

馳締方式による屋根用ボルトレス大型折板

Large-Sized Boltless Steel Roof-Deck for Seaming Method

永 易 正 光*

Masamitsu Nagayasu

菅 井 慶 一**

Keiichi Sugai

川 島 義 克***

Yoshikatsu Kawashima

Synopsis:

A new type of large-sized steel roof-decks named **RIVER LOCK 160 HAZE** was developed. These roof-decks **LOCK 160 HAZE** has satisfactory performances required for roofing: ing bolts and clasps.

This paper presents the results of the following structural tests which have been conducted prove that **RIVER LOCK 160 HAZE** has satisfactory performances required for roofing:

- (1) Bending tests to obtain sectional properties, ultimate strength, allowable strength and recommendable design curve.
- (2) Peeling tests by using small-sized models and full-scale roof-decks.
- (3) Rainproof tests under cyclic wind pressure with sprayed water.
- (4) Tension and compression tests of tight frame to guarantee strength under wind load and snow load.

1. まえがき

工場、倉庫など鉄骨建築物の屋根材として、山高が150mmを越えるような大型の鋼板製屋根用折板が大量に用いられている。これらは通常、折板相互の緊結や折板を支えるタイトフレームとの固定に、ボルトを使用するいわゆる重ね方式で施工されており、施工現場における多数の穴明けと煩雑なボルト締めが作業能率の低下をきたしている。またボルト穴からの雨漏りや錆の発生も常に問題となっている。

このような背景もあり、当社では施工の省力化

や防水性および耐久性の向上が期待できるボルトレス屋根用折板として、すでにリバーロック30や同50¹⁾を開発し好評を得ているが、今回これら屋根材のタイトフレームとの固定メカニズムをベースとし、これに自走式電動シーマーによる馳締め緊結法を応用した独自の大型折板を開発し、リバーロック160ハゼの製品名で、関係会社を通じ販売を開始した。

リバーロック160ハゼはJIS A 6514「鋼板製屋根用折板」にもとづけば馳方式に分類されるが、ボルトや固定金具を一切用いない新しいタイプの折板であり、きわめて独自性の高い新製品である。

本報告はリバーロック160ハゼの製品紹介と、

・ エンジニアリング事業部構造技術研究所構造研究室主任研究員（掛長）

** エンジニアリング事業部技術総括部開発総括室主査（課長）

*** エンジニアリング事業部技術総括部技術総括室主査（課長補）

〔昭和56年9月29日原稿受付〕

屋根材としての安全性を確認するため実施した各種性能試験の結果をまとめたものである。

2. リバーロック160ハゼの概要

リバーロック160ハゼはFig. 1に示すごとく、働き幅を500mm、山高を160mmとする板厚0.8mmと1.0mmの大型折板で、左右の上底には折板相互を緊結するためのオス馳とメス馳を、またウェブにはタイトフレームに固定するための突起を設けたことに特徴がある。

以下に施工手順を述べる。まず、Fig. 2に示すタイトフレームを受け梁に500mmピッチで取り付け。次いで工場または現場で成形された折板をメス馳がオス馳に重なるよう順次敷きつめる。折板の突起部をタイトフレーム上部の両側に突出した爪部に嵌合させた後、手動の馳締機を用いて折板の両端部および適当な中間部を仮締め(Photo.1)、折板のずれ防止と屋根面上での作業の安全性を確保する。最後に馳を全長にわたって自走式の電動シーマーで本締めする。

