

# 折板屋根の軒出長さにおける耐力比較試験

一般社団法人日本鋼構造協会  
一般社団法人日本金属屋根協会

当協会では、一般社団法人日本鋼構造協会と共同で、鋼板製屋根・外壁の設計・施工並びに維持保全や改修に関する手引き書『鋼板製屋根・外壁の設計・施工・保全の手引きMSRW2014』（以下、MSRW2014）を作成し、独立行政法人建築研究所の監修を受けて本年2月に発行しました。

MSRW2014の作成に際して各種の確認試験を実施しましたので、今回は、折板屋根の軒出長さにおける耐力比較試験を掲載いたします。MSRW2014の詳しい内容は、本年5月号を参照下さい。

## 1. MSRW2014で実施した試験

鋼板製外装材に要求される性能のうち耐風圧性能が不足すると強風時に飛散等の損傷が発生し、当該建築物の機能損失だけでなく周辺建築物等へも2次被害を発生させる可能性がある。MSRW2014の1.2節に掲げたような強風被害を軽減するには、SSR2007、SSW2011及び本手引き2.9節において整備された鋼板製外装材の耐風圧性評価を基にした構造計算や適切な施工を行うことが重要となる。設計・施工を行うにあたり強風時、鋼板製外装材各部に発生しうる破壊状態を事前に知って、特別に関心をもっておくことは被害軽減に有効である。

## 2. 折板屋根の軒出長さにおける耐力比較試験(耐風圧性試験)

折板屋根の軒部分は、図1に示すように、水下側のタイトフレームから外壁屋外側へはね出した構造となる。外にはね出した軒の上面には強い負圧が作用するが、同時に下面から押し上げる正圧が作用するため、結果の風力は非常に大きくなる。実際に、大きくはね出した軒の出が強風によって捲り上がる被害は多く報告されている。そこで軒出長さの違いによっ

てどの程度耐力が異なるかの比較試験を行った。以下に実施例を示す。

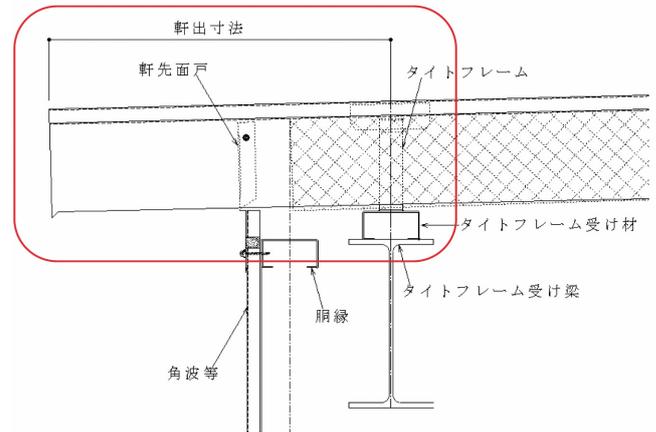


図1 軒出寸法の例



参考写真 軒の被害例

表1 各種試験とMSRW2014との対応関係

各種試験名	MSRW2014	機関誌
折板屋根の軒出長さにおける耐力比較試験（耐風圧性試験）	2.3～2.5節	
平板ぶき屋根の唐草つかみ込み耐力比較試験（線荷重載荷試験）	2.6～2.7節	2014年6月号
平板ぶき屋根の野地板直留め構法確認試験（温度伸縮繰り返し試験、引張試験）	2.6～2.7節	
鋼製下地への留め付け方法確認試験（ねじ引張試験）	2.3～2.8節	2014年7・8月号
留め付けねじの端あき強度試験（せん断方向、引き上げ方向引張試験）	2.3～2.8節	
外壁材の飛来物耐衝撃性試験	2.8節	2013年3月号(概要)

### (1) 試験体の仕様及び加圧方法

試験体は母屋間隔1,000 mmで支持された重ね形折板屋根で、軒出長さを折板の山高の5倍(試験体A : 440mm)と大きくはね出した10倍(試験体B : 880mm)の2仕様を設定した(図2)。写真1に示すように、試験体には加圧時に軒先部と架台枠(ふさぎ板)との隙間からの漏気を防ぐために、ビニールシートを屋根材の変形を妨げないように注意して設置した。

