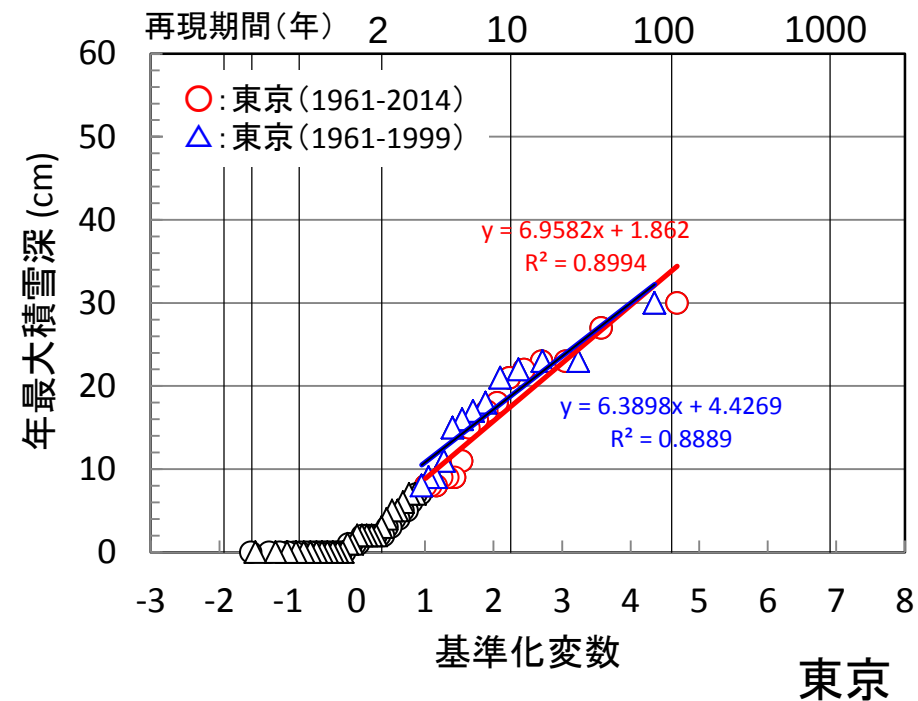
熊谷 2014年2月(日ごとの値) 主要要素

日	気圧(hPa)		降水量(mm)			気温(℃)			湿度(%)		風向・風速(m/s)					日照 時間 (h)	雪(cm)	
	現地	海面	合計	最大		平均	最高	最低	平均	最小	平均 風速	最大風速		最大瞬間風速			降雪 合計	最深積雪 値
	平均	平均		1時間	10分間							風速	風向	風速	風向			
1	1017.6	1021.6	—	—	—	5.3	11.8	-1.2	49	23	1.7	4.1	西北西	7.3	西北西	8.3	—	—
2	1007.1	1011.0	0.0	0.0	0.0	6.4	13.7	1.7	58	34	1.7	3.4	西北西	5.6	西北西	4.2	—	—
3	1000.0	1003.9	—	—	—	7.9	16.4	-0.1	69	38	1.2	2.6	西	4.2	南南東	6.3	—	—
4	1002.9	1006.8	9.5	3.5	1.0	3.2	9.1	-2.1	71	43	2.9	6.6	北西	12.2	西北西	0.0	3	3
5	1014.1	1018.2	—	—	—	-0.5	3.9	-4.7	45	27	4.0	9.3	北西	17.3	北西	10.2	—	3
6	1018.6	1022.6	—	—	—	1.0	6.2	-4.2	39	27	4.1	7.6	西	13.3	西北西	6.4	—	—
7	1017.2	1021.2	—	—	—	2.7	7.7	-1.4	39	20	3.6	7.5	西北西	14.3	北西	9.5	—	—
8	1010.9	1015.0	38.0	5.0	1.0	-0.8	1.2	-1.9	88	44	2.6	5.8	北西	10.4	北西	0.0	43	43
9	1004.6	1008.5	0.5	1.5	0.5	3.7	8.3	0.4	67	38	3.8	7.9	西北西	14.7	西北西	7.6	—	43
10	1013.3	1017.3	—	—	—	3.6	8.5	-0.4	47	22	3.4	5.6	北西	9.8	西北西	7.3	—	19
11	1016.9	1020.9	—	—	—	2.7	6.1	-0.6	48	28	3.3	6.2	西北西	10.2	西	6.7	—	15
12	1017.4	1021.4	—	—	—	3.4	8.0	0.9	55	34	1.8	3.5	北西	6.1	西北西	3.3	—	11
13	1020.0	1024.0	—	—	—	3.5	9.2	-2.9	52	29	2.9	6.1	西北西	11.7	西北西	8.7	—	6
14	1023.6	1027.7	36.0	4.0	1.0	0.6	3.1	-0.3	82	44	1.8	4.1	西北西	6.6	北西	0.0	33	35
15	1001.7	1005.7	104.0	18.5	4.0	2.6	5.2	-0.3	82	58	5.1	8.0	西北西	14.2	北西	0.0	27	62
16	1010.6	1014.5	—	—	—	4.9	7.8	1.8	53	37	6.2	11.9	北西	22.1	北西	9.7	—	38
17	1016.2	1020.2	—	—	—	3.5	9.6	-2.7	51	35	3.5	6.6	北西	10.7	北西	10.2	—	31
18	1014.6	1018.6	—	—	—	2.1	6.1	0.0	47	30	5.1	7.7	北西	12.9	北西	9.5	—	26
19	1015.7	1019.6	—	—	—	2.2	6.7	-0.6	48	31	5.1	7.5	西北西	12.9	西北西	9.8	—	23
20	1018.1	1022.1	—	—	—	1.7	6.0	-3.5	54	32	2.0	4.1	北西	6.7	北西	8.5	—	21
21	1018.5	1022.5	—	—	—	2.6	6.9	-0.5	48	28	4.4	7.4	北西	13.0	北北西	10.4	—	19
22	1022.6	1026.7	—	—	—	2.7	8.0	-1.4	46	26	4.0	6.6	北西	11.3	北西	10.7	—	14
23	1024.3	1028.4	—	—	—	3.1	9.1	-3.2	51	25	2.1	3.7	北西	5.7	西北西	10.0	—	8]
24	1023.4	1027.4	—	—	—	3.7	8.7	-0.2	58	35	1.9	3.4	南南東	6.4	南東	5.2	—	6]
25	1020.7	1024.7	—	—	—	5.3	12.9	-2.6	55	27	2.5	7.8	北西	13.4	北西	10.3	—	3
26	1025.0	1029.0	—	—	—	7.4	13.8	0.1	52	28	2.3	5.7	西	8.2	西北西	10.0	—	—
27	1019.4	1023.3	0.5	0.5	0.5	6.9	9.6	3.8	75	65	1.4	3.0	西	4.9	北西	0.0	—	—
28	1012.8	1016.6	0.0	0.0	0.0	12.1	18.5	5.2	53	28	4.1	9.2	北西	15.9	北北西	8.7	—	—

甲府(2014年2月)降水量98.5mmで114cm

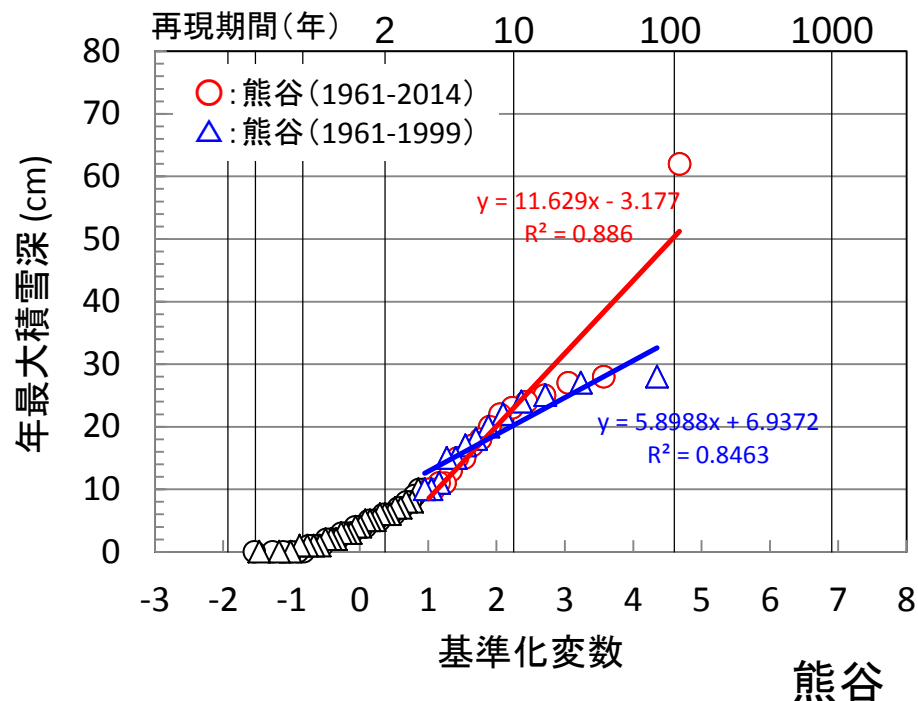
甲府 2014年2月(日ごとの値) 主要要素

日	気圧(hPa)		降水量(mm)			気温(℃)			湿度(%)		風向・風速(m/s)					日照時間(h)	雪(cm)	
	現地	海面	合計	最大		平均	最高	最低	平均	最小	平均風速	最大風速		最大瞬間風速			降雪合計	最深積雪値
	平均	平均		1時間	10分間							風速	風向	風速	風向			
1	986.7	1021.3	—	—	—	4.8	12.3	-1.9	56	27	1.1	2.2	西北西	3.2	北東	8.7	—	—
2	978.2	1012.4	0.5	0.5	0.5	5.0	12.2	0.7	78	53	1.1	2.5	南東	3.5	東南東	3.1	—	—
3	972.1	1005.9	—	—	—	7.1	14.9	0.1	78	46	1.3	2.9	西北西	3.7	南東	4.2	—	—
4	970.8	1004.9	3.5	2.5	1.0	4.2	7.1	0.4	62	25	3.8	12.5	北北西	19.3	北北西	0.0	—	—
5	981.9	1016.8	—	—	—	1.2	6.2	-2.7	27	13	4.3	9.4	北西	14.4	西	9.8	—	—
6	987.4	1022.7	—	—	—	-0.1	5.2	-4.9	41	21	3.1	6.9	北西	9.8	西北西	6.2	—	—
7	985.8	1020.7	—	—	—	2.0	7.0	-3.1	42	21	1.9	6.0	北西	9.1	北西	8.1	—	—
8	978.5	1013.4	39.0	5.5	1.5	-0.3	2.9	-1.0	88	41	1.6	3.9	南東	5.7	南東	0.0	45	43
9	974.9	1009.4	0.0	0.0	0.0	1.9	8.0	-2.5	71	30	1.9	5.4	北	10.2	北	6.3	—	43
10	982.9	1017.7	—	—	—	1.6	6.9	-3.3	61	23	1.4	3.9	西北西	5.5	北西	8.7	—	20
11	985.0	1019.9	—	—	—	1.9	6.6	-1.7	48	31	2.6	5.2	北西	7.6	西北西	7.2	—	15
12	985.6	1020.3	0.0	0.0	0.0	2.9	7.6	0.0	55	44	1.7	6.3	北西	9.0	西北西	3.5	—	8
13	989.2	1024.0	—	—	—	2.9	6.2	-0.3	57	37	1.8	4.5	西北西	6.7	北西	0.0	—	4
14	991.1	1026.4	58.0	8.0	2.0	0.2	2.4	-0.8	86	56	0.9	2.4	東	3.5	東	0.0	83	85
15	972.3	1006.6	40.5	8.0	2.0	2.4	6.0	-0.5	76	45	2.7	8.4	北北西	14.8	北西	1.7	29	114
16	981.9	1016.2	0.0	0.0	0.0	4.9	9.2	-2.2	41	20	6.3	13.4	北西	23.1	北西	10.1	—	84
17	986.1	1021.2	—	—	—	0.3	7.3	-5.7	62	34	1.3	6.2	西北西	9.4	西北西	10.1	—	53
18	983.3	1018.2	—	—	—	1.1	7.2	-5.1	57	28	2.2	7.3	北西	11.1	北西	10.0	—	47
19	985.1	1020.2	—	—	—	0.5	6.1	-4.2	59	30	1.5	3.8	北西	5.3	西北西	8.3	—	43
20	987.0	1022.1	—	—	—	0.3	5.0	-5.1	65	35	1.2	3.1	南東	4.5	南南東	7.1	—	41
21	987.4	1022.4	—	—	—	1.5	8.6	-4.3	56	19	1.8	6.3	北西	10.1	北西	10.2	—	35
22	991.4	1026.5	—	—	—	1.5	7.5	-4.0	57	31	1.5	4.1	西南西	5.9	西南西	8.7	—	26
23	992.7	1027.6	0.0	0.0	0.0	3.4	8.5	-0.2	55	38	1.5	3.5	北西	5.8	北西	7.3	—	19
24	991.7	1026.5	—	—	—	4.5	9.9	0.9	58	39	1.4	2.5	東南東	3.4	南	7.1	—	12
25	990.2	1024.9	—	—	—	4.6	12.9	-1.7	56	17	1.7	6.3	北西	10.6	北西	10.2	—	3
26	995.0	1029.8	—	—	—	5.0	13.0	-2.3	56	23	1.2	2.6	西南西	3.9	南南東	10.1	—	0
27	989.6	1024.1	0.5	0.5	0.5	5.4	8.4	3.2	83	72	1.2	2.8	東南東	4.2	東南東	0.2	—	0
28	983.1	1016.9	0.0	0.0	0.0	10.0	18.2	4.0	70	34	1.5	4.1	西北西	5.9	西北西	6.2	—	0



○ △

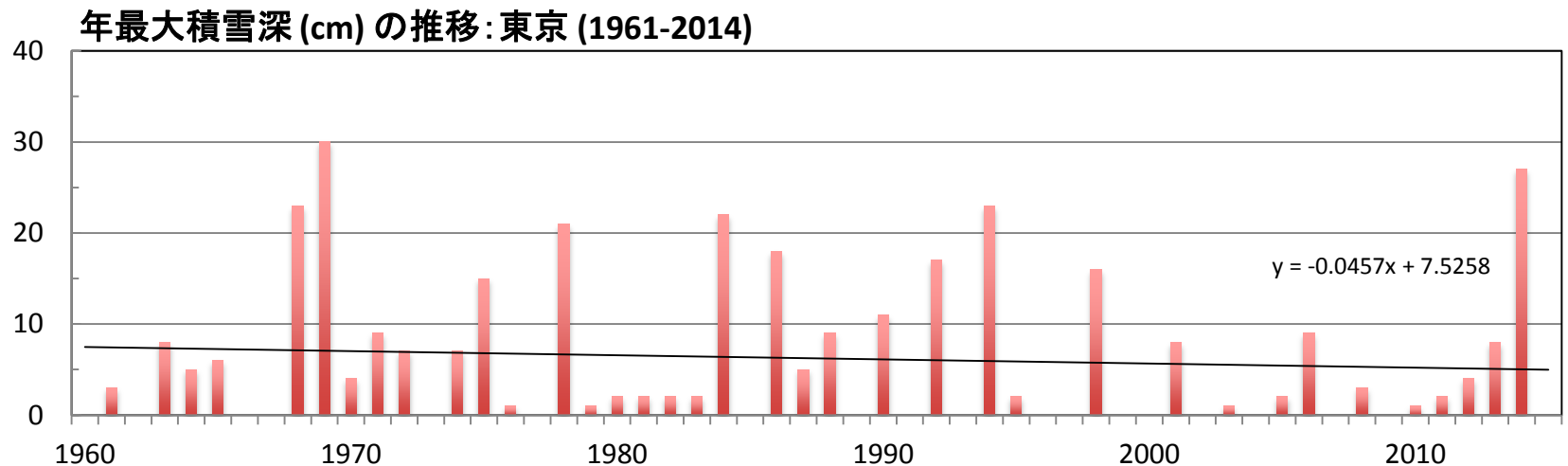
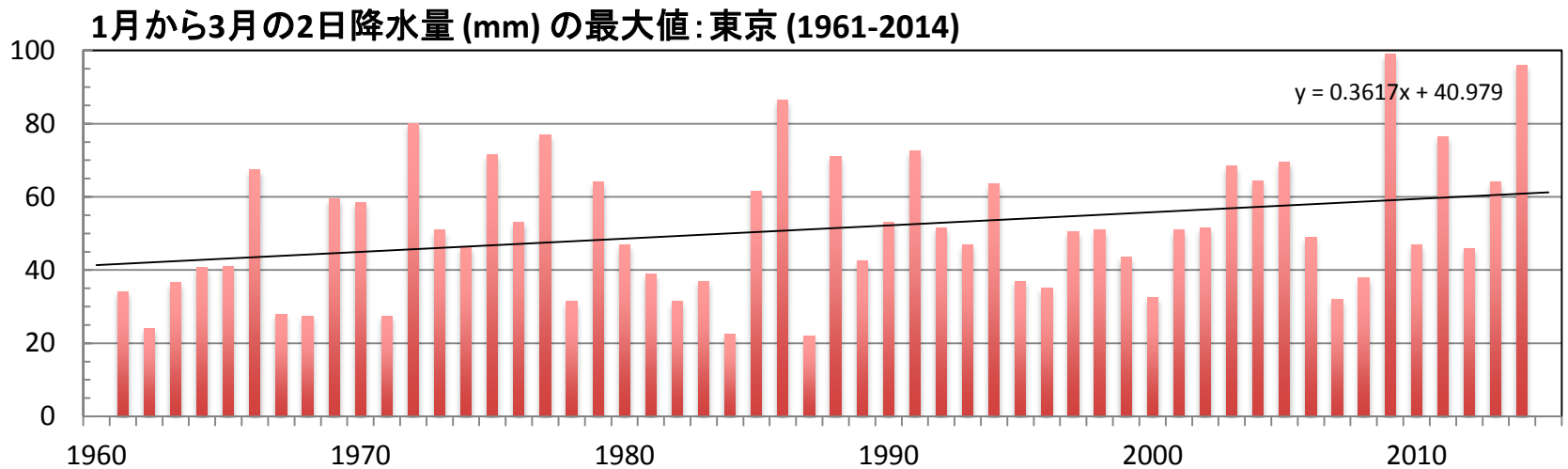
再現期間500年の値: 45 cm 44 cm
 再現期間100年の値: 34 cm 34 cm
 再現期間 50 年の値: 29 cm 29 cm