Fig. 3は当該折板の馳締め機構であり、Fig. 4に従来の重ね方式大型折板との差異を比較した。

3. 性能試験結果

3.1 曲げ耐力試験

板厚0.8mmと1.0mmのリバーロック 160 ハゼの断面性能を求め、さらに変形能や最大曲げ耐力を

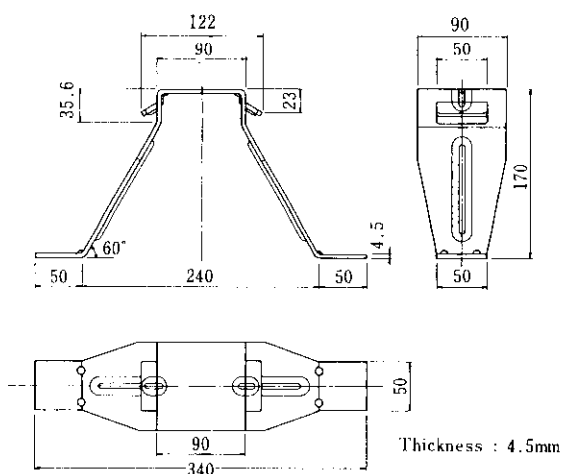


Fig. 2 Tight frame for RIVER LOCK 160 HAZE

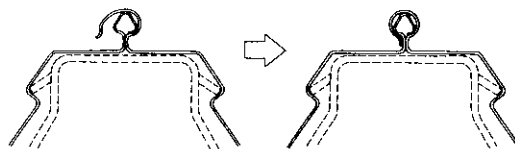


Fig. 3 Construction of standing seam

調べるために、JIS A 6514に従いスパンを4.0mとする単純梁形式で2点集中荷りより、積雪および暴風時吹上げ荷重を想定した正および負の曲げ試験を行った。

また実設計で多用される2連続梁と軒先部分の張

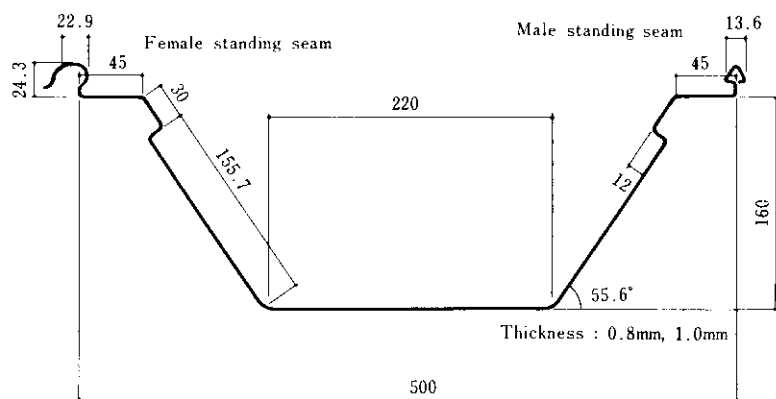


Fig. 1 Sectional shape of RIVER LOCK 160 HAZE



Photo. 1 Temporary seaming with manual tool

出し梁の2形式についても同様の曲げ試験を行った。

各試験体の形状と載荷および変形測定位置を Fig. 5 に示す。単純梁形式の試験体には、中立軸の位置確認に必要なひずみ量を測定するため、スパン中央の折板表、裏面にひずみゲージを貼付した。Photo. 2 に実験状況を示す。

単純梁形式の荷重—変形曲線例を Fig. 6 に示す。なお、この図には薄肉構造設計で行なわれている有効幅考慮の計算方法に準拠し、折板下底部の幅を、正曲げのように引張力を受ける場合は全幅有効(図中1点鎖線)、また負曲げのように圧縮力を受ける場合は板厚の48倍有効²⁾(図中2点鎖線、

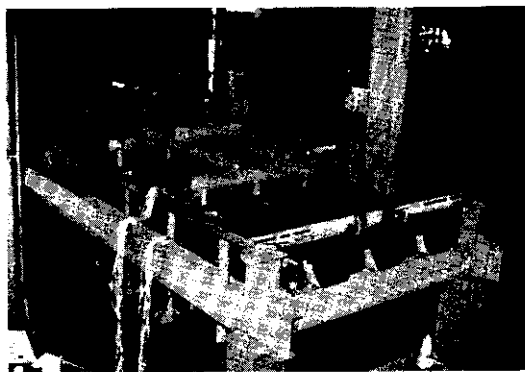


Photo. 2 Bending test

有効幅 $b_e=48t$), としたときのたわみ変形を参考として併記した。

単純梁形式の荷重と変形の関係から、各試験体の断面性能を求めその結果を Table 1 に示す。ところで、屋根材に作用する曲げモーメントは架構形式や荷重方向により正負に変化するが、通常の屋根設計において断面性能を使い分けることは非常に煩雑であり実用的でない。したがって、リバーロック160ハゼでは安全を期して Table 1 に示した正負の性能のうち小さい値、すなわち Table 2 を設計用断面性能として用いることにする。

Table 3 は単純梁、張出し梁および2連続梁形式の曲げ試験における最大荷重と、許容応力度を 1400kgf/cm^2 ³⁾ として求めた設計最大荷重とを比較したものである。同表より、当該折板は架構法、荷重方向にかかわらず十分な曲げ耐力を有していることが判る。