試験は、予備加圧500Pa、加圧ピッチ250Paで、破壊

荷重まで-1,000Pa増分ごとに途中減圧段階を設けて除荷時の状態を確認しながら行った。

- ・屋根材：重ね形折板屋根（山高88mm、山ピッチ200mm、板厚0.6 mm）
- ・軒出長さ：440mm（試験体A 山高×5倍）、80mm（試験体B 山高×10倍）
- ・母屋：□-100×100×3.2
- ・母屋間隔：1,000mm（試験体A、B共）

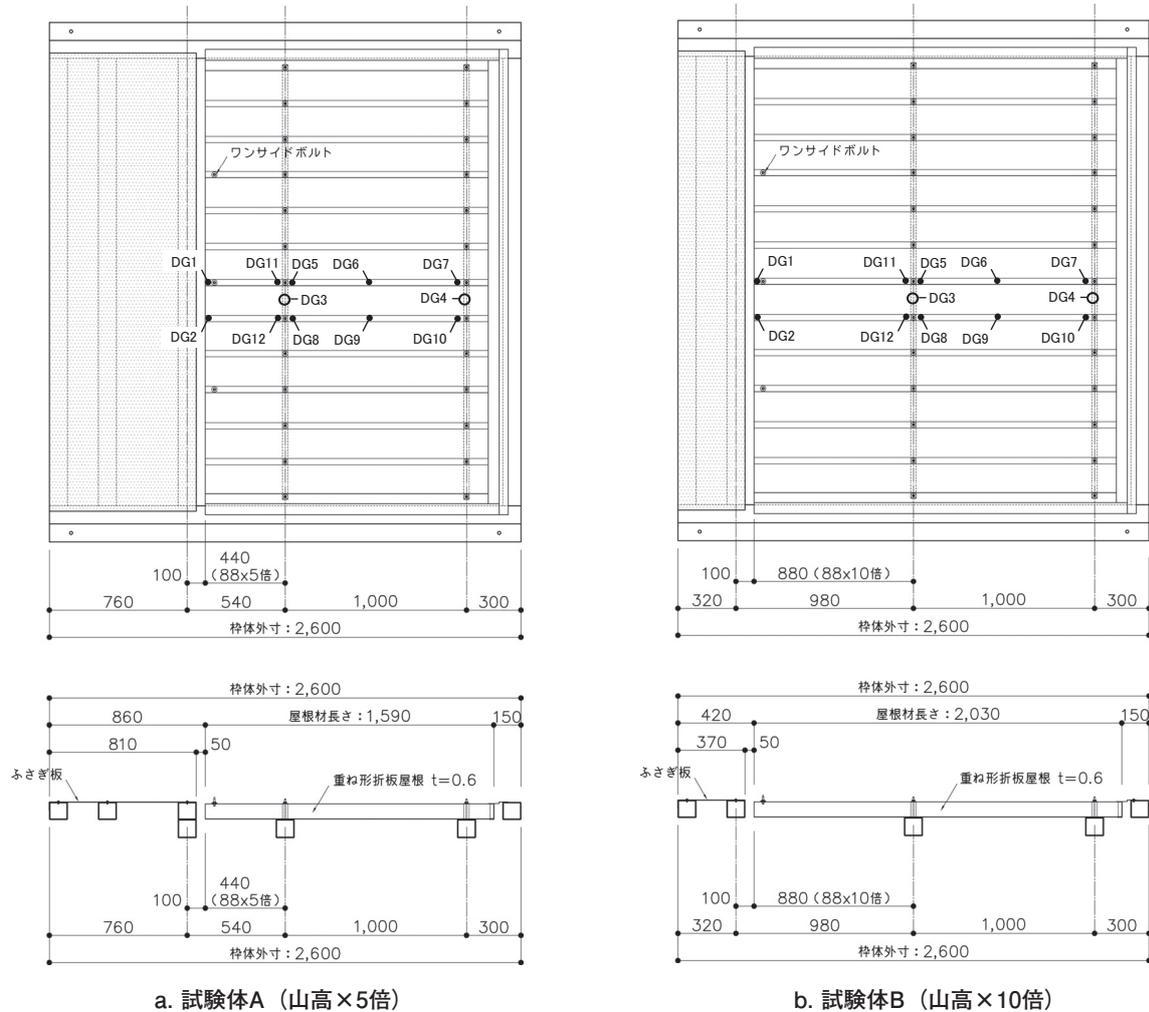


図2 折板ぶき屋根の軒出長さにおける耐力比較試験体図



写真1 試験体全景及びビニールシート設置状況

## (2) 試験結果

軒出長さが異なる重ね形折板屋根の耐風圧性試験(負圧)を行った。試験結果の概要を付表5.1.2、試験体の屋内側への向きを正とした各圧力時における試験体各部の変位量、及び軒先部の圧力-たわみ関係の代表的な結果を図3～4にそれぞれ示す。