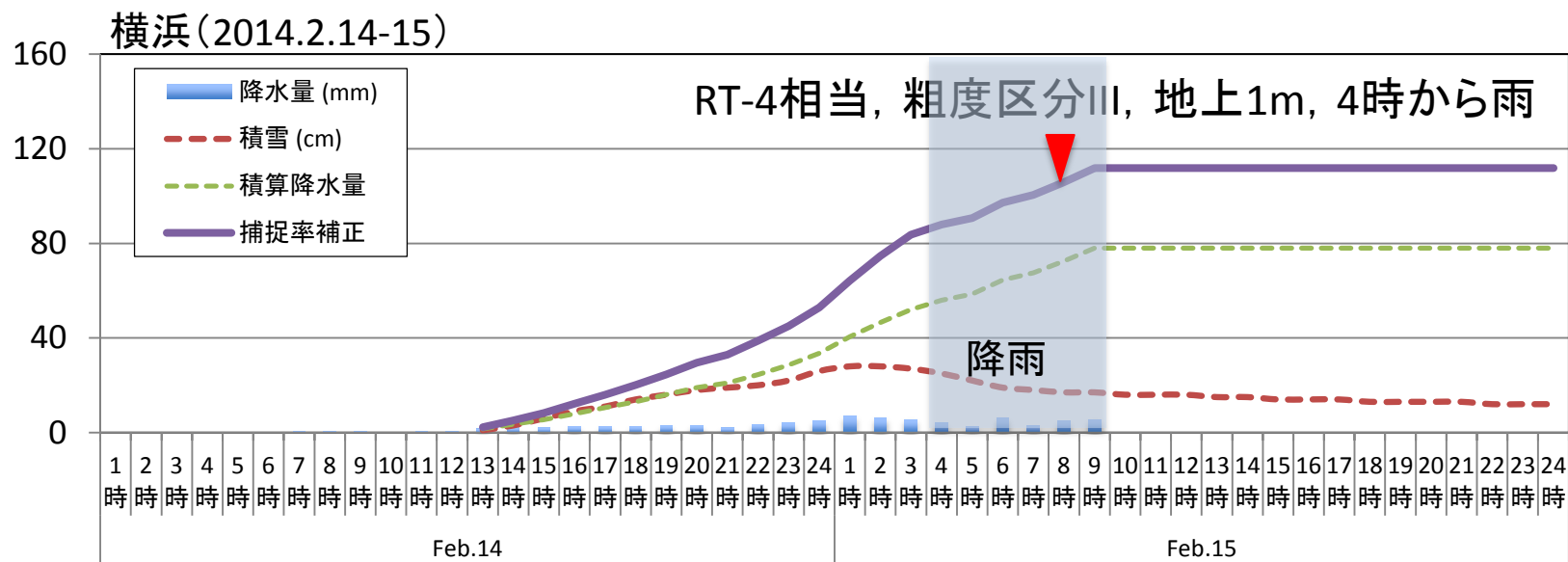
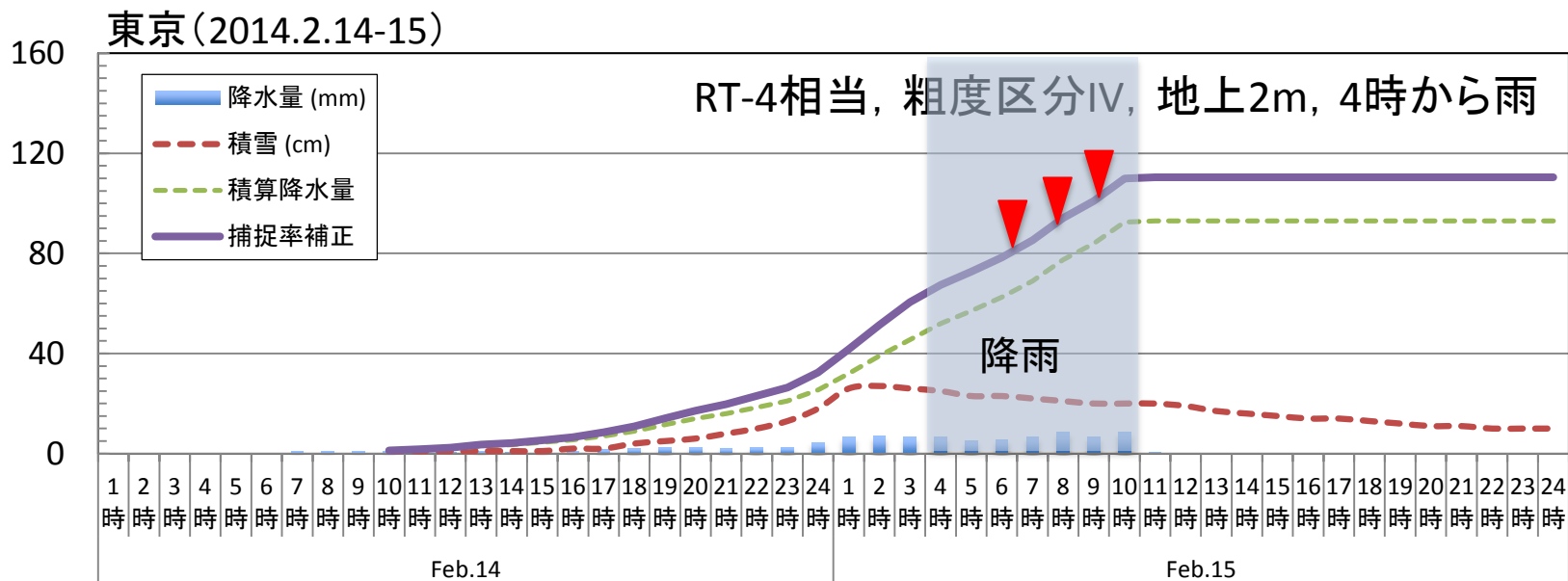
○ △

再現期間500年の値: 69 cm 44 cm
 再現期間100年の値: 50 cm 34 cm
 再現期間 50 年の値: 42 cm 30 cm

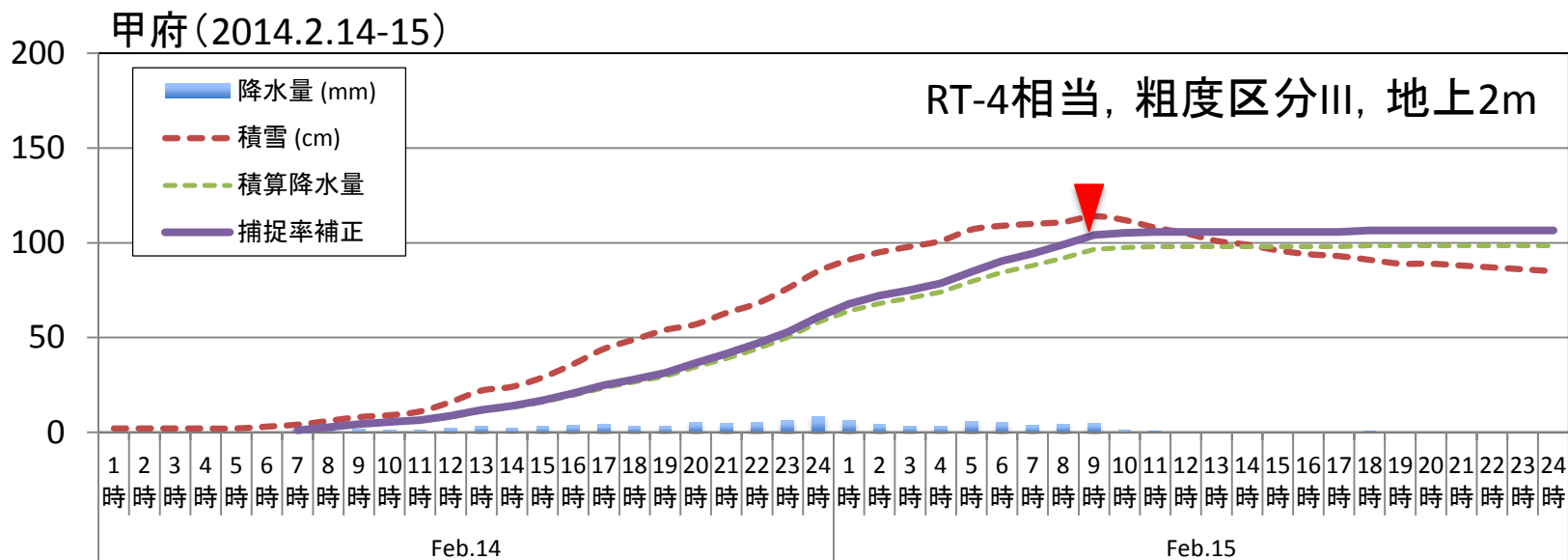
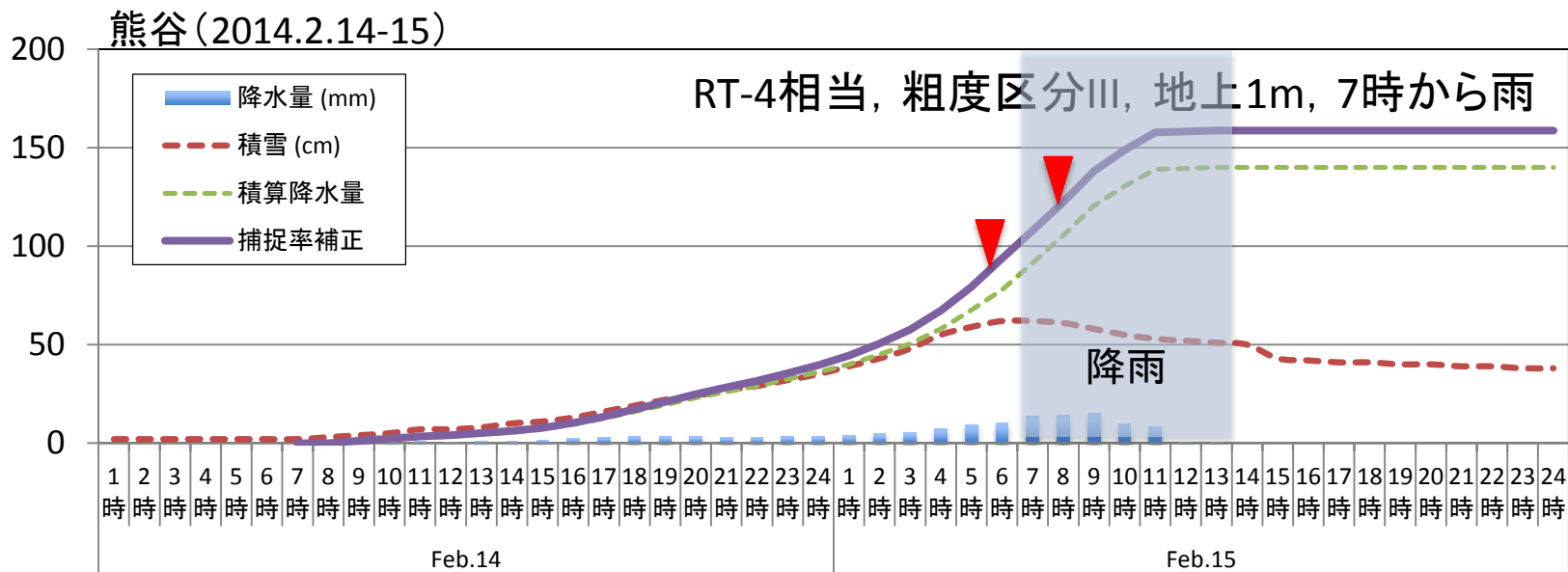
- ・2014年の大雪は、東京では積雪深の極値を更新するには至らないが、熊谷では「外れ値」と評価した方がよいほどの大きな値であったことがわかる。



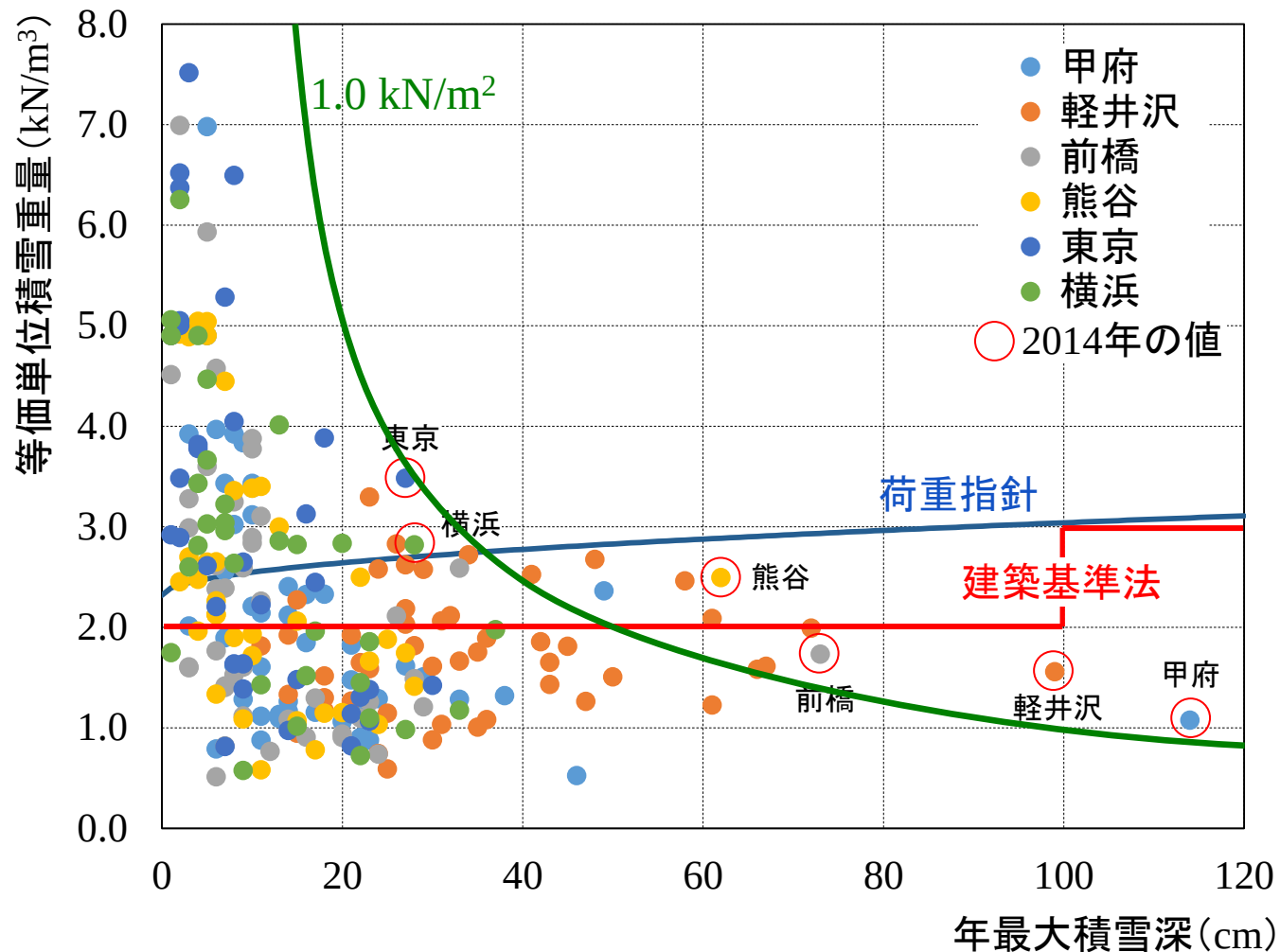
- 東京における2日降水量の最大値と年最大積雪深を比較すると、温暖化により冬期の降水量自体は増える傾向にある。
- 2014年は寒気の南下と低気圧コースの組合せが関東に大雪を降らせるパターンになった。



東京と横浜の降水量・積雪深・累積降水量



熊谷と甲府の降水量・積雪深・累積降水量



- ・積雪深の小さいところでは密度のばらつきが非常に大きい。
- ・累積降水量(2014年の場合概ね1.0 kN/m²)で考えた方がすっきりする。

2014年2月の雪害のまとめ

- 2月8日～9日の降水量はおおよそ30mm
- 2月14日～15日の降水量はおおよそ100mm
- (東京での積雪深はともに27cm)
- 関東地方の設計用積雪荷重は60mm相当(0.6kN/m^2)であり、その差が被害となって現れた。
- 一定量の積雪の後に雨が加わったことで荷重が増加した。
- ぎりぎりの設計をしていた鉄骨構造物は主要構造部が崩壊したが、膜構造物は膜が切れることで主構造を守った。
- →国交省の社会資本整備審議会で屋根雪荷重の見直しが議論され、プロジェクト予算が付いた。

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： 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：独立行政法人建築研究所

- 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)