以上の実験から得られた諸元を用い、リバーロ

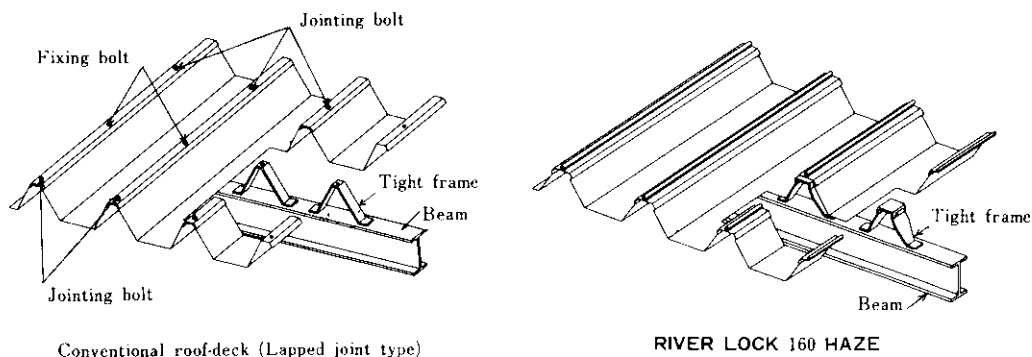


Fig. 4 Comparison of new type roof-deck with conventional one

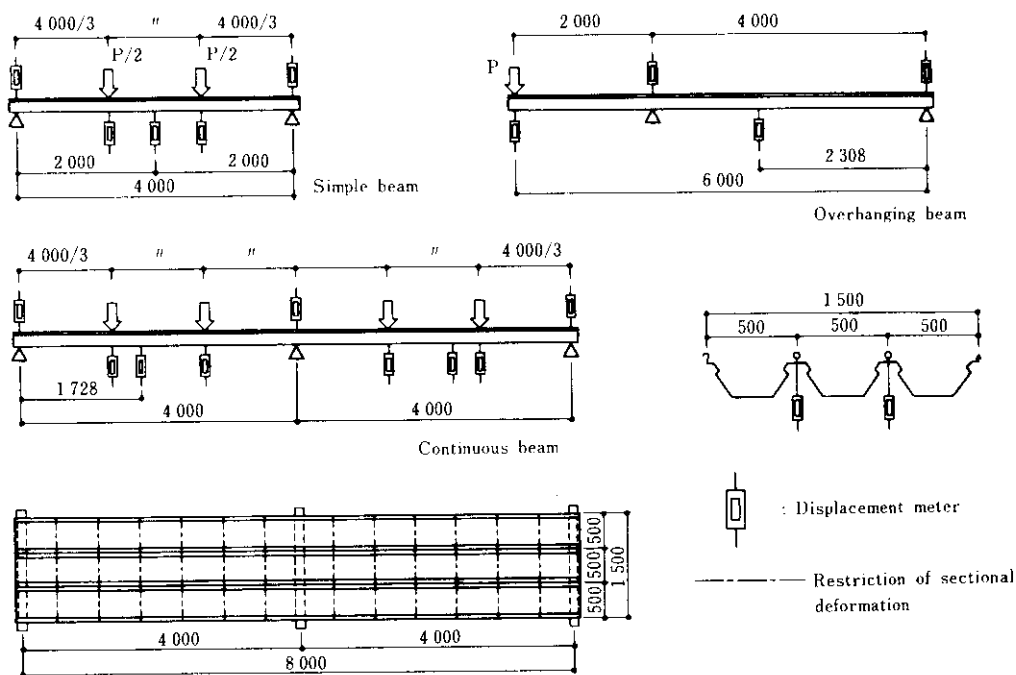


Fig. 5 Bending test specimens

Table 2 Sectional properties for design
(per 1.0m-width)

Thickness t (mm)	Moment of inertia I (cm ⁴)	Section modulus Z (cm ³)
0.8	338.7	32.0
1.0	506.1	50.8

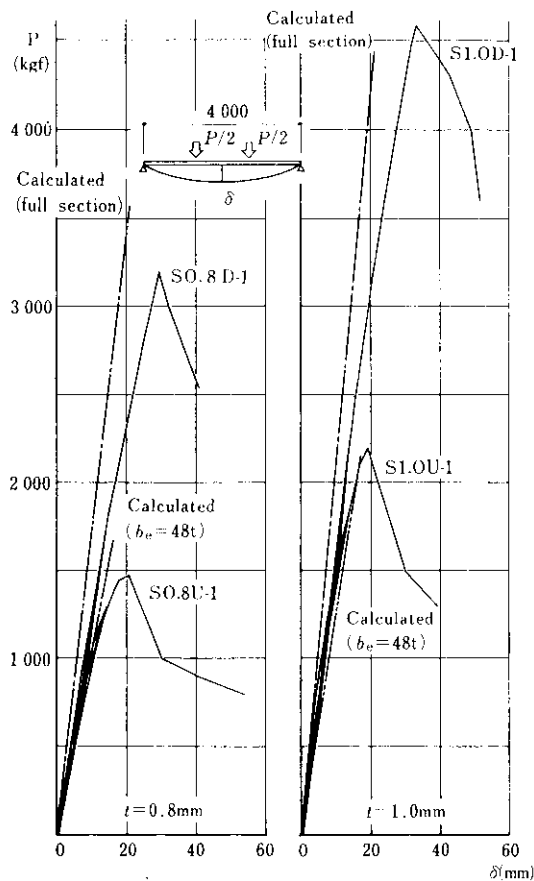
ック160ハゼの荷重と許容スパンとの関係を求め、これを設計用早見図として Fig. 7 に示す。

3.2 外れ耐力試験

台風などの災害をみると、主要骨組の被害もさることながら、吹上げ風荷重による折板の飛散例が少なくない⁴⁾。リバーロック160ハゼの場合、飛散事故はタイトフレームからの離脱が原因となる

Table 1 Sectional properties obtained from simple beam type bending test (per 1.5m-width)

Thickness t (mm)	Load direction	Specimen No.	Moment of inertia I (cm ⁴)	Height of neutral axis h (cm)	Section modulus Z (cm ³)	Average		
						I (cm ⁴)	h (cm)	Z (cm ³)
0.8	Downward	S0.8D	1	673.2	8.28	680.2	8.29	82.0
			2	687.3	8.30			
	Upward	S0.8U	1	506.7	10.59	508.0	10.55	48.1
			2	509.4	10.52			
1.0	Downward	S1.0D	1	872.3	8.02	864.1	8.05	107.3
			2	856.0	8.08			
	Upward	S1.0U	1	775.5	9.82	759.2	9.95	76.3
			2	743.0	10.07			



Marks such as SO.8U-1 are explained on Table 1

Fig. 6 Relation between load and deflection

ため、この離脱を起すときの耐力を調べることにした。なお、折板の離脱に対する抵抗力を表わす適当な用語がないため、ここではそれを外れ耐力と称することにする。

試験体は外れ耐力に影響を与えると思われる結露防止用裏貼り材の有無とその厚さ、および電動シーマーの左右ロール間隙を0mmと1.5mmとすることによる馳の締付け力を変化させた。板厚は0.8mmと1.0mmの2種とし、長さ、幅とも1.0mの小型試験体を用いた。実験には圧力箱を用い、その上面に試験体を取り付けたうえ、吹上げ荷重に対応させるべく圧力箱内の気圧を動風圧試験機で上昇せしめた。Fig. 8に示す折板突起部間の開き変形量を、タイトフレームで支持した折板両端部とスパン中央部について測定した。Photo. 3に試験状況を示す。