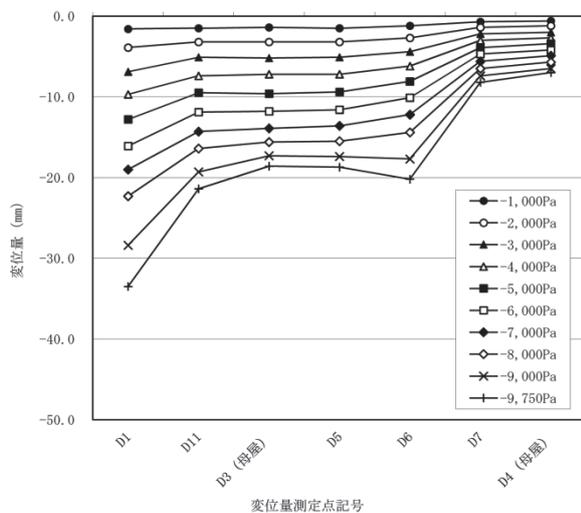
軒出長さを折板の山高の5倍(440mm)に設定した試験体Aに-1,000Paごとに途中減圧段階を設けながら段階的に圧力を载荷したところ、試験装置上限(-9,750N/m<sup>2</sup>)まで破壊には至らなかったため、この時点を最大圧力とした。途中減圧段階における軒先

部のたわみ量は-9,000Pa時においても減圧前後で大きな差は見られなかったが、残留たわみ量は前段階(-8,000Pa時)より急激に大きくなった。これは試験後の状況(写真2 a)にあるように、負圧荷重によってはね出し部根元のタイトフレーム位置で折板山部の曲げ座屈が発生し始めていることが原因と考えられる。一方、軒出長さを折板の山高の10倍(880mm)に設定した試験体Bは-4,000Pa時の途中減圧段階において前後に大きなたわみ量の進展や残留たわみは見られなかったが、-4,750Paから次の加圧途中にはね出し部根元で折板山部が座屈し破壊した(写真2 b)。