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

降雪後の降雨量データに関する調査

降雪後の降雨の影響を検討するための気象統計解析

・屋外実験・屋内実験における、降雨量（降雨強度、降雨時間）の条件の検討・設定等を使用

・地域区分の必要性があるか検討（規定を一律に適用するか、地域で区分する必要があるか）
・設計対象となる降雨量の設定 など

【平成26年度解析項目】

■ 気象データを用いた降雨特性の把握

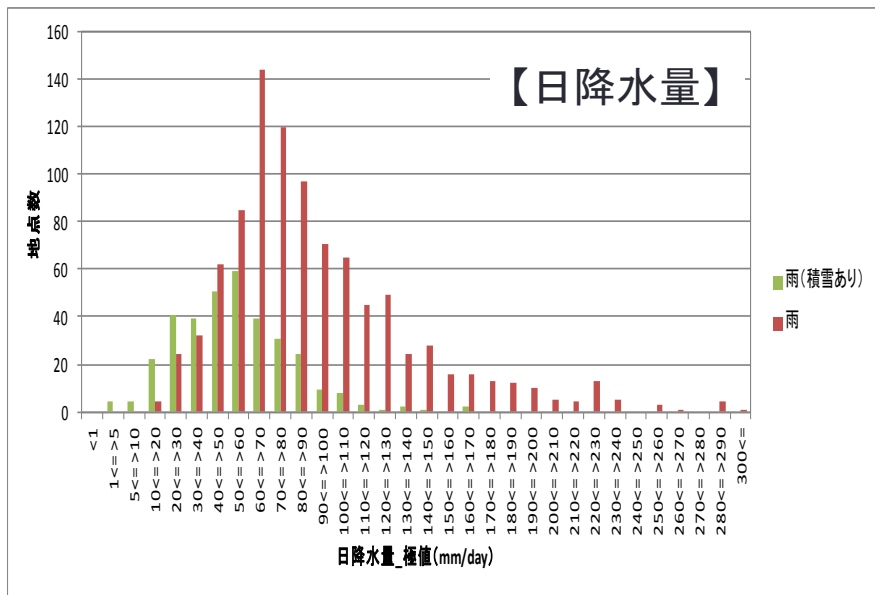
気象官署およびアメダスによる日降雨量および2日間降雨量の累積降雨量を、雨雪判別を行い解析

■ 気象庁1時間データを用いた、建物被害事例の事例解析

過去に発生した建物被害事例について、気象データを分析し、被害が生じた際の**累積降雨量**や**降雨の強度**（1時間当たりの降雨量）を把握

降雪後の降雨量データに関する調査

日および2日間降水量の階級別地点数 極値

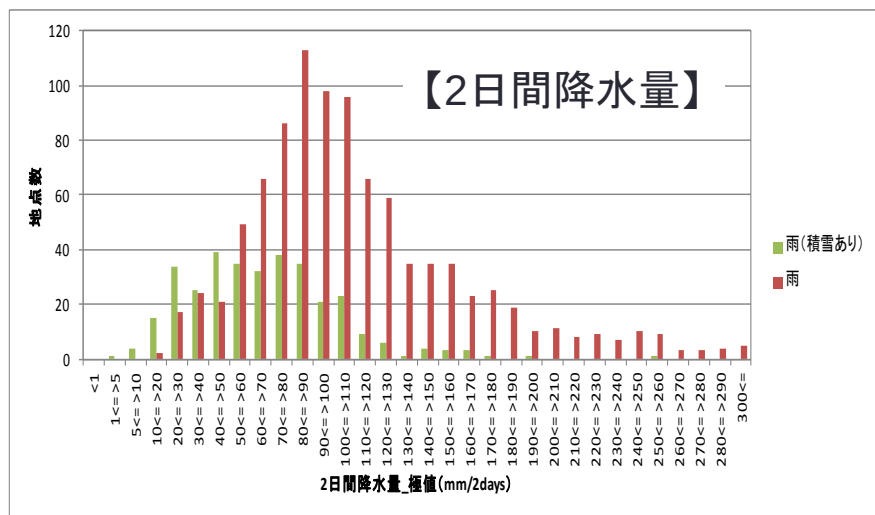


【日降水量】

- ・“**雨**”では、60< =>70mm/dayをピークとして、最大300mm/day程度まで分布
- ・“**雨(積雪あり)**”では、50< =>60mm/dayをピークとして、170mm/day程度まで分布

【2日間降水量】

- ・“**雨**”では、80< =>90mm/2daysをピークとして、最大300mm/2days以上まで分布
- ・“**雨(積雪あり)**”では、40～90mm/2daysの頻度が大きく、最大200mm/2daysまで分布



【日・2日間降水量の比較】

- ・“日降水量”と比較して、“2日間降水量”の分布の方が10mm程度大きい傾向

降雪後の降雨量データに関する調査

日および2日間降水量のマップ 雨 年最大平均

日降水量 雨 年最大平均

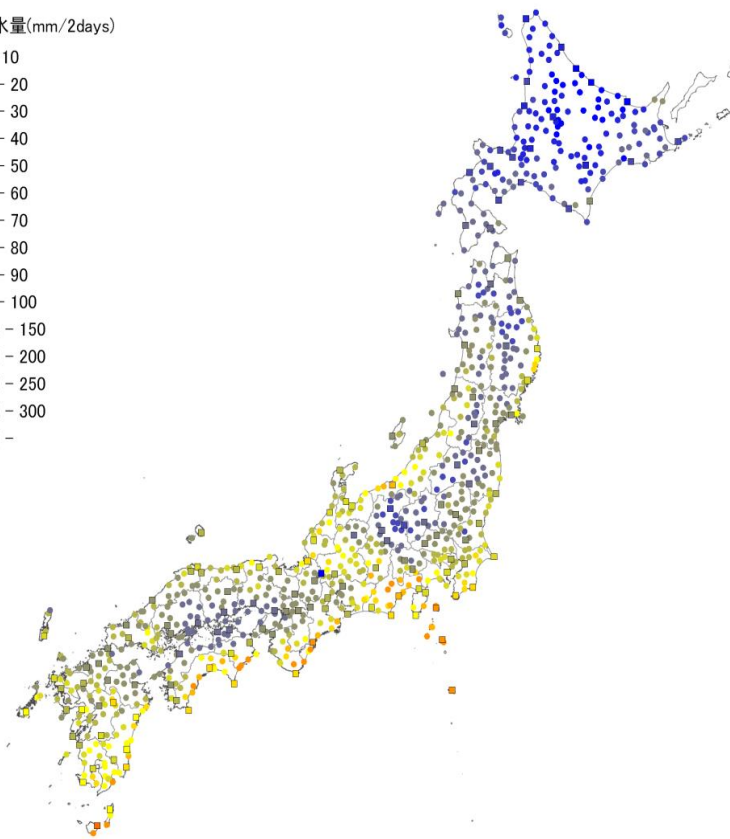
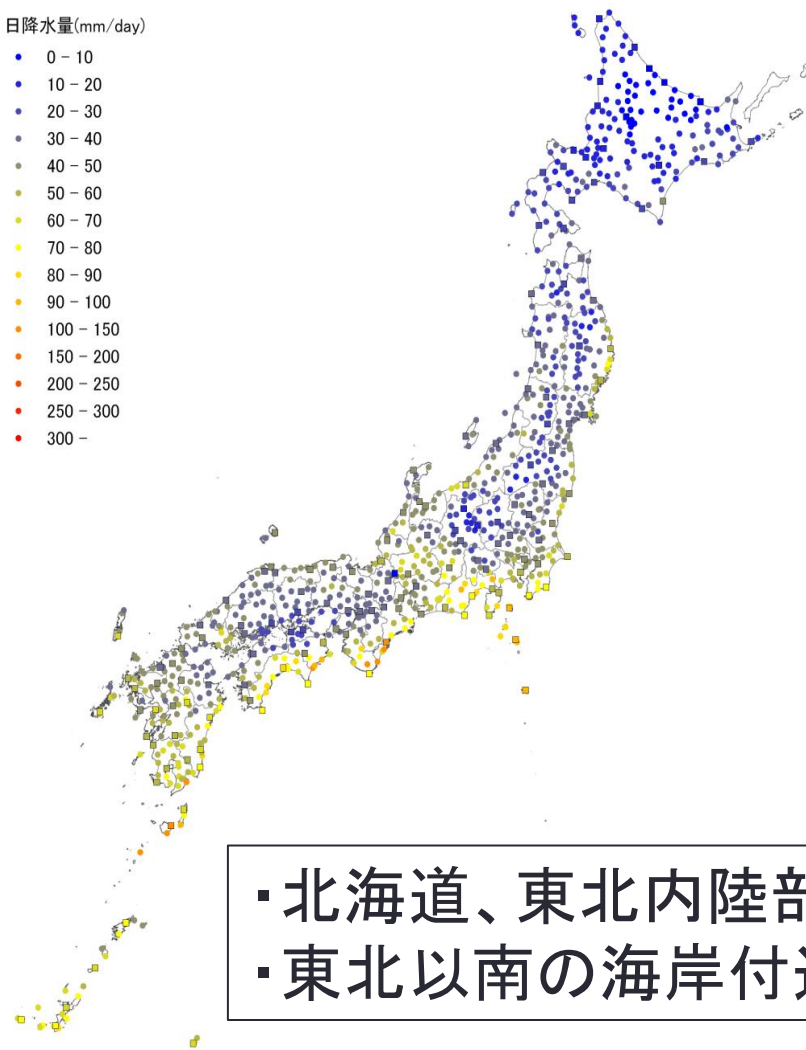
2日間降水量 雨 年最大平均

日降水量(mm/day)

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- 50 - 60
- 60 - 70
- 70 - 80
- 80 - 90
- 90 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- 200 - 250
- 250 - 300
- 300 -

2日間降水量(mm/2days)

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- 50 - 60
- 60 - 70
- 70 - 80
- 80 - 90
- 90 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- 200 - 250
- 250 - 300
- 300 -



- ・北海道、東北内陸部は相対的に小さい傾向
- ・東北以南の海岸付近で大きい傾向

降雪後の降雨量データに関する調査

日および2日間降水量のマップ 雨(積雪あり) 極値

日降水量 雨(積雪あり) 極値

2日間降水量 雨(積雪あり) 極値

日降水量(mm/day)

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- 50 - 60
- 60 - 70
- 70 - 80
- 80 - 90
- 90 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- 200 - 250
- 250 - 300
- 300 -

2日間降水量(mm/2days)

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- 50 - 60
- 60 - 70
- 70 - 80
- 80 - 90
- 90 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- 200 - 250
- 250 - 300
- 300 -

・東北、北陸、関東で大きい傾向

□: 気象台、測候所 ○: アメダス

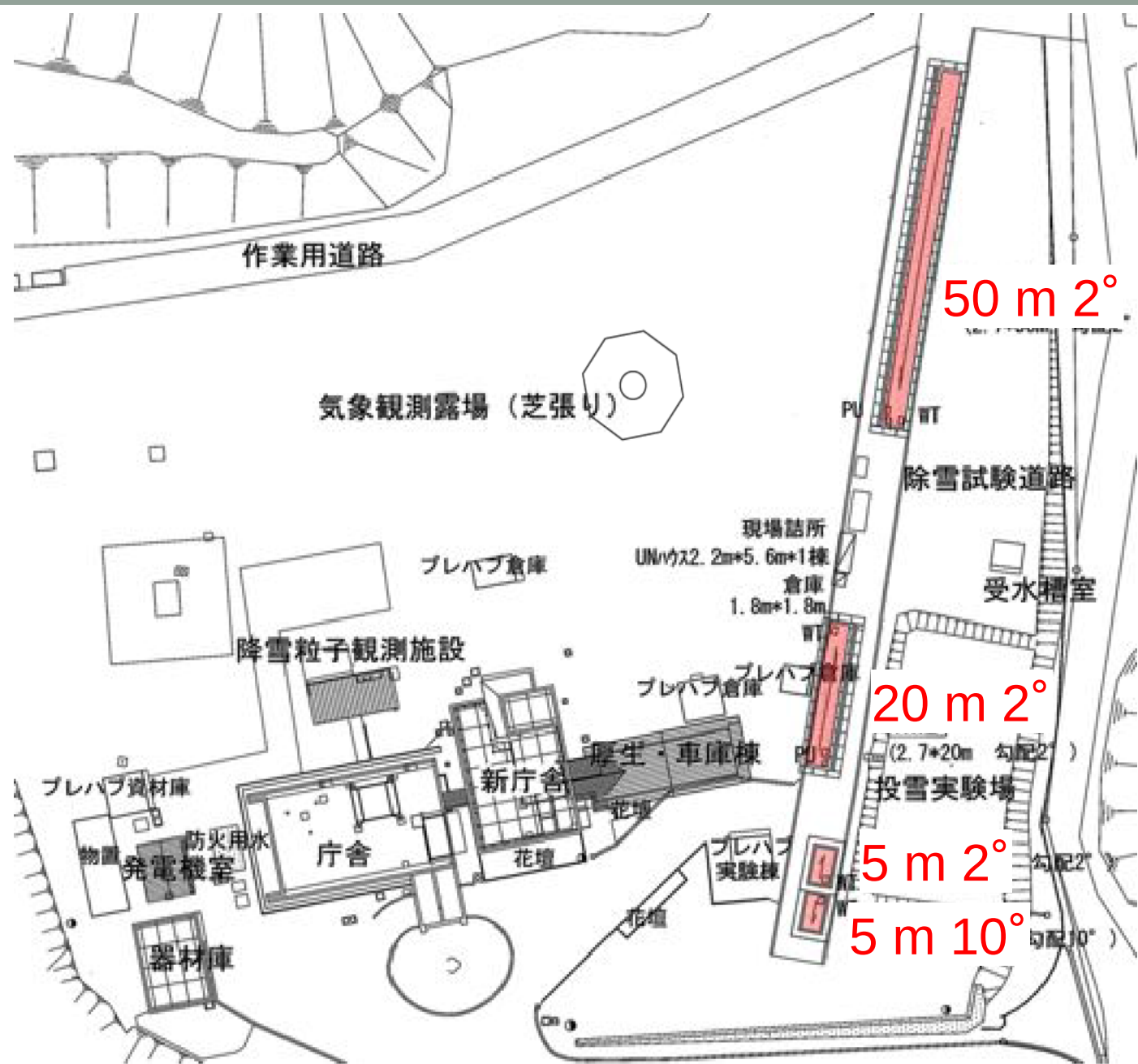
降雪後の降雨量データに関する調査

被害事例時の累積降雨量と降雨強度

	観測所	積雪後 累積降雨量	降雨強度 (最大)
1998年1月 事例	河口湖測候所	30.5mm	5.0mm/h
2014年2月 事例	熊谷地方気象台	62.0mm	15.0mm/h
	東京管区気象台	54.0mm	8.5mm/h
	横浜地方気象台	37.5mm	6.0mm/h
	館林アメダス	64.0mm	18.5mm/h

- ✓ 関東甲信越地方で発生した被害事例では、降雪から降雨に変わった後の累積降雨量は30～64mm(平均50mm)、降雨強度は5～18mm/h(平均10mm/h)程度。
- ✓ 累積降雨量は、前段の日降雨量の最頻値(30～50mm程度)に近い値。

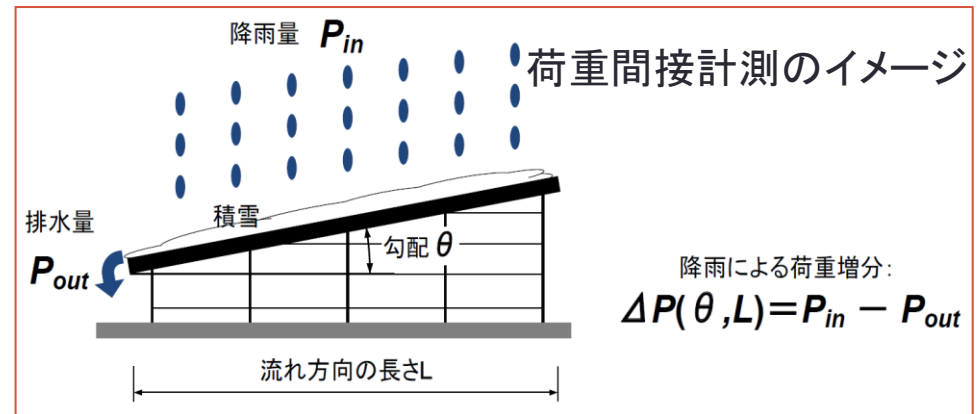
試験体の配置(防災科研雪氷防災研究センター:長岡)



屋外実験(人工降雨による屋根上の荷重計測)

■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の降雨を与えた時の荷重の増加量、その時間的变化を計測



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からの流出量(荷重間接計測)

荷重分布計測: ロードセル式受圧板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(スノーサンプラーによる1時間毎の手動計測)

スポット観測: 積雪断面観測(密度、含水率、雪温) etc...