試験結果をTable 4に示すが、板厚が1.0mmの試験体はいずれも試験機能力限の1100kgf/m² 載荷に達しても外れ破壊を起さなかった。しかし0.8mmの板厚では裏貼り材の有無や馳の締付け力に関係なく、折板下底部に生じた凸形の折れ曲がりに誘発されたかたちで約1000kgf/m²で外れた。またTable 4からも判るように、外れに直結するタイトフレーム支持位置の開き変形は、折板厚、裏貼り材の有無、馳締付け力に関係なくスパン中央部の約1/5しか生じておらず、外れ破壊に対し有

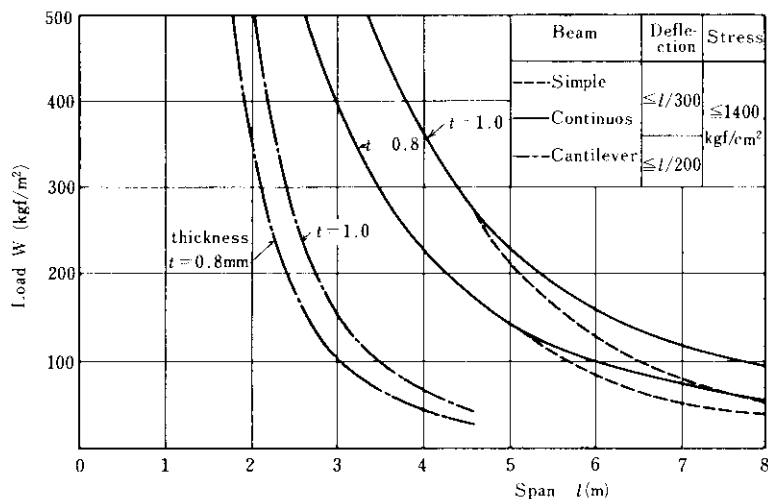
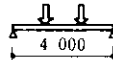
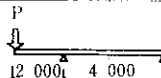
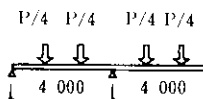
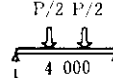
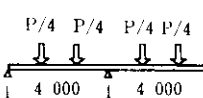


Fig. 7 Relation between design load and allowable span

Table 3 Comparison of ultimate load with design load

Thickness t (mm)	Beam type (mm)	Load direction	Ultimate load		Design load		Safety factor $\frac{P_{max}}{P_0}$ or $\frac{W_{max}}{W_0}$
			P_{max}^x (kgf)	W_{max} (kgf/m ²)	P_0^* (kgf)	W_0 (kgf/m ²)	
0.8		Downward	1	3 200	1 010	224	3.17
			2	3 370			3.34
		Upward	1	1 400			1.39
			2	1 480			1.47
		Downward	1	550	337		1.63
			2	560			1.66
		Upward	1	1 110			3.29
			2	1 110			3.29
		Downward	1	4 700	2 020		2.33
			2	4 630			2.29
		Upward	1	3 600			1.78
			2	3 500			1.73
1.0		Downward	1	4 600	1 602	356	2.87
			2	4 560			2.85
		Upward	1	2 200			1.37
			2	2 200			1.37
		Downward	1	860	534		1.61
			2	830			1.55
		Upward	1	1 550			2.90
			2	1 510			2.83
		Downward	1	5 800	3 204		1.81
			2	5 800			1.81
		Upward	1	5 500			1.72
			2	5 500			1.72

*per 1.5m width

利な変形性状を示している。このようにタイトフレーム支持部での開き変形量が少なくなる理由は、爪部に集中する荷重反力が爪部と折板突起部間の摩擦抵抗力を増加させ、これが開き変形の拘束力として作用するためと考えられる。したがって、開き変形に対する拘束力はスパンが大きくなるほど増大することになるため、実用スパンでは折板自身の曲げ耐力以前に外れを起す危険性は極めて少ないと思われる。これを確認するため、実用スパンでの外れ試験をも行った。

試験体は小型の場合と同様、裏貼り材の有無とその厚さ、および馳の締付け力を変化させた板厚 0.8mm と 1.0mm のリバーロック160ハゼを用いて、スパンを 3.0m とする 2 連続梁形式で架構した。

Photo. 4 に試験状況を示す。

Table 5 に試験結果を示すが、いずれの試験体も最大曲げモーメントを生じる中央支点位置の折板上底部が Photo. 5 のごとく局部座屈を起して

最大耐力に到っており、外れが破壊の原因とはならないとの筆者らの主張を裏付けた。なお、スパンを 3.0m とする 2 連続梁の設計最大荷重は板厚 0.8mm で 398kgf/m²、1.0mm で 632kgf/m² と計算されており (Fig. 7 参照)、今回の最大荷重はこれらを当然ながら十分上回っている。

以上の実験結果と考察より、暴風時吹上げ荷重に対するリバーロック160ハゼは、結露防止用の裏貼り材が使用され、かつ馳がある程度緩く締付けられていても、曲げ破壊を起す以前には外れないことが判明した。