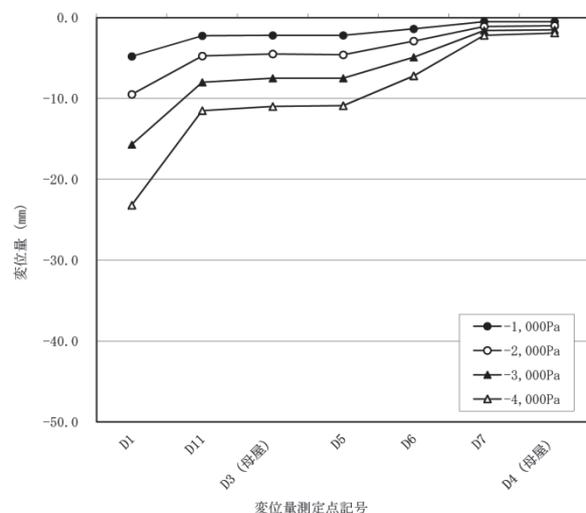
表2 折板ぶき屋根の軒出長さにおける耐力比較試験結果の概要

試験体	加圧方向	軒出寸法	最大圧力 (Pa)	途中減圧段階における軒先部たわみ量				破壊状況
				途中減圧段階	途中減圧前 (mm)	途中減圧時 (mm)	途中減圧後 (mm)	
A	負圧	440 mm	-9,750	-1,000	0.24	-0.12	0.14	装置上限まで 破壊なし
				-2,000	0.00	-0.03	0.14	
				-3,000	-0.20	-0.08	-0.36	
				-4,000	-0.55	-0.11	-0.61	
				-5,000	-0.92	-0.03	-0.60	
				-6,000	-1.19	-0.38	-1.11	
				-7,000	-1.32	-0.47	-1.32	
				-8,000	-2.40	-1.55	-2.54	
				-9,750	-10.03	-7.66	—	
B	負圧	880 mm	-4,750	-1,000	-1.14	0.19	-1.14	タイトフレーム部で 折板山部が座屈
				-2,000	-1.99	-0.03	-1.19	
				-3,000	-3.04	-0.13	-3.04	
				-4,000	-4.46	-0.55	-4.37	

\*試験実施：(一財)日本建築総合試験所



a. 試験体A (山高×5倍)



b. 試験体B (山高×10倍)

図3 各圧力時における試験体各部の変位量

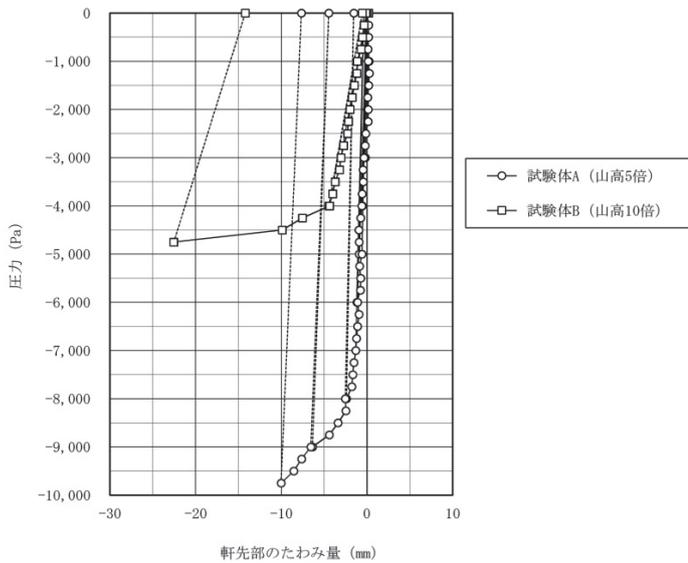


図4 各試験体における軒先部の圧力—たわみ関係図

### (3) 試験結果のまとめ

軒出長さが異なる重ね形折板屋根の耐風圧性能の比較試験を行ったところ、軒出長さが山高の5倍(440mm)の試験体Aは装置上限9,750Paまで破壊は見られなかったが、山高の10倍(880mm)の試験体Bは

4,750Paで破壊した。同一圧力時における両試験体のたわみ量を比較すると軒出長さが大きな試験体Bの方がかなり大きい結果となった。このことから分かるように軒部分における折板屋根の耐力は軒出長さにより大きく影響を受けるため、強風による被害を低減するには短い方が有効と考えられる。

### (4) 考察

#### a) 試験結果と計算値との比較

軒出長さを折板の山高の10倍(880mm)とした試験体Bについて、試験結果と計算値を比較する(付表5.1.3)。

まず、たわみ量に着目すると、①試験結果(以下①)のたわみ量は、②試験条件に即した精算解(以下②)のたわみ量とほぼ一致することから、実際に即した支持条件での計算によると、軒出部の挙動も計算によってほぼ把握できることがわかる。一方、③軒出の起点を固定端とみなした略算解(以下③)ではたわみ量を過小評価しており、SSR2007の記述のとおり「軒先のたわみは、一般屋根部分の梁伏せの状況および荷重の状況によって変化し、根元固定の片持梁として算出するのは正確な方法ではない。」ことがわかる。