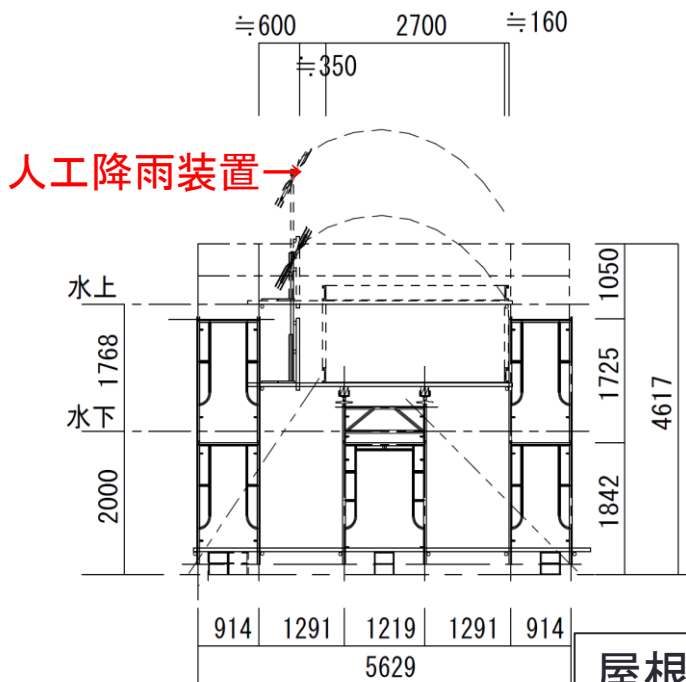
実験シリーズの概要

実験シリーズ		屋根長(棟～軒)		
		5m	20m	50m
屋根 勾配	2° (約1/30)	●	○	◎
	10° (約1/16)	●	—	—

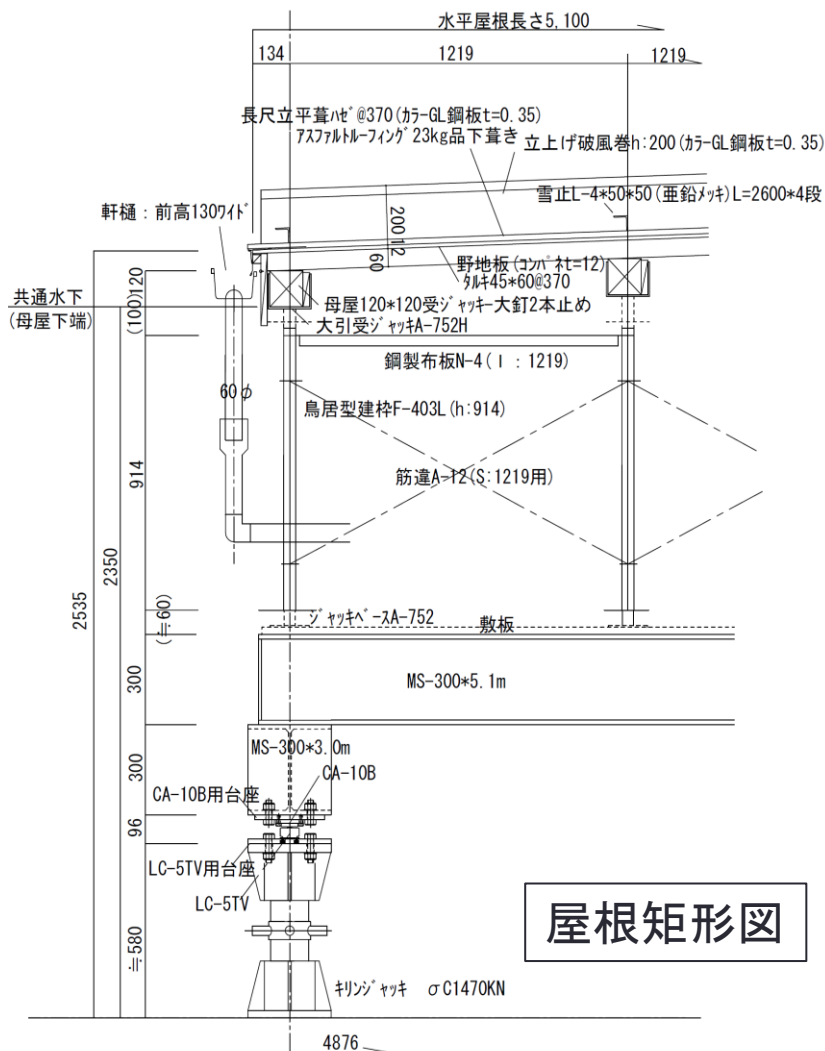
○: 流出量計測による荷重推定

●:流出量計測による荷重推定+ロードセルによる荷重計測

◎:流出量計測による荷重推定+ロードセル型受圧板



屋根断面図



屋根矩形図

試験体の概況



5m屋根全景
(奥が10°)



50m屋根全景
(水下側)



5m屋根
ロードセル



50m屋根全景
(水上側)

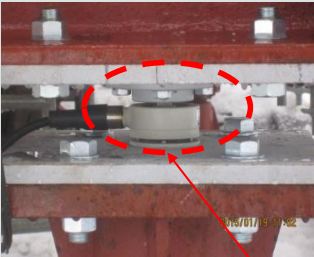
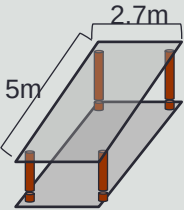
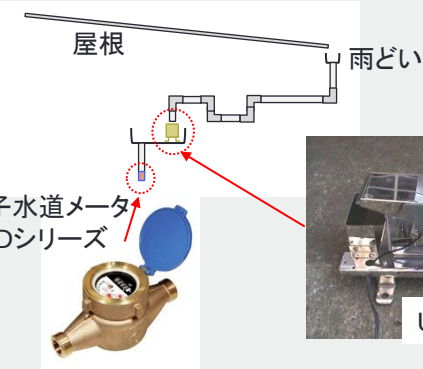
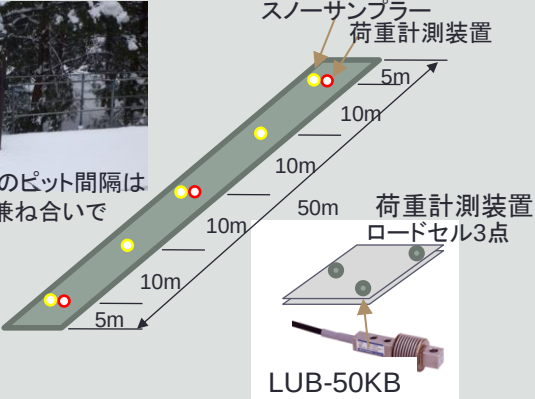


屋根端部状況



降雨装置ノズル

屋外実験（人工降雨による荷重計測）

	対象屋根	計測概要	
直接計測	$L=5\text{m}\cdot\theta=2^\circ$ (No.3) $L=5\text{m}\cdot\theta=10^\circ$ (No.4)	● 5m屋根の足場支柱4本にそれぞれロードセル(50kN)を設置。 ● 合計8台のロードセルを1つのデータロガーに接続し、モニタリング。 ● 定期的にデータを確認し、過大な荷重負荷がかかっていないか確認。	 H鋼で組んだ4本の支柱のベース部分にロードセルを組み込む LC-5TV (50kN)
間接計測	全屋根	● 屋根の流下側端部に、雨どいを設け流出水を集める。 ● 水道管に電子式水道メータを取り付ける。さらに、転倒マス型流量計を末端に用意し、2系統で流出量を計測する。 ● 多量出水時には水道メータ、少量出水時には転倒マス型を活用する。	 電子水道メータ EKDシリーズ UIZ-TB500/1000
分布計測	$L=50\text{m}\cdot\theta=2^\circ$ (No.1)	● 長スパン屋根においては、流下方向に荷重の偏分布が生じる可能性があるため、荷重分布計測を実施。 ● 3か所(上端付近、中間付近、下端付近)に3台のロードセルで構成する受圧板(30cm*30cm)で計測。 ● ただし、構造上正確な荷重は計測できないため、一定の間隔でスノーサンプラーによる積雪水量計測を実施。 ● スノーサンプラー計測は、流れ方向に全5点程度で実施する。	 積雪密度観測のピット間隔は作業時間との兼ね合いで決定する。  スノーサンプラー 荷重計測装置 5m 10m 10m 10m 10m 5m 50m 荷重計測装置 ロードセル3点 LUB-50KB

計測の実況



積雪断面観測



屋根雪の積雪水量調査

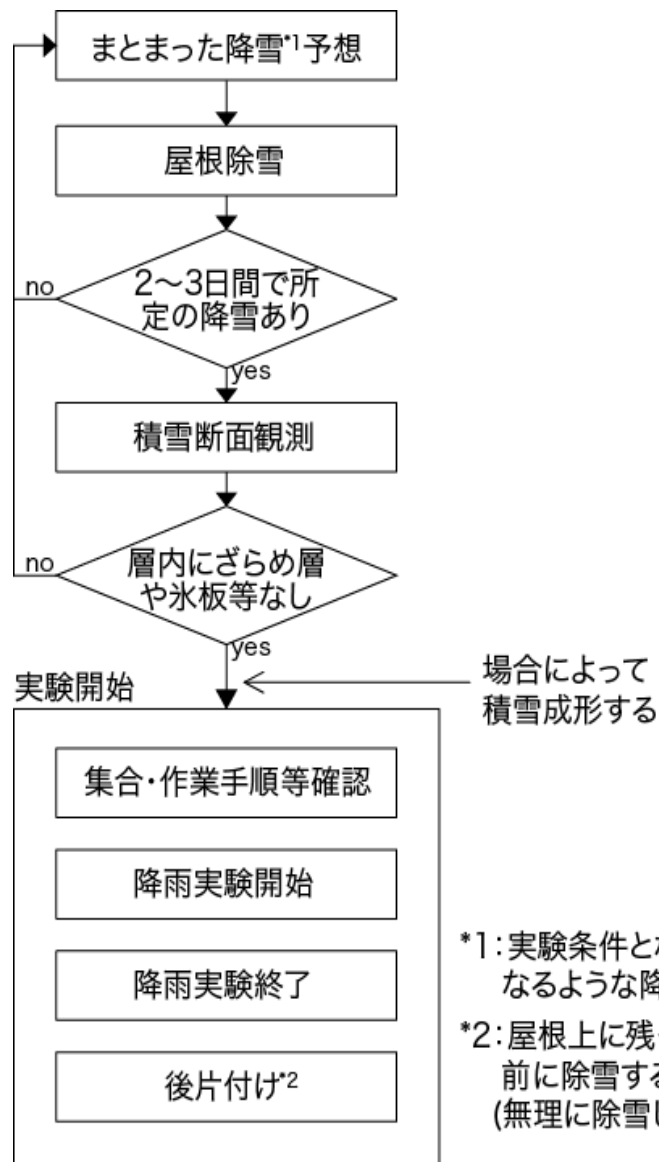


流量計測システム(転倒マス流量計と水道メーター)

転倒マスは
500 cm³と
1,000 cm³
タイプを使用



屋根面設置型ロードセル:役に立たなかった



*1: 実験条件となる所定の積雪深となるような降雪

*2: 屋根上に残った積雪は、次回実験前に除雪する
(無理に除雪しない)

- ・2014年11月末: 事業採択
- ・2014年12月: 試験体設計
- ・2015年1月: 試験体設置
- ・2015年1月末～3月: 実験

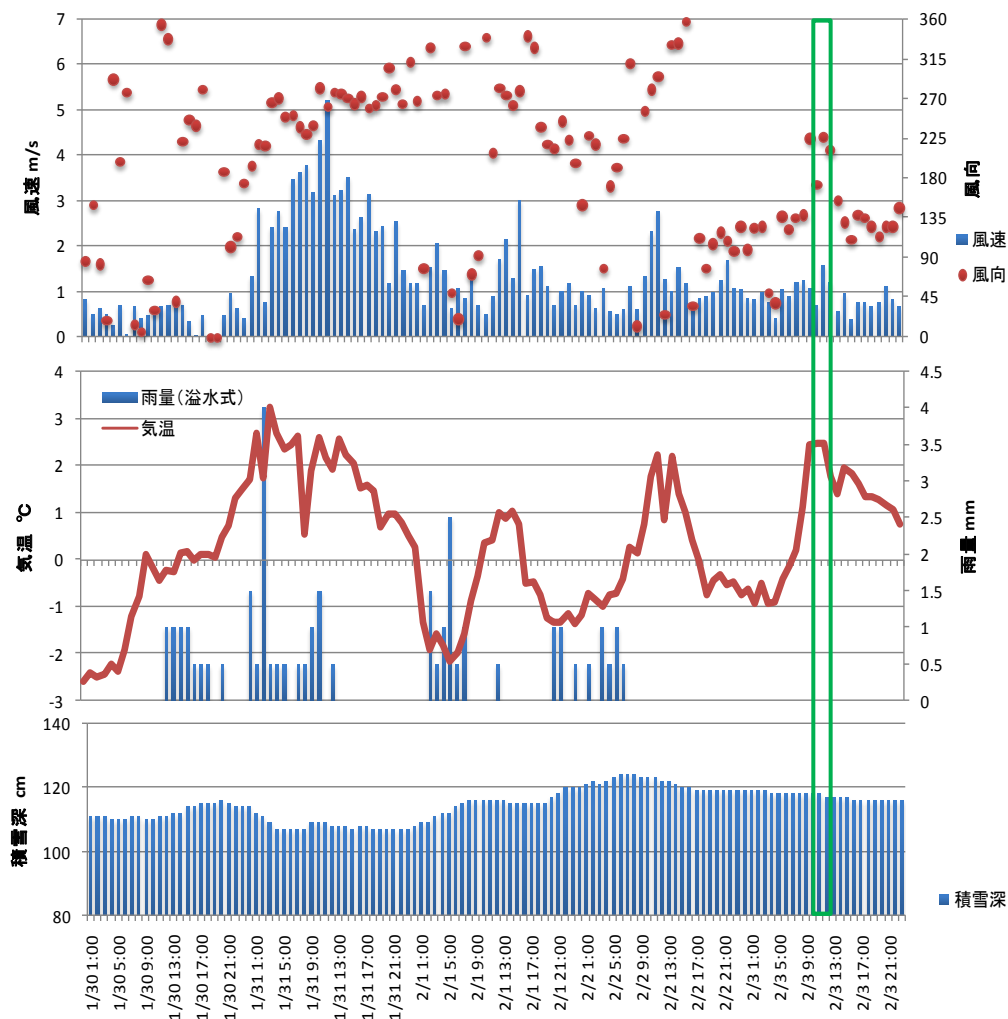
- ・第1回: 2月3日(火)
- ・第2回: 2月11日(水)
- ・第3回: 2月15日(日)
- ・第4回: 3月13日(金)

本実験は国土交通省 平成26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)によるものです。実験の実施に際しては、株式会社 山崎組の吉田氏、津端氏、株式会社エコロジーサイエンスの樋口氏、近藤氏、柄澤氏らの献身的なご助力を得ました。

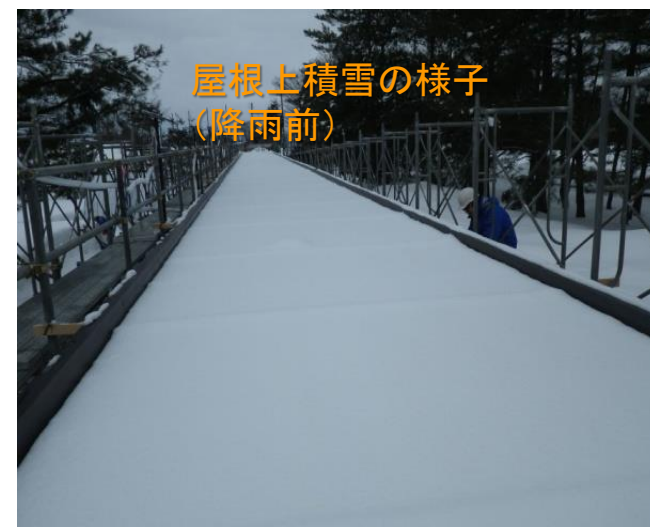
屋外実験(人工降雨による荷重計測)

【第1回目実験(2015.2.3)】

- ・初期積雪深: 11cm
- ・降雨実験: 10:00~13:00(3時間)
- ・降雨強度: 9.7~12.2mm/h



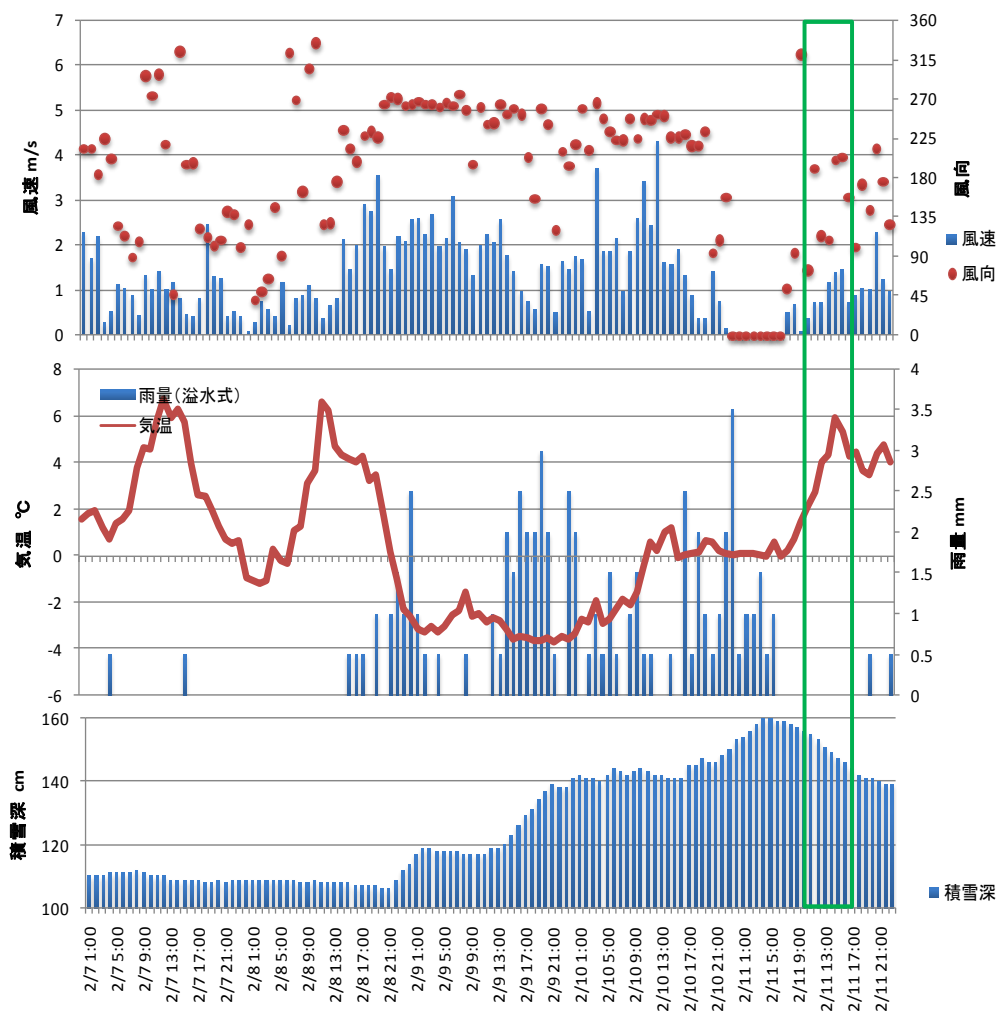
実験日3日前気象時系列



屋外実験(人工降雨による荷重計測)