3.3 防水試験

防水性能は屋根に要求される性能のうち最も重要なものである。これを調べるため、当該折板の防水試験を行った。

試験体は防水性能に関与すると思われる板厚、スパン、結露防止用裏貼り材の有無とその厚さな

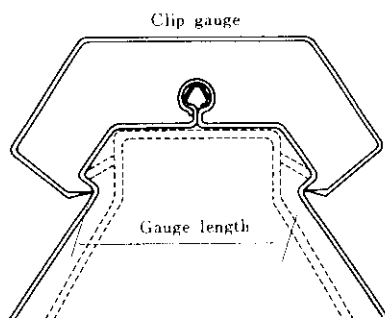


Fig. 8 Measurement method of opening deformation



Photo. 4 Peeling test by using actual size specimen

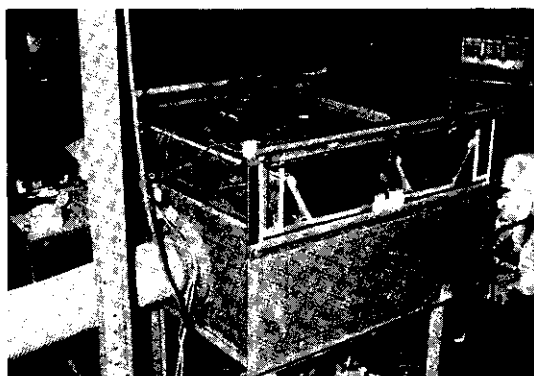


Photo. 3 Peeling test by using small size specimen

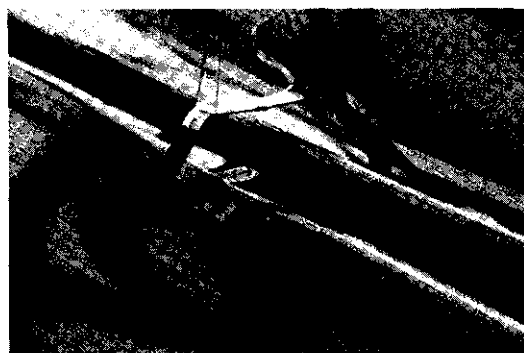


Photo. 5 Buckling of the upper flange at the mid-support

Table 4 Peeling test results of small size specimens

(Average of three specimens)

Specimen			Opening deformation (mm)						Ultimate load (kgf/m ²)
			W=300 kgf/m ²		W=600 kgf/m ²		W=900 kgf/m ²		
Thickness <i>t</i> (mm)	Heat insulation	Grade of seaming ※	Supporting point	Middle of span	Supporting point	Middle of span	Supporting point	Middle of span	
0.8	Nothing	A	0.29	1.90	0.84	4.62	2.09	9.41	1 000
		B	0.23	1.80	0.56	4.11	1.14	7.11	1 010
	Urethane foam 4 mm	A	0.38	2.01	1.01	4.78	2.05	9.21	1 000
		B	0.37	1.92	0.88	4.45	2.00	8.94	990
	Urethane foam 8 mm	A	0.29	1.72	0.67	4.05	1.28	7.48	1 020
		B	0.28	1.67	0.64	3.64	1.22	6.71	1 000
1.0	Nothing	A	0.19	1.05	0.49	2.30	0.76	3.52	over 1 110
		B	0.23	1.13	0.52	2.57	0.84	4.00	over 1 090
	Urethane foam 4 mm	A	0.23	1.03	0.52	2.32	0.78	3.60	over 1 140
		B	0.23	1.14	0.61	2.74	0.96	4.35	over 1 130
	Urethane foam 8 mm	A	0.19	0.99	0.43	2.12	0.64	3.24	over 1 110
		B	0.18	0.96	0.48	2.40	0.74	3.68	over 1 120

※ A : Standard B : Loose

Table 5 Peeling test results of actual size specimens

Specimen			Ultimate load W (kgf/m ²)	Fracture type
Thickness t (mm)	Heat insulation	Grade of seaming*		
0.8	Nothing	A	780	Buckling**
		B	760	Buckling**
	Urethane foam 4 mm	A	760	Buckling**
		B	700	Buckling**
	Urethane foam 8 mm	A	720	Buckling**
		B	650	Buckling**
1.0	Nothing	A	850	Buckling**
		B	1 000	Buckling**
	Urethane foam 8 mm	A	900	Buckling**
		B	850	Buckling**

* A : Standard B : Loose

** Upper flange at the mid-support

どを変化させたものである。また馳は外れ試験の場合と同様、電動シーマーの左右ロール間隙を 0 mm とする標準の締付けと、間隙を 1.5 mm とした緩い締付けの 2 種類とした。

試験は大型圧力箱(2.0m×6.0m)の上面に 3/100 の勾配で葺いた屋根試験体に対して、まず正負の

期待最大風圧83kgf/m²を加えた後、屋根表面一様に 4 l/m²・min の水量を噴霧しながら 2 秒周期の近以正弦波脈動負圧で順次増圧载荷し(Fig. 9参照)、屋根の漏水状況を圧力箱底面に設けた観測窓から目視観察した。試験状況と代表的な漏水例を Photo.6 と Photo. 7 に、また試験結果を Table 6 に示す。

試験結果が示すように、板厚が薄く、あるいはスパンが大きくなると防水性能はやや低下している。これは载荷による折板のたわみが大きくなり、馳部の気密性を阻害するためと思われる。また裏貼り材を使用した場合も馳の締付け力が低減されるため、若干防水性能の低下が認められた。しか