つぎに支点反力：RAに着目すると、これも③の値



a. 試験体A (山高×5倍)



b. 試験体B (山高×10倍)



写真2 各試験体における耐風圧性能試験後の状況

に比べ②の値は約二倍となっており、軒出の起点となる支点には実際には大きな支点反力が作用することがわかる。なお、今回の試験(①)では反力値は計測していない。

最後に曲げ応力度(最大曲げモーメント:  $M /$  断面係数:  $Z$ )に着目すると、②と③は理論上同値となるが、①における弾性挙動限界(-4,000Pa)において、計算上の曲げ応力度は9,186.2N/cm<sup>2</sup>となる。

一般社団法人金属屋根協会による屋根材の計算ソフト「屋根を調べる」においては、折板屋根の軒出部の設計時には断面性能値を半減する運用としているため、弾性挙動限界時の計算上の曲げ応力度は

18,372.4N/cm<sup>2</sup>となり、同基準値13,720N/cm<sup>2</sup>を上回っていることがわかる。なお今回の試験(①)では曲げ応力度(歪値)は計測していない。

b) 実際の建物における折板屋根軒出部の挙動解析

実際の建物を想定し、折板屋根軒出部の挙動を数値解析する。設定条件の詳細を図5に示す。梁伏せは基本梁スパンを3,000mmとし、周辺部および隅角部において梁をさらに追加した1,500mmスパンとした。周辺部および隅角部の範囲は0.1a' = 3mとした。軒出がある場合については壁の正圧分の風圧力を軒出部に加算する。

表3 軒出長さを折板の山高×10倍(880mm)とした試験体Bにおける試験結果と計算値の比較

荷重: $w$ [N/m <sup>2</sup> (=Pa)]	① 試験結果		② 実験条件に即した精算解			③ 軒出部の起点を固定端とみなした略算解				
	たわみ: $\delta_{end}$ [mm]		反力: $R_A$ [N/m]	曲げ応力度: $\sigma_{max}$ [N/cm <sup>2</sup> ] (基準値13,700)	たわみ: $\delta_{end}$ [mm]		反力: $R_A$ = $wL$ [N/m]	曲げ応力度: $\sigma_{max}$ = $(wL^2/2) / Z$ [N/cm <sup>2</sup> ] (基準値13,700)	たわみ: $\delta_{end}$ = $wL^4 / 8EI$ [mm]	
1,000	1.14	(=L / 771.9)	1,756.0	2,296.6	1.01	(=L / 871.6)	880.0	2,296.6	0.49	(=L / 1785.2)
2,000	1.99	(=L / 442.2)	3,511.9	4,593.1	2.02	(=L / 435.8)	1,760.0	4,593.1	0.99	(=L / 892.6)
3,000	3.04	(=L / 289.5)	5,267.9	6,889.7	3.03	(=L / 290.5)	2,640.0	6,889.7	1.48	(=L / 595.1)
4,000	4.46	(=L / 197.3)	7,023.8	9,186.2	4.04	(=L / 217.9)	3,520.0	9,186.2	1.97	(=L / 446.3)
5,000			8,779.8	11,482.8	5.05	(=L / 174.3)	4,400.0	11,482.8	2.46	(=L / 357.0)
6,000			10,535.7	13,779.4	6.06	(=L / 145.3)	5,280.0	13,779.4	2.96	(=L / 297.5)
7,000			12,291.7	16,075.9	7.07	(=L / 124.5)	6,160.0	16,075.9	3.45	(=L / 255.0)
8,000			14,047.6	18,372.5	8.08	(=L / 109.0)	7,040.0	18,372.5	3.94	(=L / 223.1)
9,000			15,803.6	20,669.0	9.09	(=L / 96.8)	7,920.0	20,669.0	4.44	(=L / 198.4)
10,000			17,559.5	22,965.6	10.10	(=L / 87.2)	8,800.0	22,965.6	4.93	(=L / 178.5)