【第2回目実験(2015.2.11)】

- ・初期積雪深:50cm
- ・降雨実験:10:03~17:00(約7時間)
- ・降雨強度: 9.5~12.2mm/h



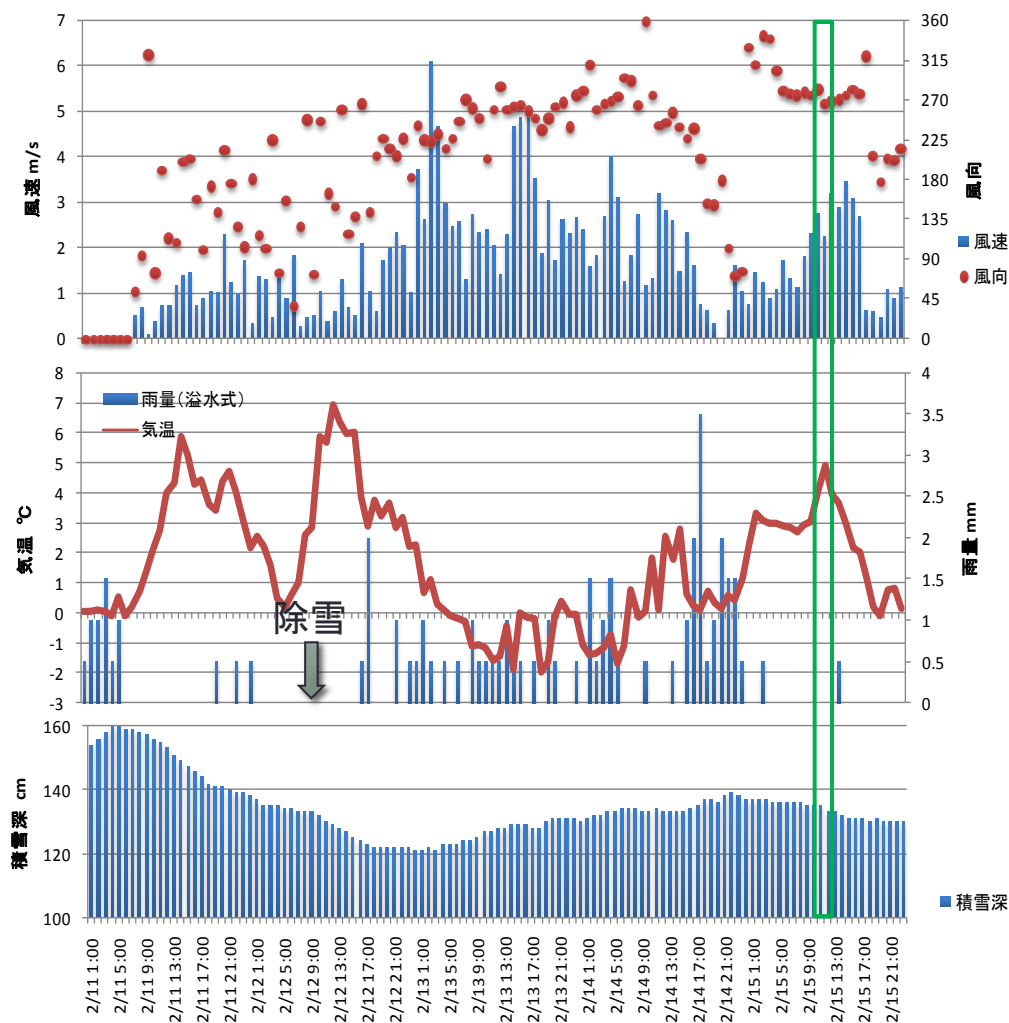
実験日3日前気象時系列



屋外実験(人工降雨による荷重計測)

【第3回目実験(2017/2/15)】

- ・初期積雪深: 16cm
- ・降雨実験: 9:55~13:30(約3.5時間)
- ・降雨強度: 9.4~12.9mm/h



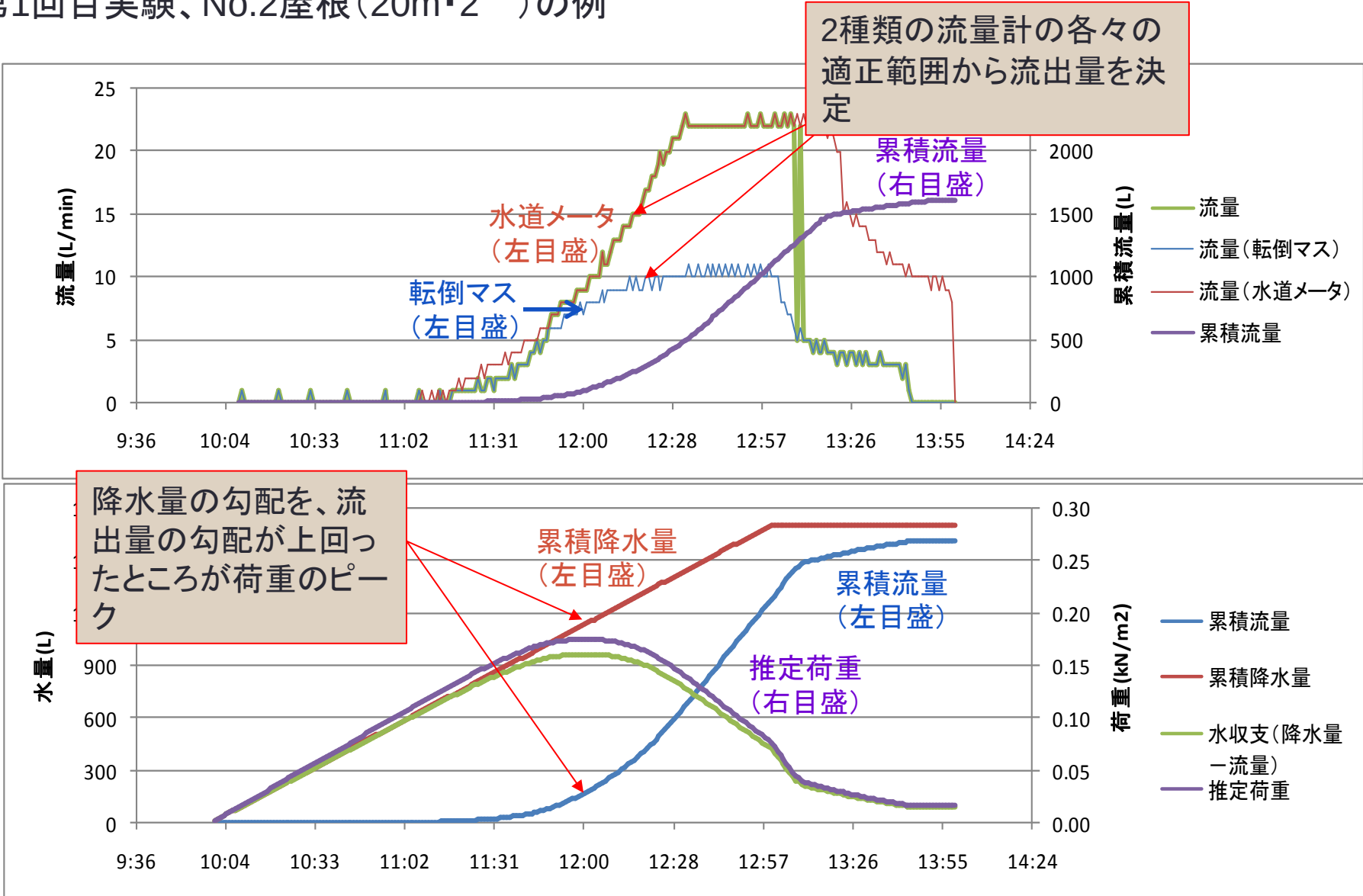
実験日3日前気象時系列



屋外実験(人工降雨による荷重計測)

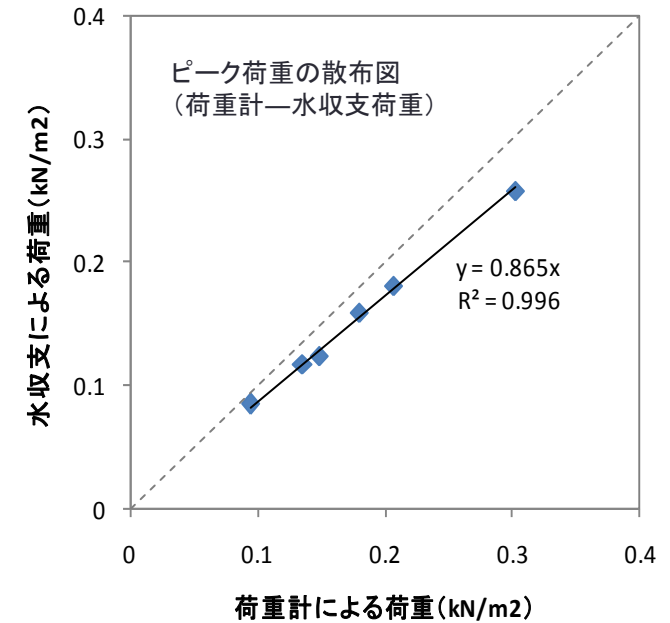
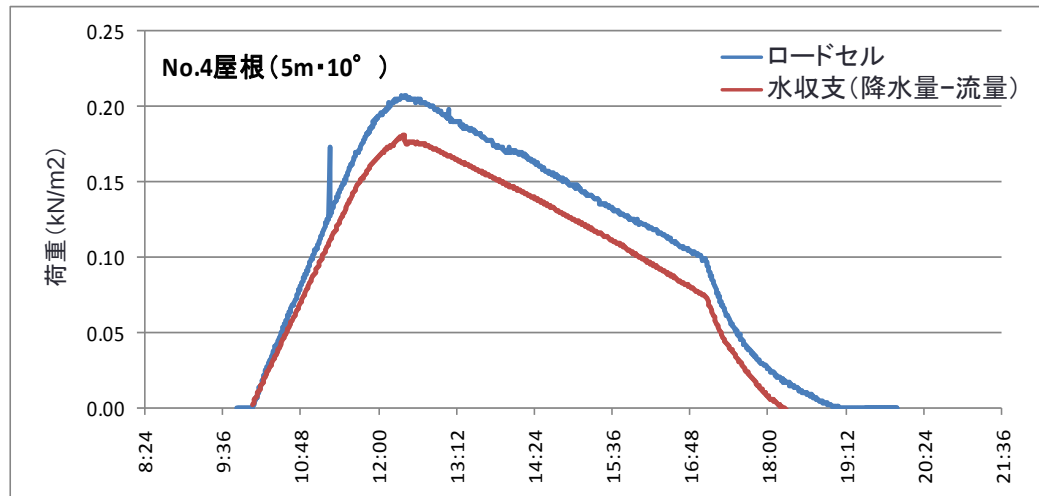
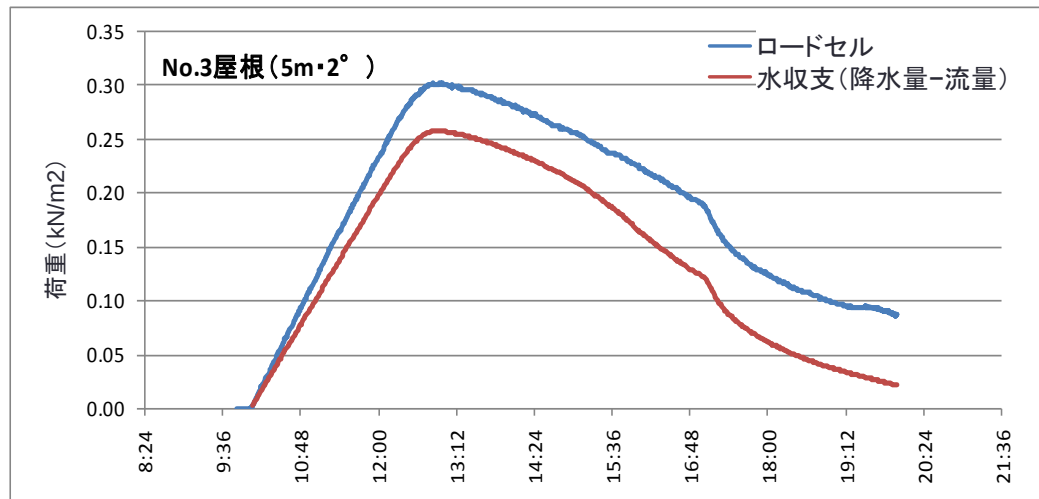
【流出量・推定荷重の推移】

第1回目実験、No.2屋根(20m・2°)の例



屋外実験(人工降雨による荷重計測)

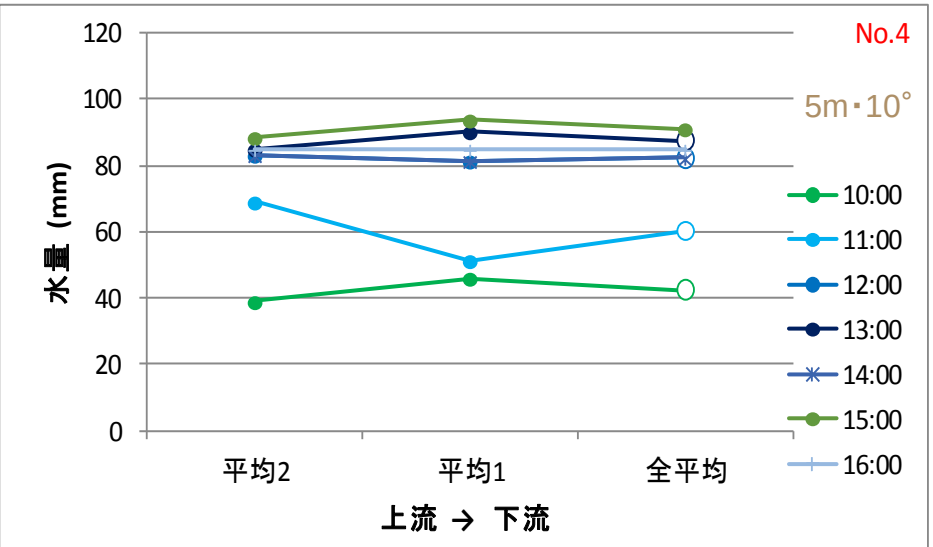
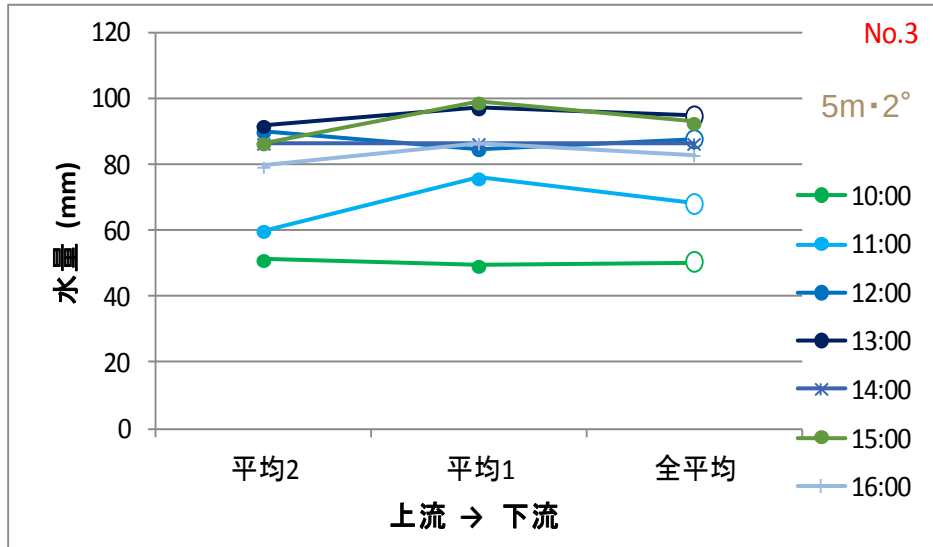
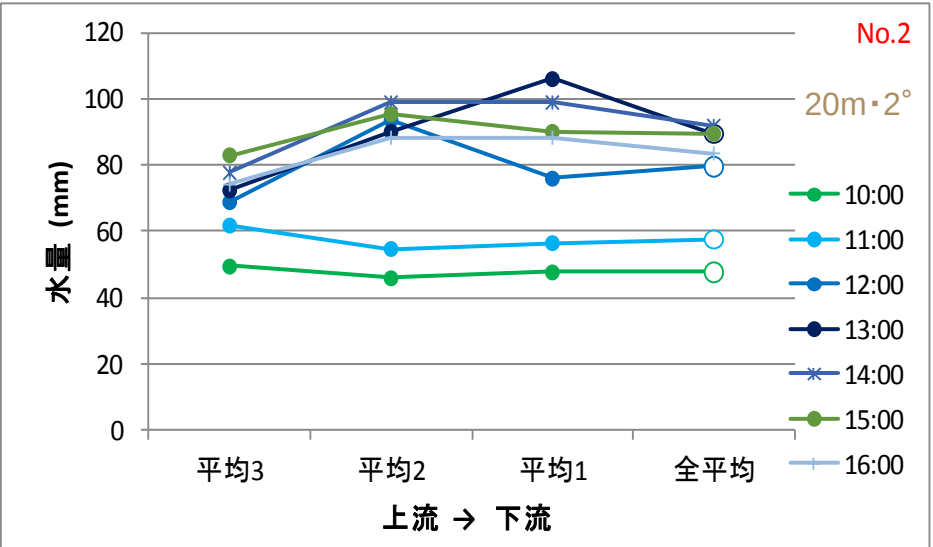
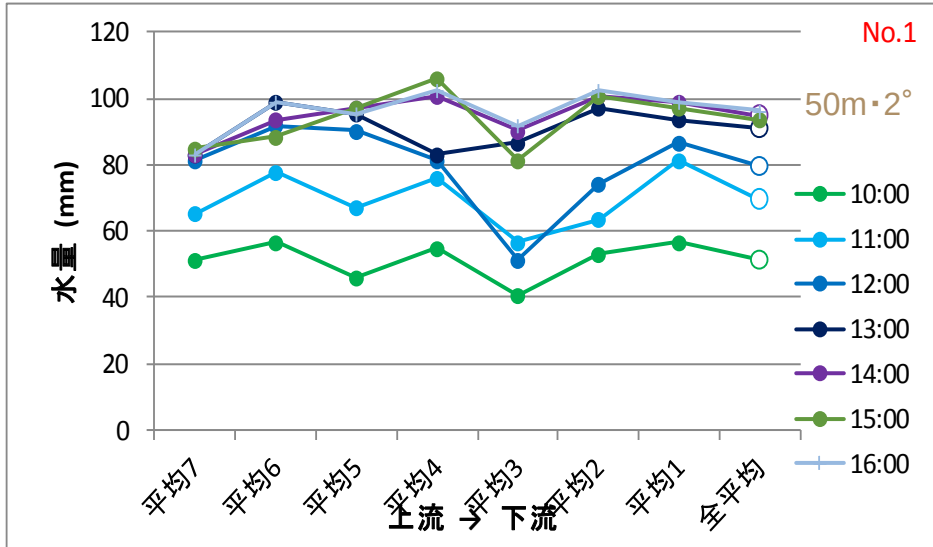
【荷重計と水収支による荷重の比較】