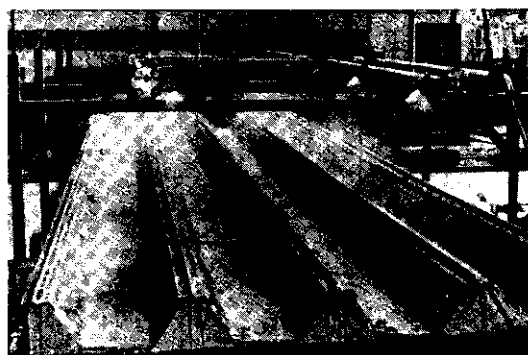


Photo. 6 Rainproof test by using actual size model

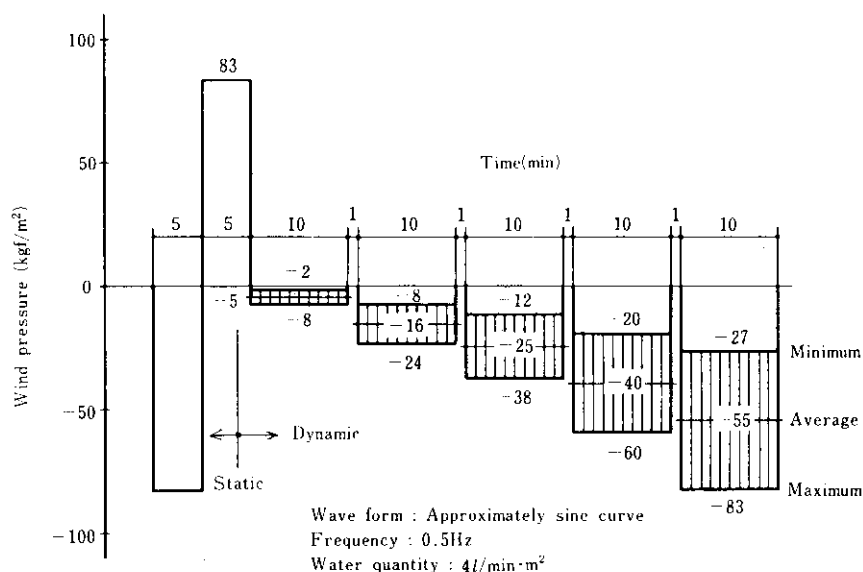


Fig. 9 Loading diagram of wind pressure for rainproof test

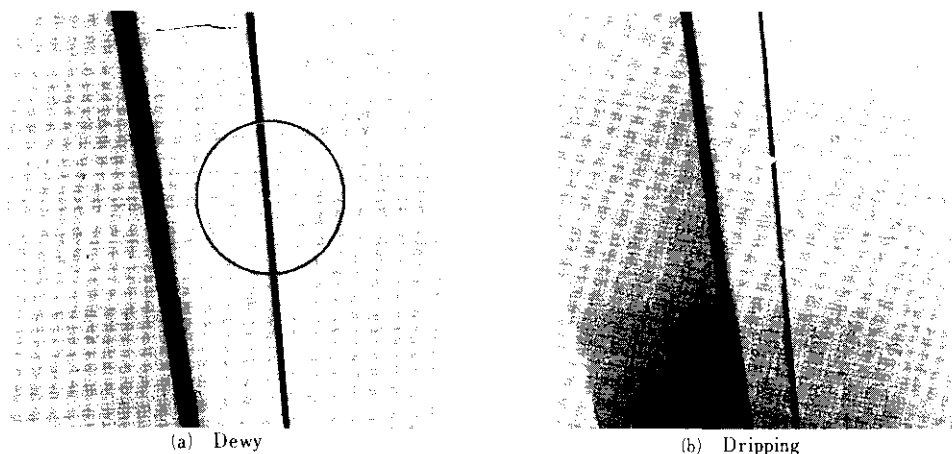


Photo. 7 Examples of rain water leakage

Table 6 Rainproof test results

Thickness (mm)	Specimen			Average wind pressure (kgf/m ²)				
	Span (m)	Heat insulation	Grade of soaming ※	- 5	- 16	- 25	- 40	- 55
0.8		Nothing	A	○	○	○	○	○
			B	○	○	○	▲→■	■
		Urethane foam 4 mm	A	○	○	○	▲→■	■
			B	○	▲	■	■	■
		Urethane foam 8 mm	A	○	○	○	○	▲→■
			B	○	○	▲	■	■
		Nothing	A	○	○	▲	■	■
			B	○	▲	■	■	■
1.0		Nothing	A	○	○	○	○	○
			B	○	▲	■	■	■
		Urethane foam 8 mm	A	○	○	○	○	▲
			B	○	▲	■	■	■
		Nothing	A	○	○	○	○	▲
			B	○	▲	■	■	■

※ A : Standard B : Loose ○ : Normal ▲ : Dewy ■ : Dripping

し、馳が標準の締付けで施工された板厚1.0mmでは、平均圧力40kgf/m²においていずれの試験体も漏水が認められず、多雪地域のように融雪によりある高さの水頭を考慮しなければならない場所にある使用できる「水密形」(JIS³⁾による防水性能区分)の性能を保証しているといえる。また0.8mmの場合も、標準の馳締めが行われていれば、JIS 区分