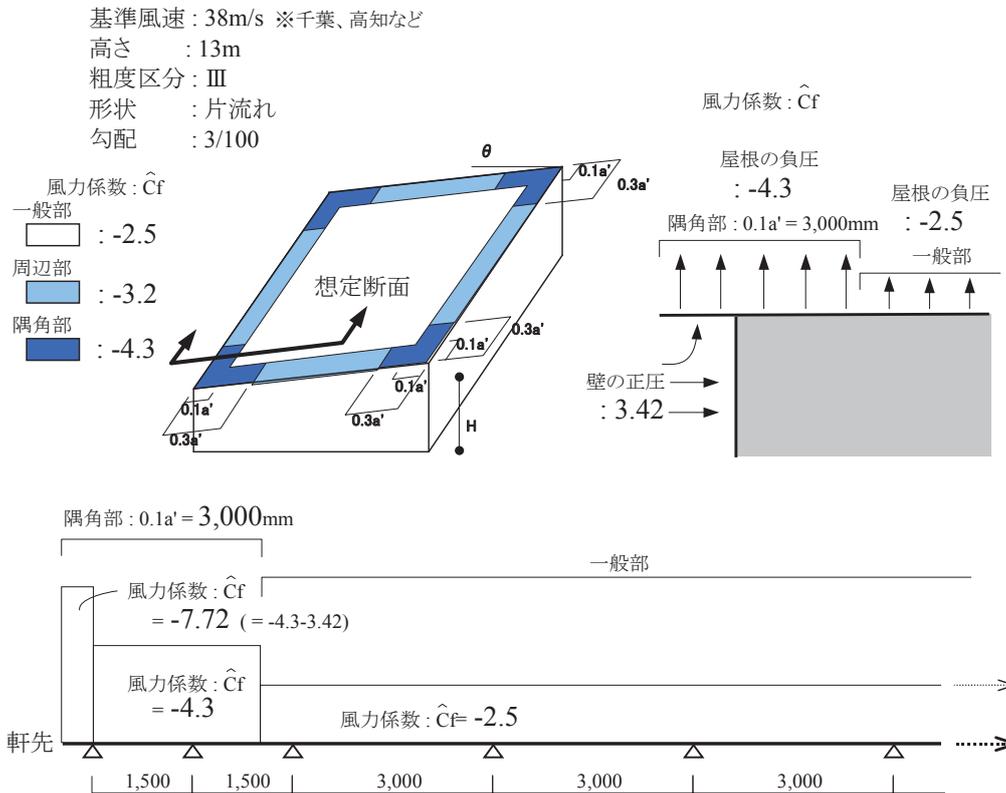


図5 実際の建物における折板屋根軒出部の挙動解析における設定条件

解析結果を付図5.1.5に示す。それぞれ軒出なし、軒出長さ440mm（山高×5倍）、軒出長さ880mm（山高×10倍）の3種類の結果を示す。

支点反力RAに着目すると、軒出長さ440mm（山高×5倍）までは一般部の支点反力RB～RFとの比較でも大きく変化のない数値(4,000N/m台)となっているが、軒出長さ880mm（山高×10倍）ではRAのみが7,000N/m台と、一般部の2倍程度の大きさとなる。また軒出長さ880mm（山高×10倍）では、最大曲げ応力度の発現位置も軒出部の起点、つまり支点RAの位置となり、軒出部の起点は一般部と比較し2倍程度の大

きな支点反力と最大曲げ応力度を同時に負担する箇所となっていることがわかる。

このように大きな支点反力と曲げ応力度とが組み合わさった場合の折板の挙動については、今回の試験結果のみからは詳細を十全に把握できなかったが、本解析結果に見られるように山高の10倍の軒出では、軒出の起点が負担する支点反力および曲げ応力度は共に一般部のそれを大きく上回り、また山高の5倍の軒出であればそれらが一般部とほぼ変わらないことを考慮すると、山高の10倍の軒出における軒出部の起点

が屋根全体における強度的な弱点となっていることがわかる。

今回の試験では、「軒出長さは山高の5倍を目安とする。」という経験則の妥当性を確認するに留まった

が、写真2に見られる支点部分の局部座屈を引き起こすメカニズムの詳細を解明することにより、より詳細な軒出長さ設計手法が確立されるものと考えられる。今後の研究の進展に期待したい。