第2回目実験 (Snow depth = 50cm)

- 荷重計の方が大きく、ピーク値で10%程度の差があった。
- 積雪深の大きい第2回目が最も差が大きく、人工降雨方式が影響していると考えられる。
- ピーク時間はほとんど一致している。
- 水収支の荷重で検討することで問題ない考える。

屋外実験（人工降雨による荷重計測）
【屋根雪の水量の水平分布について】

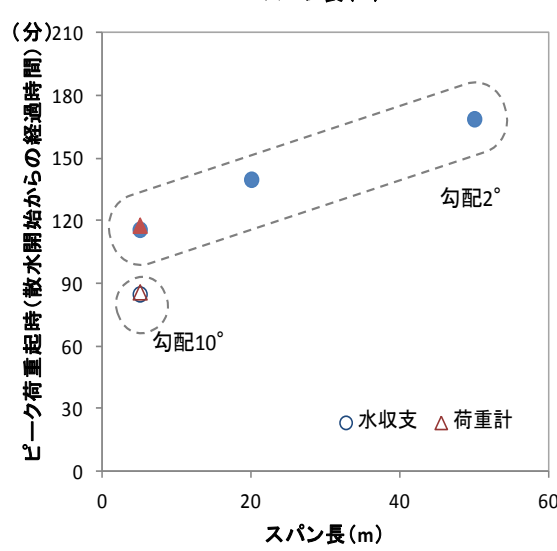
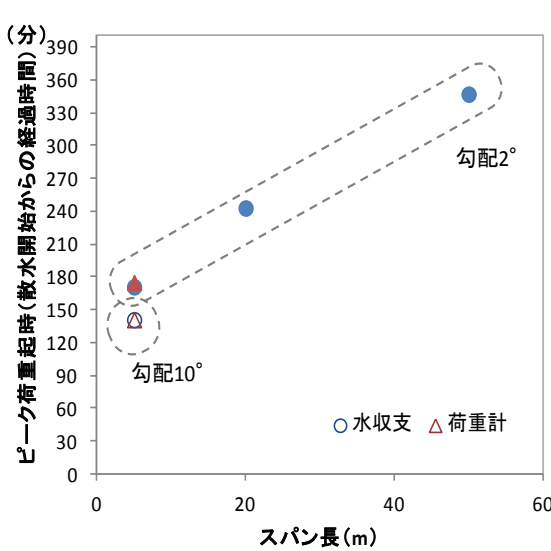
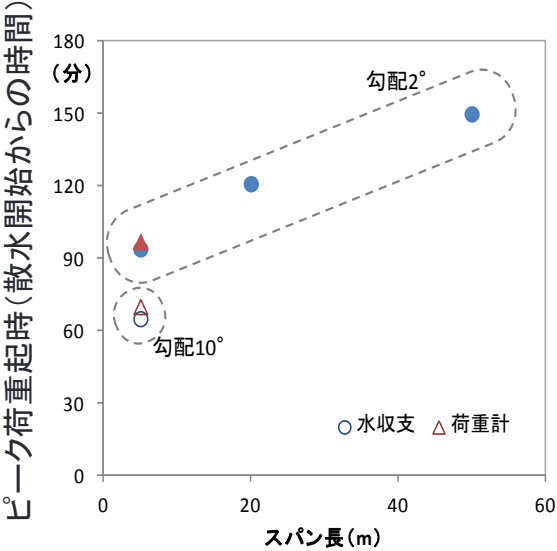
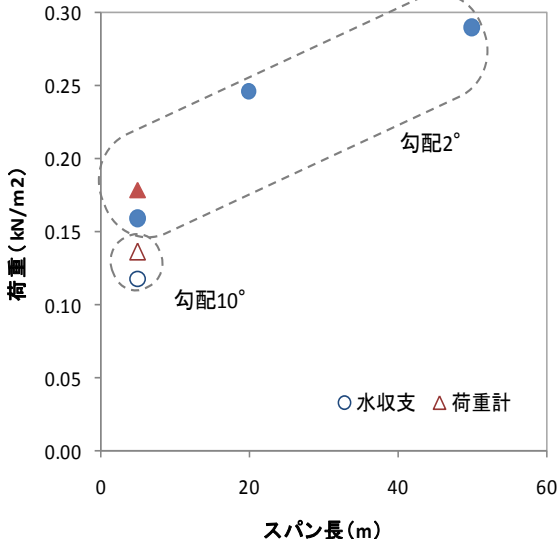
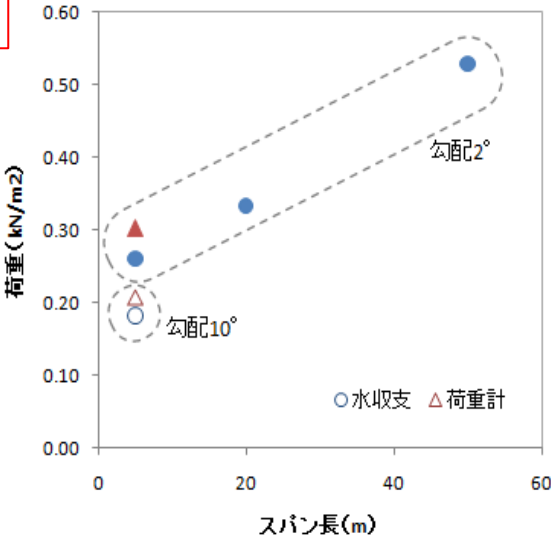
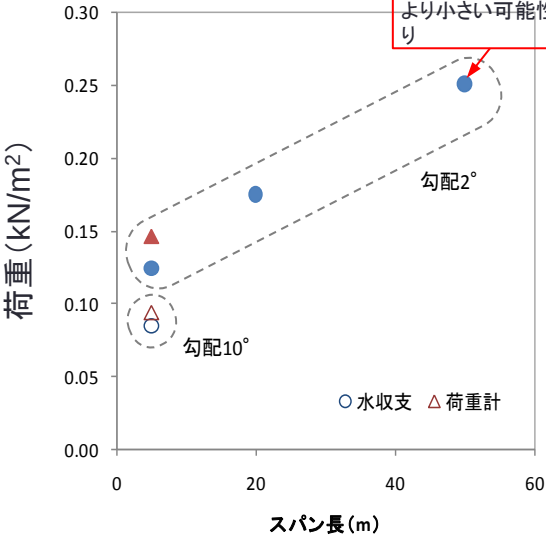


• 水量は時間とともに増加するが、後半になると、ほぼ定常になるか逆に少なくなる傾向がみられた。

屋外実験(人工降雨による荷重計測)

【荷重増加量とピーク時間の整理】

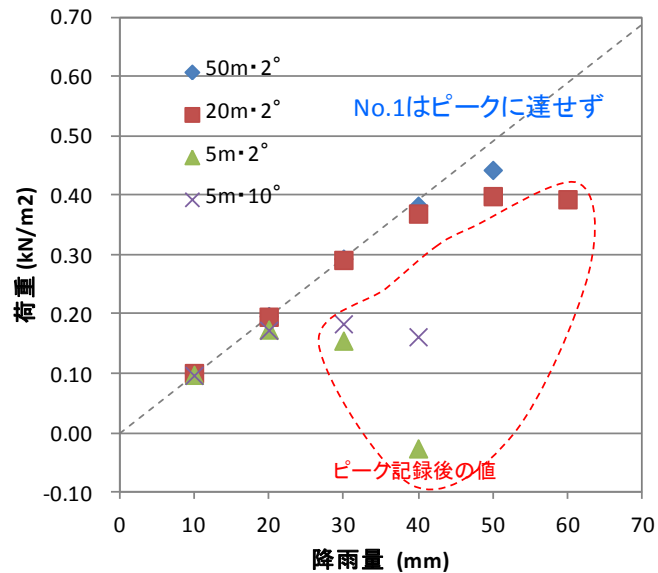
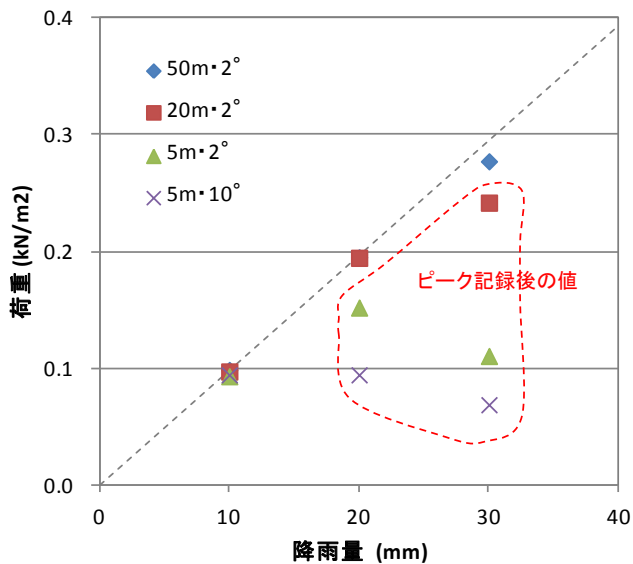
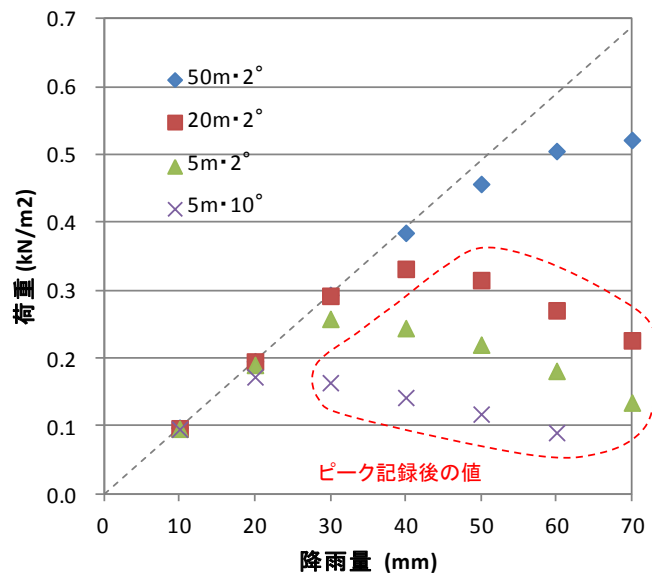
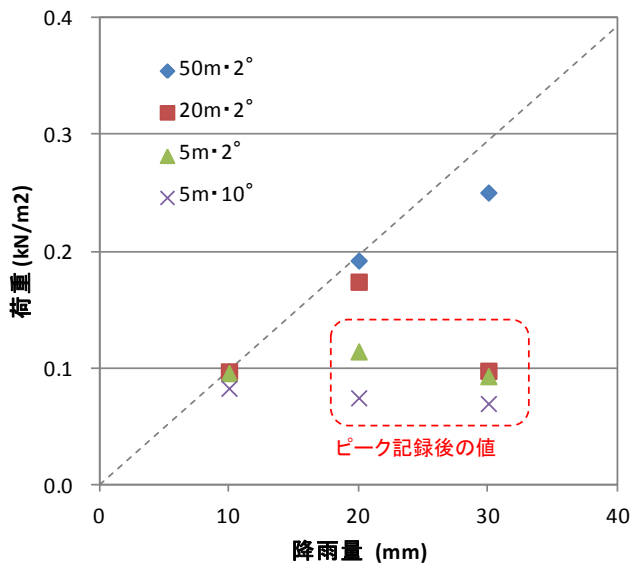
流量計オーバーフローのためピーク値より小さい可能性あり



第1回(11cm)

第2回(50cm)

第3回(16cm)



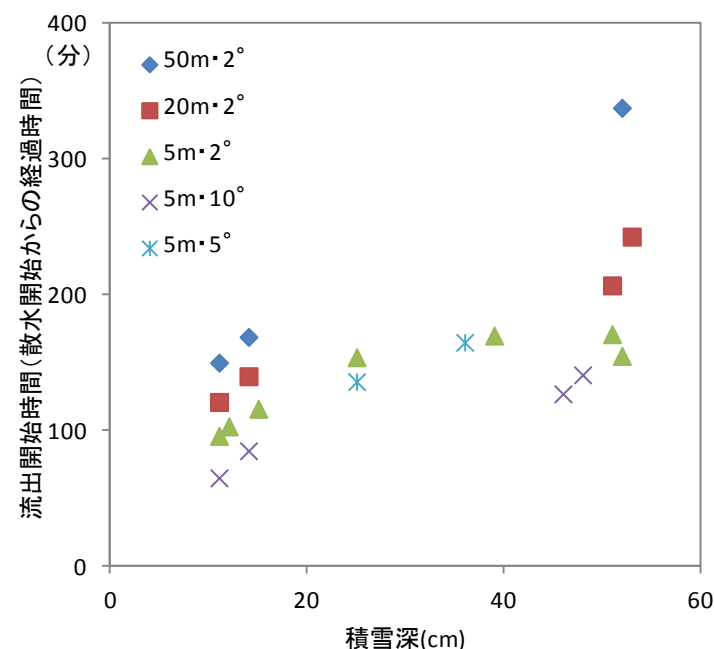
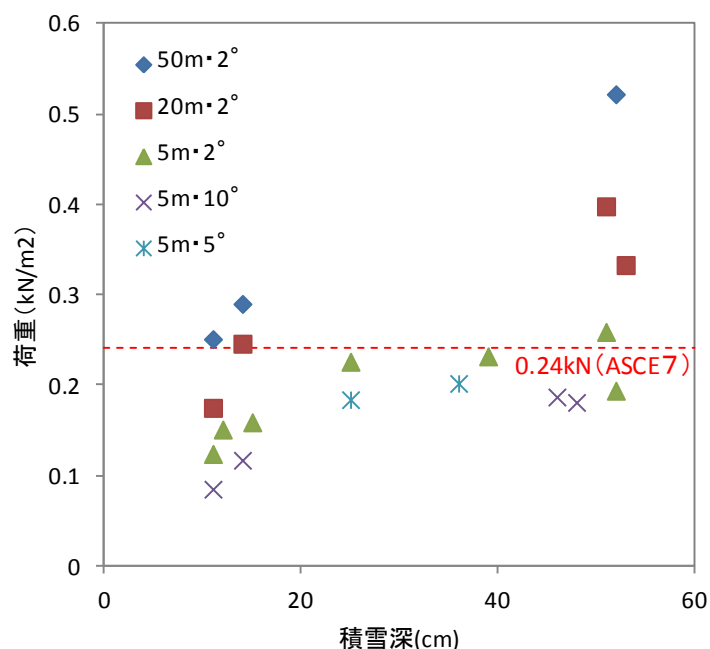
於防災科学技術研究所

雪氷防災研究センター新庄実験所

- ・2015年4月21日: 5 m 5°, 36 cm
- ・2015年4月27日: 5 m 5°, 25 cm
- ・2015年5月12日: 5 m 2°, 25 cm
- ・2015年5月18日: 5 m 2°, 39 cm
- ・2015年5月22日: 5 m 2°, 12 cm



実験の様子



初期積雪深とピーク荷重、及びピーク荷重までの経過時間の散布図

ASCE7における積雪に降雨が重なる場合の荷重割り増しの規定

Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures Chapter-7 SNOW LOADS

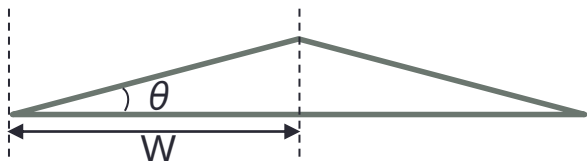
- ✓ 雪荷重 P_s が 0.96kN/m^2 以下の地域では、傾斜角度が $W/15.2$ (degree)より小さい全ての傾斜屋根については、積雪に降雨が加わる場合の荷重割り増し(0.24kN/m^2)を行う。
- ✓ 米国内19の気象観測地点において、**50年積雪深に2年の降雨(強度)**を考慮し、Colbeckの積雪浸透モデルを用いて、屋根形状(勾配、スパン長)に応じた荷重増加量を計算した結果である。
- ✓ この追加的な荷重は等分布荷重の場合の傾斜屋根に対してのみ適用され、漂流する荷重、滑雪荷重、偏りのある荷重、極小の荷重、部分的な荷重と併せて適用することはしない。

P_s : 地表での雪荷重(kN/m^2) ※地域毎に定められた値または地域特有の分析による値

W : 棟から軒までの水平距離(m)

表 追加荷重が必要なスパン長 W と屋根勾配

棟から軒までの 水平距離 $W(\text{m})$	角 度 θ		追加荷重 (kN/m^2)
	度(degree)	1/〇〇	
15.2	1	1/57.1	0.24
30.4	2	1/28.6	
45.6	3	1/19.1	
60.8	4	1/14.3	
76.0	5	1/11.4	