の「一般形」(平均圧力16kgf/m²以上)の防水性能を十分満足し、むしろ「水密形」に近い高い性能であると認められる。馳が緩く締付けられた試験体では防水性能が低下しているとはいえ、平均圧力16kgf/m²において“にじみ”あるいは“水滴付着”程度の漏水であり、重ね方式など他の慣用屋根材と同等以上の性能を有しているといえる。

3・4 タイトフレームの強度試験

当該屋根本体がいかに安全に設計されていても、それを直接支えるタイトフレームや、その受け梁への取付け方法に強度上問題があれば、屋根材としての機能を満足しないことになる。

このため、溶接による脚部の接合方法を5種類変化させて受け梁に取付けたタイトフレームを試験体として、暴風時の吹上げ荷重を想定した引張

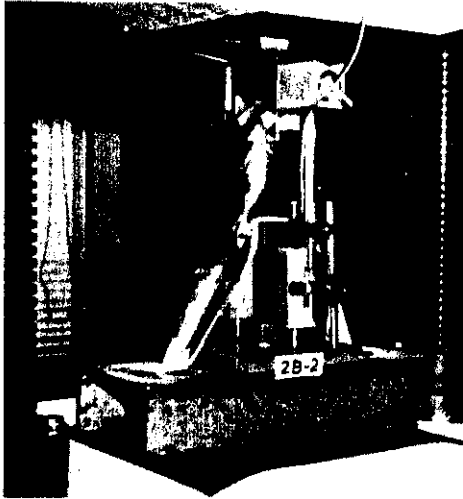


Photo. 8 Tension test of tight frame

りと、積雪荷重を想定した圧縮試験を行った。試験状況を **Photo. 8** に示すが、引張試験では荷重がタイトフレーム爪部に集中し、かつ爪の開き変形を拘束しないよう工夫した治具を用い、圧縮試験ではタイトフレームの頭部をそのまま押した。

荷重と全体変形との関係を **Fig. 10** に、また試験結果を **Table 7** に示す。

引張試験結果から、脚部の溶接が安易な取付け法〔5〕では、他のものに比べ初期の荷重段階から大きな変形を示すとともに、**Photo. 9 (a)**のごとく脚の溶接部が低荷重で破断し、実用に供し難いことが判った。これに対し、取付け法〔1〕～〔4〕では変形、耐力とも略一致した良好な値を示すとともに、最大荷重に至るまで溶接部に異常は認められず、すべてタイトフレームの爪部で**Photo. 9 (b)**のごとく破壊した。

ここで、板厚1.0mmのリバーロック 160ハゼを高さ $h=16\text{m}$ で設計する場合のタイトフレームの必要耐力を求めてみる。けらば部などの風力係数 $C=1.5$ を用いると最大吹上げ風荷重 W_0 は、

$$W_0 = C \times 60 / \sqrt{h} = 360 \text{ kgf/m}^2$$

となり、折板の許容最大スパン $\ell_{\max}$ は 3.975m と計算される (**Fig. 7** 参照)。支点反力が最も大きい2連続梁の場合、負担幅が 0.5m であるから、タイ

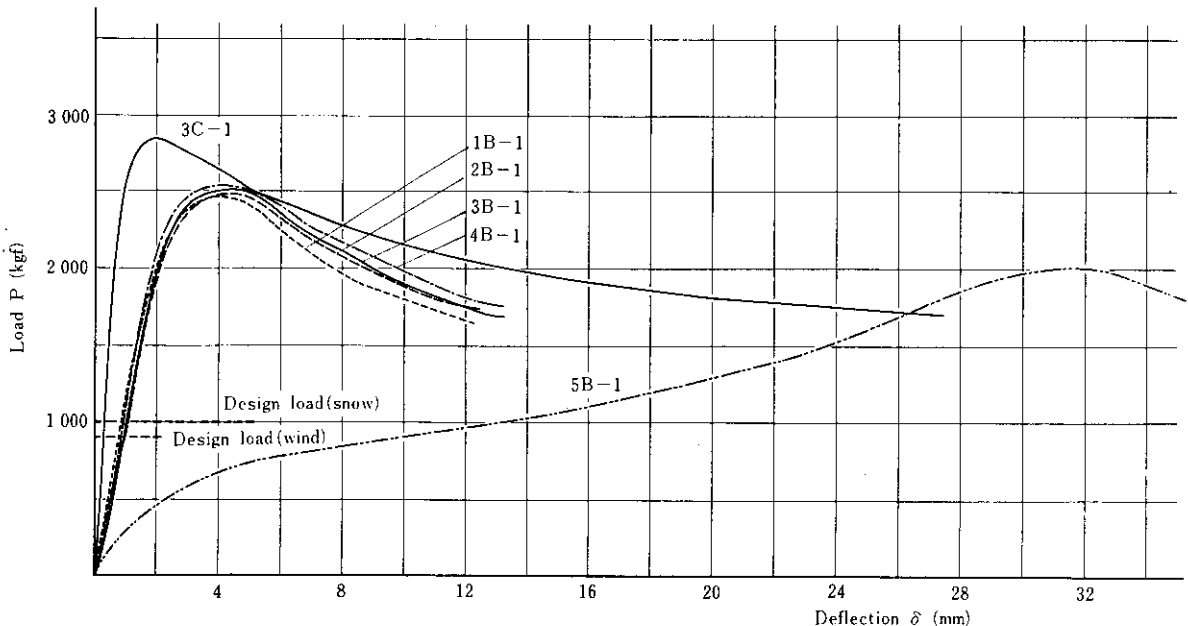
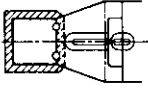
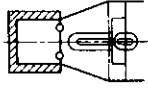
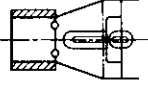
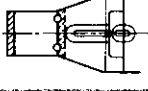
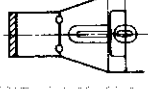
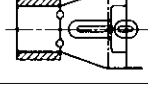