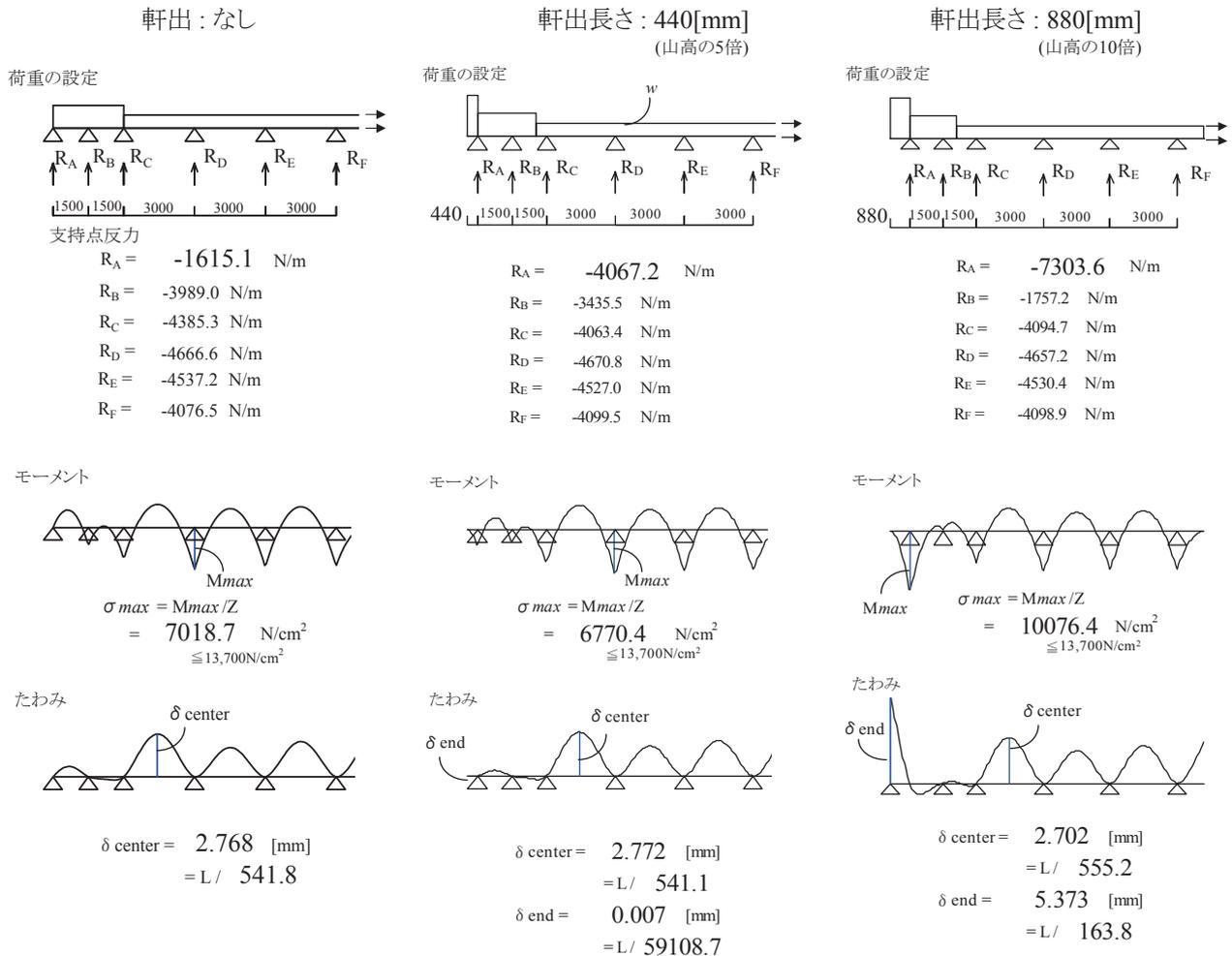


図6 実際の建物における折板屋根軒出部の挙動解析結果