NBC(National Building Code of CANADA)における積雪に降雨が重なる場合の荷重割り増しの考え方

- ✓ 再現期間50年の積雪深から求められる地上積雪重量 s_s に対し、**再現期間50年の降雨量 s_r** が**地点毎**に提示されている。
- ✓ s_s, s_r とも、統計解析結果をマッピングし、平滑化した上で代表地点の値を読み取っている。
- ✓ s_r が s_s を上回らないのが条件。
- ✓ s_s を求めるための雪密度は観測値の平均値が用いられている。

人工降雨による荷重計測実験結果

屋外実験では

1. 11cm・16cm・50cmの積雪深に対して約10mm/hの降雨を与えた。
2. 水収支による間接的な荷重、ロードセルによる荷重の時間変化を得た。
3. 荷重の絶対値は、ロードセルの方が水収支に比べ10%程度大きめの評価をしていた。ただし、これは降雨方法による誤差と考えられた。
4. 屋根スパン方向の荷重分布に関する明瞭な傾向は計測できなかった。
5. ASCE7の基準値よりも大きい値が見られた。

屋内実験では

- ・ 屋外実験における空白エリア（積雪深20～40cm付近、勾配5°）のデータ取得を行った。

これらをまとめて

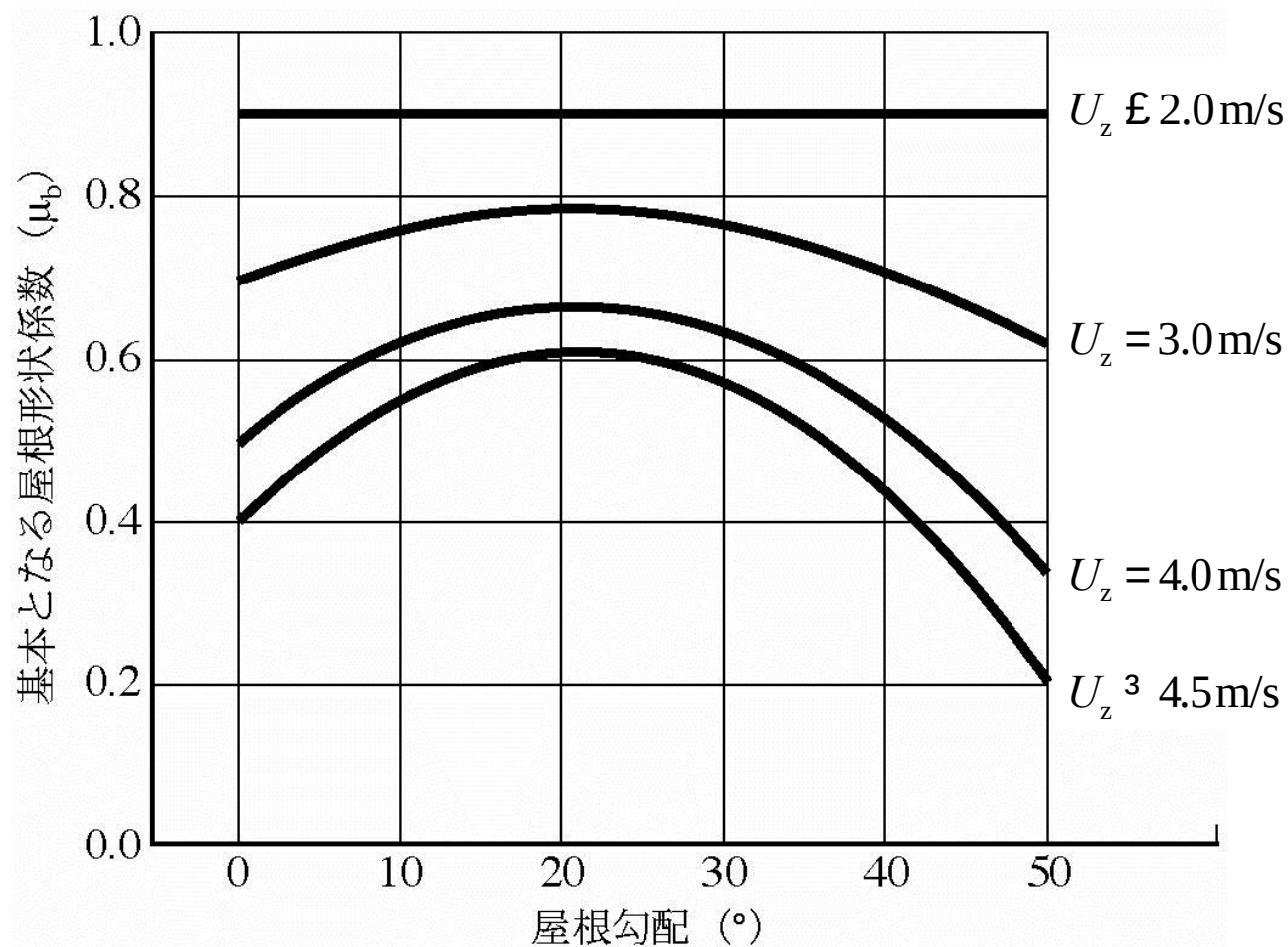
- ・ 降雨による付加荷重について、「降雨量と初期積雪深の決め方」と「それに応じた荷重増分量をどのように基準値にするか」の検討を行った。

積雪荷重の考え方に関するまとめ

- 統計的に算定された積雪深に、積雪重量を算定するための等価な単位積雪重量を掛け合わせて荷重値としている。
- 少雪区域では降水量で評価した方が合理的に思われる。
- 国交省のプロジェクトで降雨の影響を確認した。
- 現状の指導値は、決して余裕のある数値ではなく、大スパン緩勾配の構造物では降雨の影響を無視できない。

以下、參考資料

基本となる屋根形状係数 μ_b



U_z : 屋根面高さ
における1,2月
の平均風速
(後述)

基本となる屋根形状係数

風による吹き払いの状況



屋上での吹雪発生状況

冬期間の平均風速 U_z

- 気象庁が公表している平年値(1月, 2月)
- 屋根面高さ Z における風速 U_z の算定式

$$U_z = U_{\text{SDP}} \left(\frac{Z}{Z_{\text{SDP}}} \right)^{\alpha_{\text{SITE}}}$$

ここで, U_{SDP} : 気象観測点の風速 (m/s)
 Z_{SDP} : 気象観測点の風速測定高 (m)
 α_{SITE} : 風速の鉛直分布のべき指数

風による偏分布に関する屋根形状係数 μ_d

- M形屋根，連続山形屋根，のこぎり屋根の μ_d

表 M 形屋根・連続山形屋根およびのこぎり屋根における谷部底辺の μ_d

屋根勾配	M 形屋根および連続山形屋根				のこぎり屋根			
	1, 2 月の平均風速 U_z				1, 2 月の平均風速 U_z			
	2 m/s 以下	3 m/s	4 m/s	4.5 m/s 以上	2 m/s 以下	3 m/s	4 m/s	4.5 m/s 以上
10° 以下	0	0	0	0	0	0	0	0
25°	0	0	0.15	0.20	0.10	0.20	0.35	0.55
40°	0	0.20	0.35	0.45	0.10	0.30	0.45	0.70
50° 以上	0	0.30	0.55	0.70	0.10	0.40	0.65	0.80

風による偏分布に関する屋根形状係数 μ_d

- セットバックのある屋根の μ_d

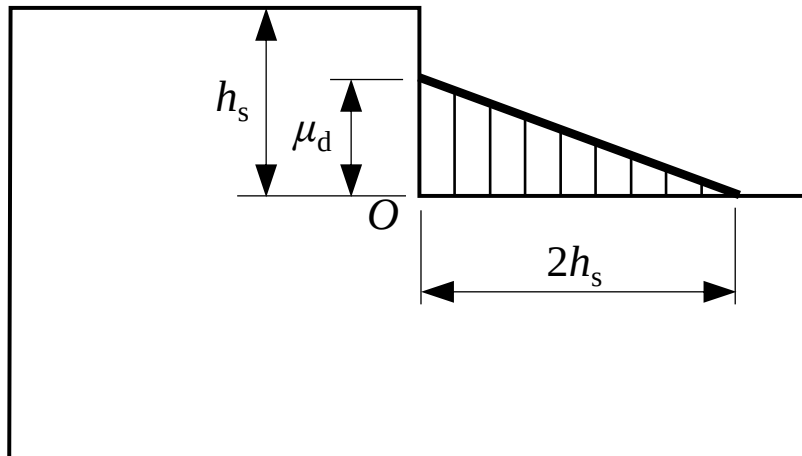


表 セットバックのある屋根の μ_d

1,2月の平均風速 U_z	2 m/s 以下	3 m/s	4 m/s	4.5 m/s 以上
μ_d	0.10	0.30	0.50	0.60

セットバックのある屋根の場合

二段屋根の下段の吹きだまり



階段屋根下段の吹きだまり状況

滑動による偏分布に関する屋根形状係数 μ_s

- M形屋根，連続山形屋根，のこぎり屋根の μ_s

1) 屋根勾配が 10° 以下の場合

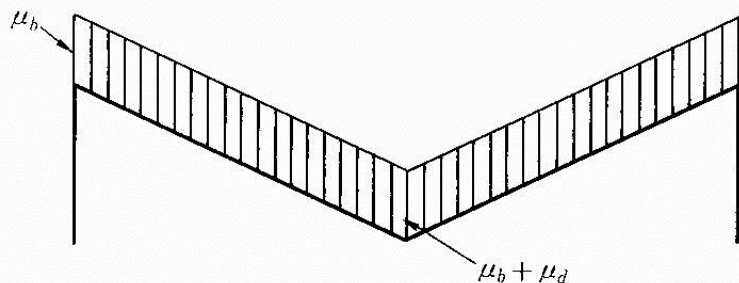
$$\mu_s = 0$$

2) 屋根勾配が 25° 以上の場合

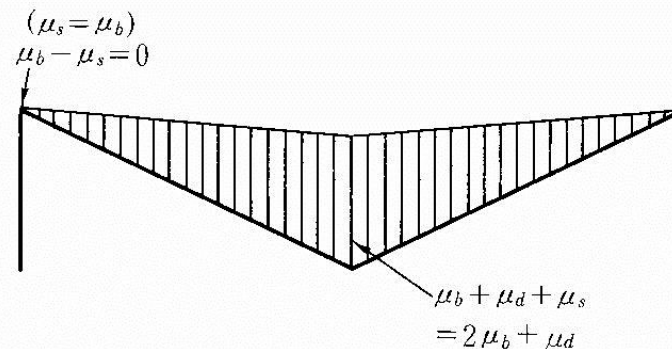
$$\mu_s = \mu_b$$

屋根勾配が 10° と 25° の中間の場合は屋根材の滑雪性を考慮して決定する

屋根上滑動の考え方

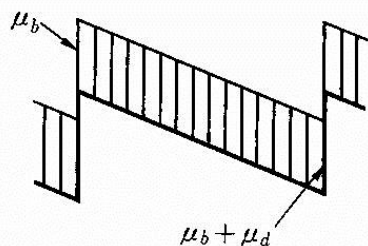


(a) 滑動がないとき

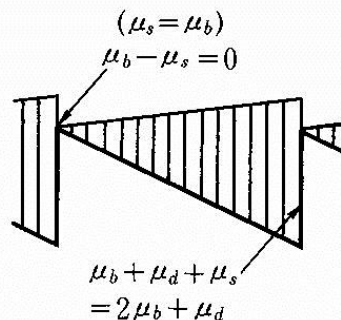


(b) 滑動があったとき

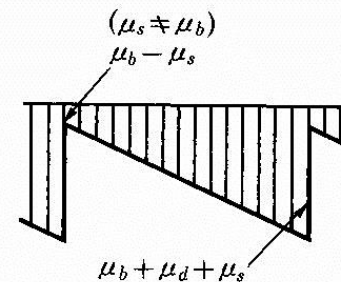
通常の場合の屋根上滑落雪



(a) 滑動がないとき



(b) 滑動があったとき ($\mu_s = \mu_b$)