Fig. 10 Load-deflection diagrams obtained from tension and compression tests of tight frame

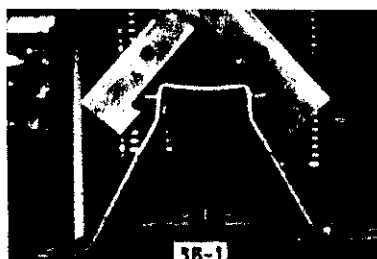
Table 7 Test results of tight frame

Load	Specimen		Ultimate load $P_{max}(kgf)$	Design load $P_0(kgf)$	Deflection at design load $\delta_0(mm)$	Safety factor P_{max}/P_0	Fractured type*
	Connection by welding	No.					
Tension		1	2 450	894	0.79	2.74	(b)
		2	2 370		0.87	2.65	(b)
		3	2 455		0.86	2.75	(b)
		1	2 455		0.93	2.75	(b)
		2	2 480		0.96	2.77	(b)
		3	2 325		1.00	2.60	(b)
		1	2 510		0.97	2.81	(b)
		2	2 400		0.95	2.68	(b)
		3	2 505		1.04	2.80	(b)
		1	2 470		1.01	2.76	(b)
		2	2 525		0.96	2.82	(b)
		3	2 540		0.89	2.84	(b)
		1	1 995		8.05	2.23	(a)
		2	1 990		8.30	2.23	(a)
		3	2 010		9.70	2.25	(a)
Compression		1	2 840	1 000	0.30	2.84	(c)
		2	2 755		0.52	2.76	(c)
		3	2 780		0.33	2.78	(c)

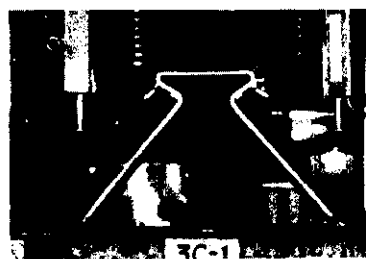
* Referring to Photo. 9



(a) Leg connection break



(b) Wing open



(c) Shoulder collapse

Photo. 9 Some examples of fractured tight frame

トフレームの設計引張荷重 P_0 は、

$$P_0 = 10/8 \times W_0 \times \ell_{max} \times 0.5 = 894 \text{ kgf}$$

と算定される。Fig. 10, Table 7 に示すように脚部を〔1〕～〔4〕の方法で取付けたタイトフレームは暴風時の引張荷重に対して、十分な剛性と耐力を有している。

取付け法〔1〕～〔4〕の中で、溶接が容易で、かつ確実に行いうるのは〔3〕である。この方法で取付けたタイトフレームの圧縮試験では、引張りの場合に比べ変形、最大荷重とも優れた値を示した

(Fig. 10, Table 7 参照)。また積雪量を 1.5m としたタイトフレームの設計圧縮荷重 P_0 は、前述と同様に算定すると 1 000kgf ($W_0 = 450 \text{ kgf/m}^2$, $\ell_{max} = 3.556 \text{ m}$) となり、取付け法〔3〕のタイトフレームの圧縮耐力は十分である。Photo. 9 (c) は圧縮荷重による破壊性状を示したものである。

以上の検討より、リバーロック160ハゼに用いるタイトフレームは溶接施工性に優れた〔3〕の方法で取り付ければよく、暴風時の引張りおよび積雪時の圧縮荷重に対し、十分な剛性と耐力を有し

ていることが判明した。

4. あとがき

本報では、ボルトレス屋根用大型折板リバーロック 160 ハゼの概要と、その各種性能試験結果を報告するに止めたが、この開発に際し最も苦心したのは折板の断面形状の決定である。とくに折板ウェブに設けた掛止用突起部や、折板緊結用オス馳およびメス馳部の形状は、防水性能や外れ耐力、さらに冷間成形性能などを全て満足させるよう、各部の長さ、角度、曲げ半径などパラメータとした多岐にわたる基礎実験を繰返し行っただけで決定した。

このようにして開発したリバーロック 160 ハゼは高い寸法精度で成形され、また十分管理された製品であることはいうまでもなく、屋根材として優れた諸性能を具備していることは本文で述べた通りである。

リバーロック 160 ハゼは施工の省力化、短縮化さらに防水、耐久性等の高品質化など、屋根材に対する今日のニーズを十分満足しうる新しいボルトレス大型折板であると確信している。

最後に、曲げ耐力試験の結果検討に際して、種々有益な助言を賜った東京理科大学平野道勝教授に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 荻野他：ボルトレス工法屋根 RIVER LOCK 50 について 川崎製鉄技報, 8 (1976) 4, 478~491
- 2) 建築学会：軽量形鋼構造設計施工指針・同解説 (1974) 5~6
- 3) 銅板製屋根用折板 JIS A 6514—1977
- 4) 日本建築学会八丈島調査団：八丈島災害調査報告, 建築雑誌 91 (1976) 1103, 139~154