(c) 修正後の分布

谷部で盛り上がる場合の屋根雪分布の修正

局所的屋根雪荷重

- (1) 屋根上の突起物
吹きだまりや滑雪の堆積
- (2) 軒先やけらば
巻き垂れ, 雪庇, つらら
- (3) 庇や下方の屋根への落雪
衝撃力も考慮する

巻きだれの例



軒先に形成した巻き垂れ

軒先の大きなつらら



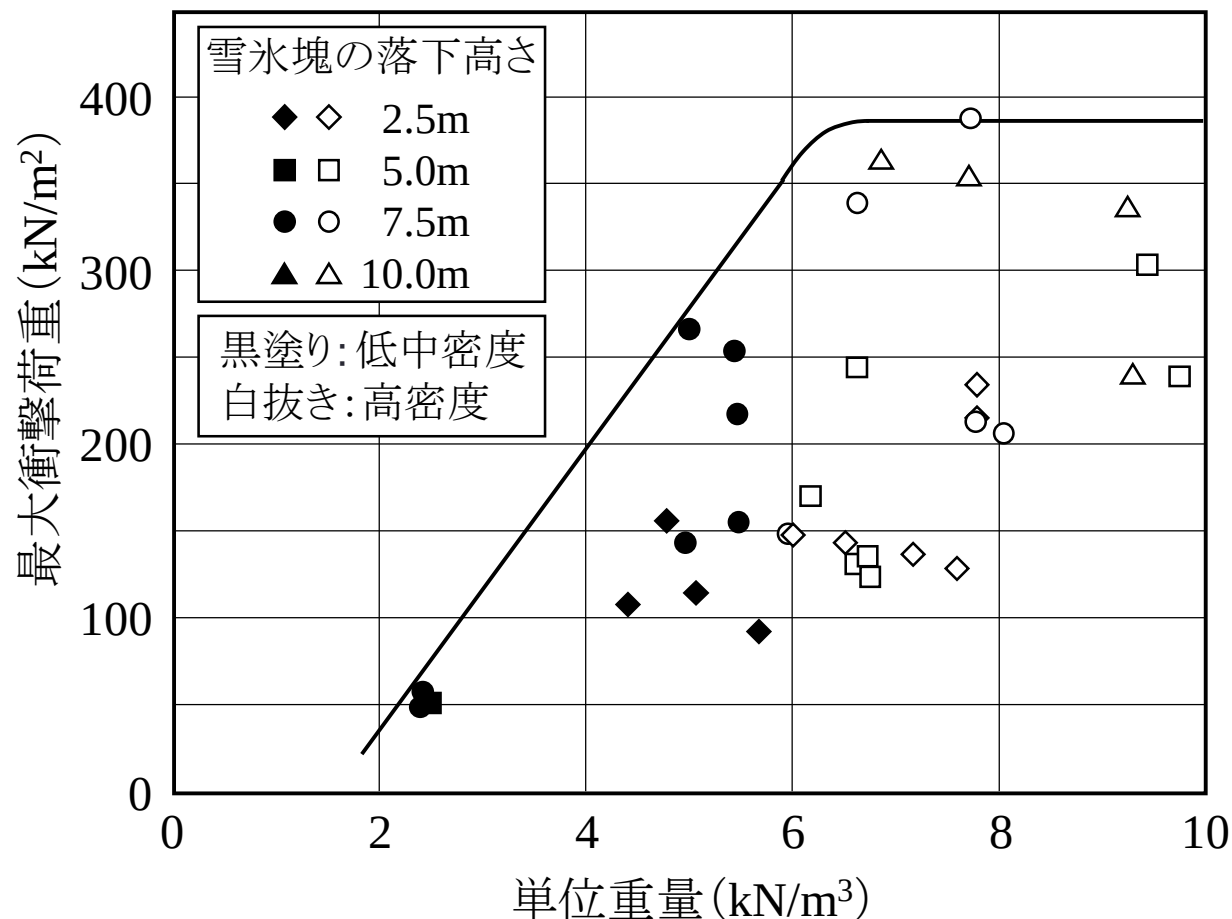
倉庫建築物の屋根に形成したつらら

屋根の雪庇



風下側に形成した巨大な雪庇

単位体積重量と衝撃荷重



雪の単位体積重量と最大衝撃荷重の関係

雪の沈降による被害



沈降力によるブレースの変形例

冠雪、庇など外装材の雪荷重

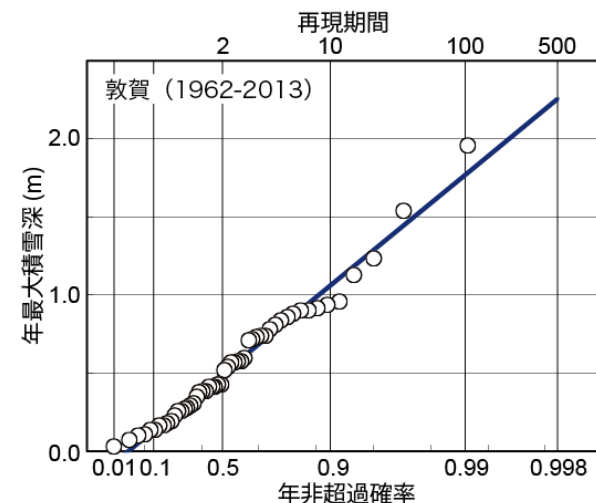
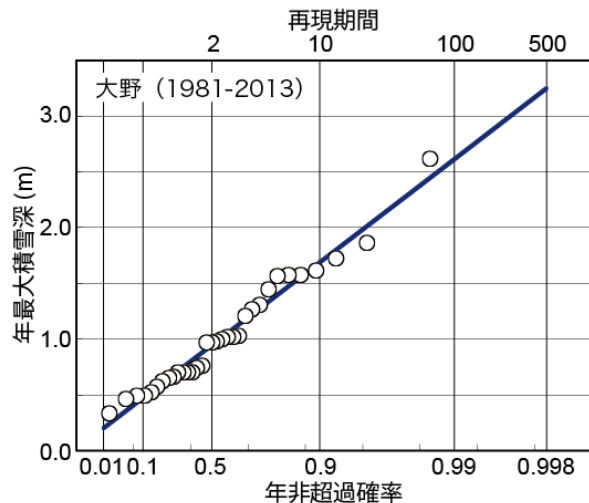
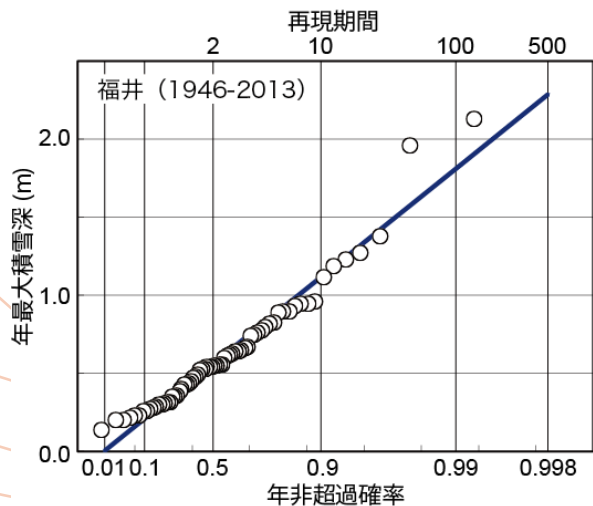
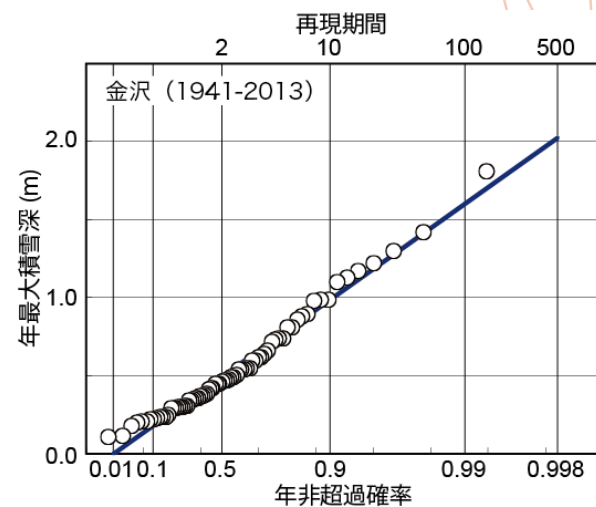
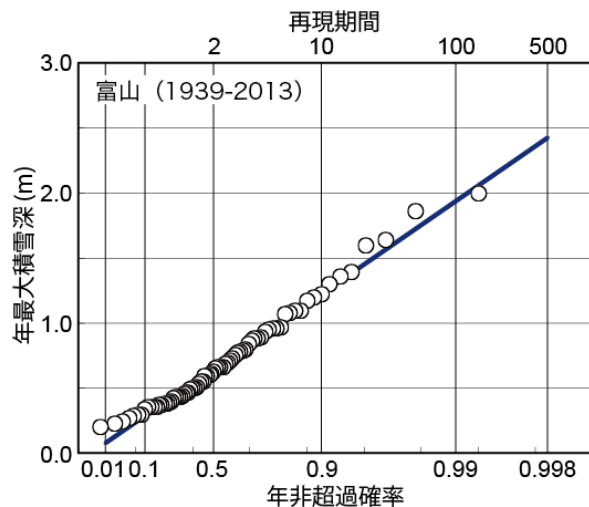
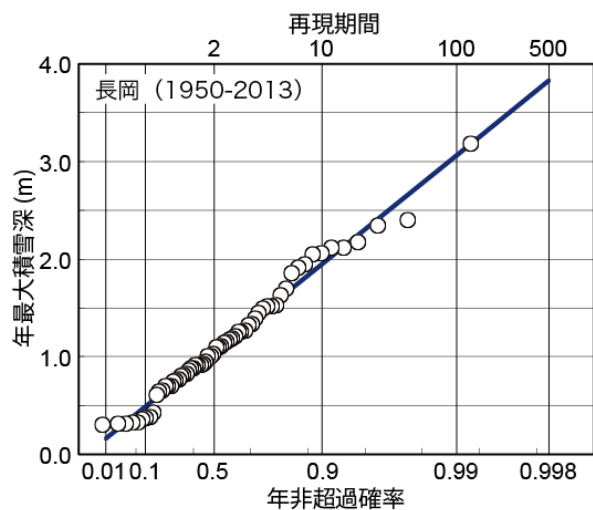


冠雪の例

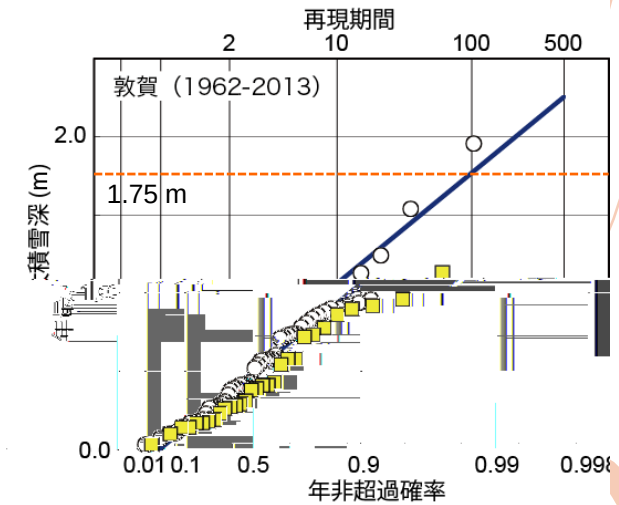
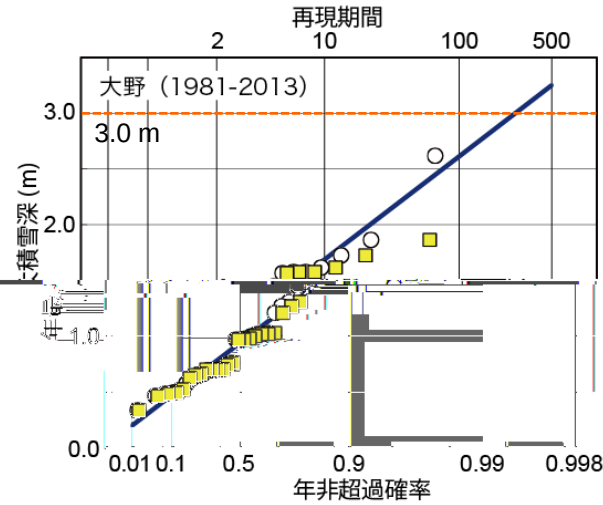
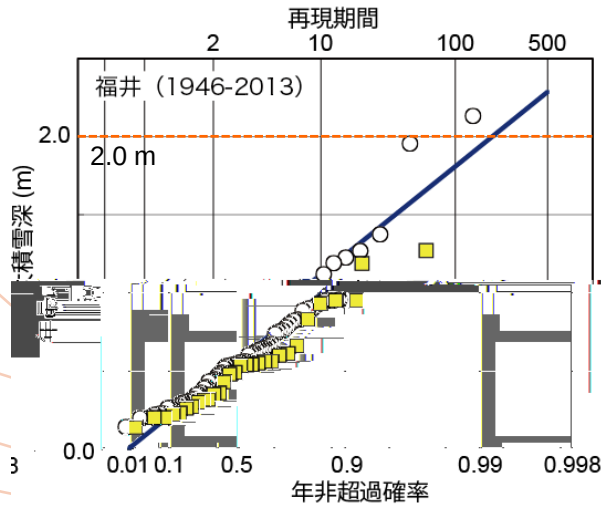
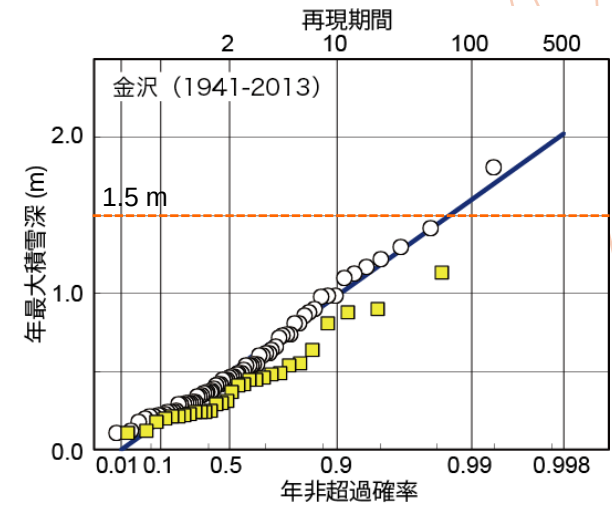
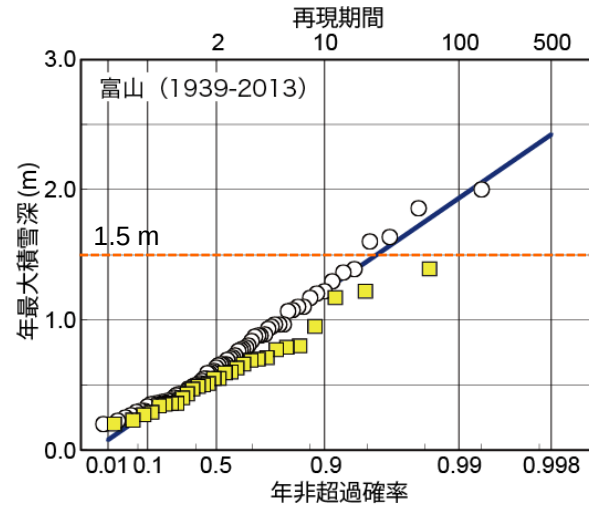
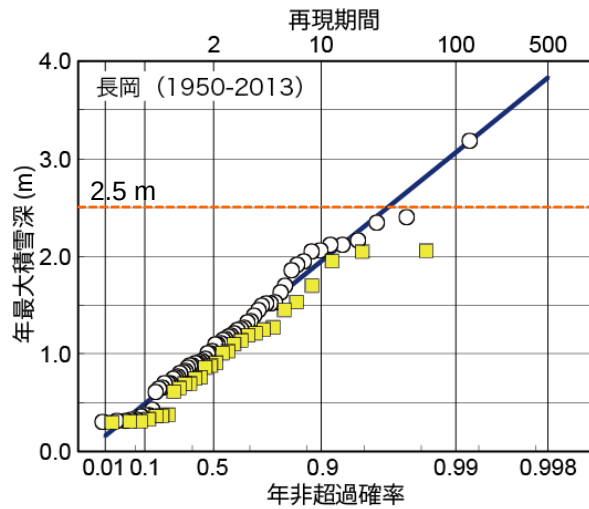


スリットを持つ庇上の積雪

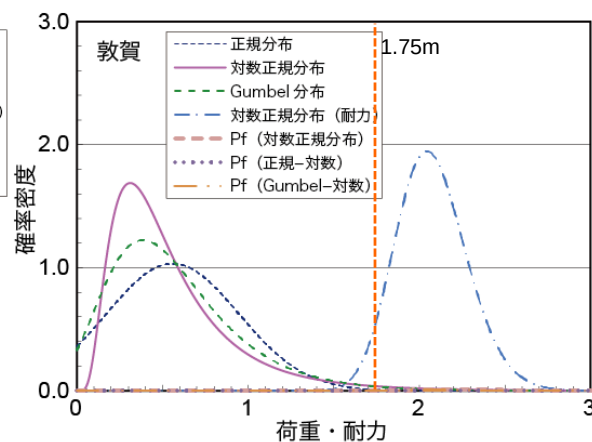
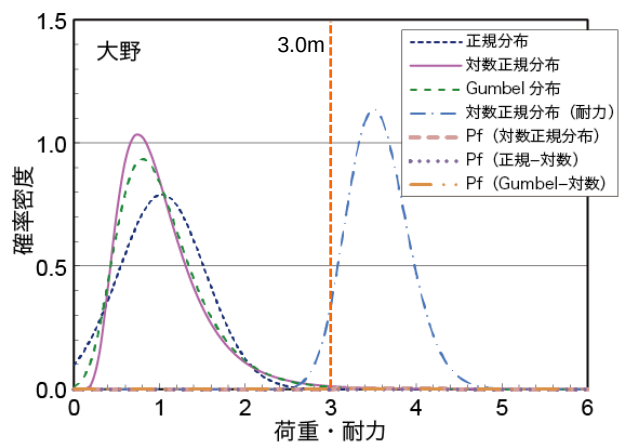
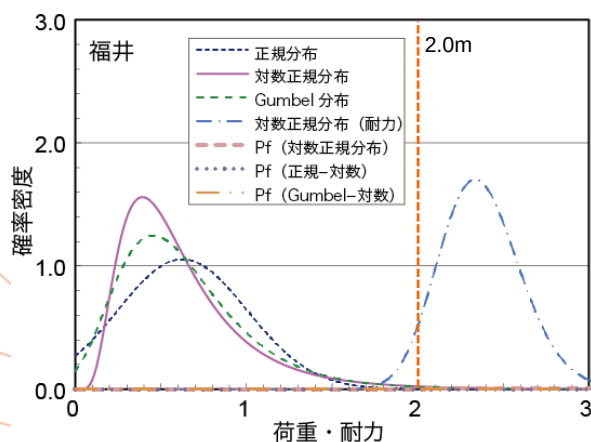
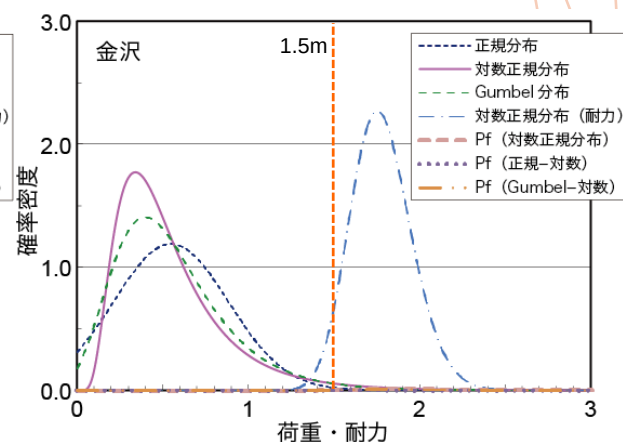
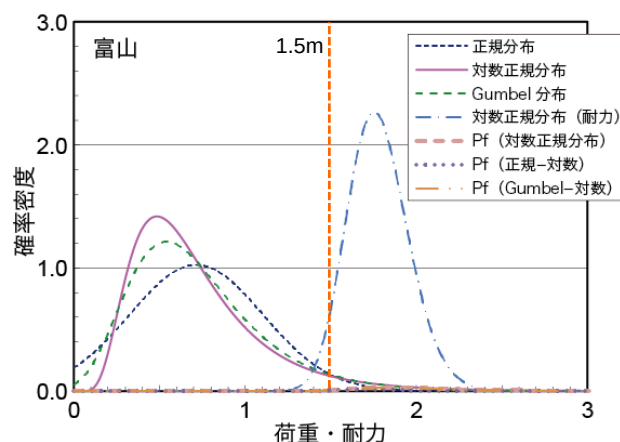
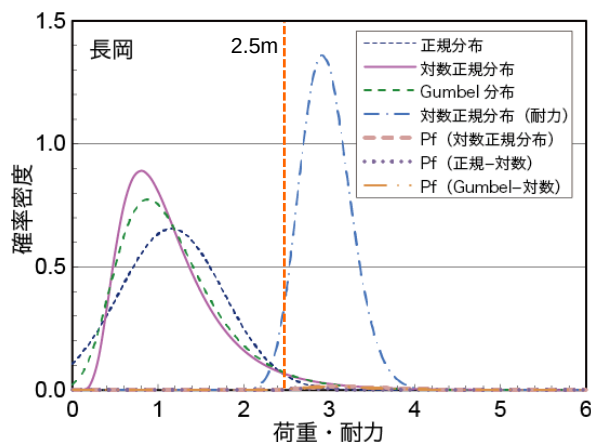
設計水準に関する考察（北陸6都市）



最近30年のデータでは？



構造物の破壊確率で考える



耐力の確率分布：対数正規分布，変動係数：0.1，管理水準：5%を仮定

年最大積雪深の観測開始以来の平均値 と標準偏差に対する破壊確率

地名	指導値	荷重：対数正規分布			荷重：Gumbel分布		
		1年	10年	50年	1年	10年	50年
長岡	2.50 m	0.018	0.166	0.596	0.015	0.139	0.527
富山	1.50 m	0.023	0.204	0.680	0.019	0.179	0.626
金沢	1.50 m	0.010	0.094	0.390	0.006	0.061	0.269
福井	2.00 m	0.004	0.040	0.185	0.002	0.020	0.096
大野	3.00 m	0.002	0.023	0.111	0.001	0.013	0.065
敦賀	1.75 m	0.008	0.079	0.338	0.005	0.044	0.202

耐力の確率分布：対数正規分布，変動係数：0.1，管理水準：5%を仮定

$$n\text{年間の破壊確率 } P_{f-n} = 1 - (1 - P_{f-1})^n$$

年最大積雪深の最近30年の平均値と標準偏差に対する破壊確率

地名	指導値	荷重：対数正規分布			荷重：Gumbel分布		
		1年	10年	50年	1年	10年	50年
長岡	2.50 m	0.008	0.080	0.339	0.006	0.054	0.242
富山	1.50 m	0.006	0.056	0.252	0.004	0.040	0.187
金沢	1.50 m	0.002	0.022	0.106	0.0007	0.007	0.036
福井	2.00 m	0.001	0.010	0.049	0.0003	0.003	0.015
大野	3.00 m	0.0006	0.006	0.111	0.0004	0.004	0.019
敦賀	1.75 m	0.0026	0.026	0.124	0.0008	0.008	0.038

耐力の確率分布：対数正規分布，変動係数：0.1，管理水準：5%を仮定

$$n\text{年間の破壊確率 } P_{f-n} = 1 - (1 - P_{f-1})^n$$

設計水準に関する考察

- 現状の指導値は再現期間50年の値（50年間の超過確率63.6%）に基づいているが、行政によりばらつきがある。
- 供用年数を50年と仮定すれば、長岡、富山では近年の少雪化の傾向下においても指導値ぎりぎり設計するのは危険である。
- 設計用積雪深の設定においては屋根断熱の普及など屋根雪を増やす要因への配慮も必要である。

以上