

アーチ屋根用折板の成形技術の開発

仲子 武文・中原 敬之・吉田 剛之

日新製鋼株式会社
日新製鋼技報 No.84 別冊
平成15年12月

技術資料

アーチ屋根用折板の成形技術の開発

仲子 武文* 中原 敬之** 吉田 剛之***

Development of Folded Plate for Arched Roof

Takefumi Nakako, Takayuki Nakahara, Takeyuki Yoshida

Synopsis:

A technology to construct folded plate arched roof of the minimum curvature of 150 meters has been developed, in collaboration with Nihon Teppan Co., Ltd., by using Nihon Teppan's HK500 folded plate with large cross sectional height of 145 millimeters.

This new technology distributes the strain along the width of the strip to match the curvature of the arched roof with steel plate. The bottom of the folded plate however was corrugated by a conventional curving process method.

To use this technology, a preforming machine based on the principle of the roller leveler was designed and developed. And the conditions to obtain an arched roof with a good external appearance were examined. This examination yielded the following conclusions.

- 1) Developed preforming machine gives a sufficient prestrain (plastic elongation from 0.15 to 0.25%) to both edges of the strip.
- 2) The optimum prestrain at both edges of the strip is 0.18%. This is easily obtained by an intermeshing the rolls and adding strip tension.
- 3) An arched roof with a 150 meter curvature can be successfully fabricated using these prestrain strips manufactured on a conventional roll forming machine used for HK500 folded plate.
- 4) This technology is widely applicable to roof curvatures from 150 to 224 meters and has been widely acclaimed by many clients and contractors.

1. 緒言

鋼板製屋根は軽量で施工性及び経済性に優れることから、工場屋根などの非住宅屋根に多く用いられている。鋼板製屋根には波板あるいは瓦棒などの断面高さの低いものから、折板のような断面高さの大きいものまで多くの種類がある。折板は図1に示すように鋼板を高さ100mm～200mm程度のUあるいはV字状断面に折り曲げた屋根材である。折板屋根は同図に示した断面高さの低い瓦棒屋根などに比べて曲げ剛性が高く、野地板などの下地材が不要なため施工性に優れており、

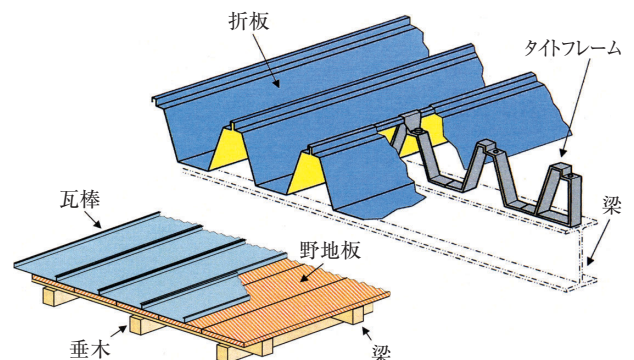


図1 折板屋根と瓦棒屋根
Fig. 1 Folded-plate and batten seam roofing.

*技術研究所 加工技術研究部 加工第一研究チーム 主任研究員

**技術研究所 鋼材研究部 鋼材第二研究チーム 主任研究員

***技術研究所 加工技術研究部 加工第一研究チーム

大型物件の鋼板製屋根の中では最も使用量が多い。次に、屋根の形状の例を図2に示す。アーチ屋根はカマボコ状の屋根であり、一般的な切妻屋根あるいは片流れ屋根などの直線勾配屋根に比べると意匠性に優れ、棟を省略できるなどのメリットがある。しかしながら、施工性の面より適用可能な屋根材としては瓦棒などの断面高さの低いものに限定される。アーチ屋根に折板を適用した場合、図3(1)式および表1に示すように、折板の断面高さHおよびアーチ屋根の施工半径Rに応じて折板肩部の長さL₂よりも底面の長さL₁が短くなるが、

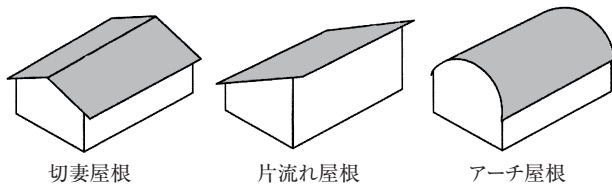


図2 屋根の形状
Fig. 2 Type of roof

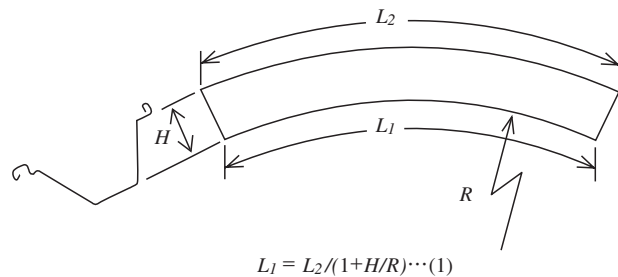


図3 折板をアーチ屋根に適用する場合の幾何学的条件
Fig. 3 Geometric conditions in the case of applying folded-plate to arched roof.

表1 アーチ施工半径と線長差率
Table 1 Relation between arch radius and the maximum longitudinal membrane strain.

H (mm)	R (m)	(L ₂ -L ₁)/L ₁ (%)
145	250	0.058
145	200	0.072
145	150	0.097
145	100	0.145

底面に長手方向の圧縮力が作用すると図4に示すような座屈を生じる。そのため従来は折板の幅方向に平行なさざ波状の細かい凹凸を施すなどの特殊な方法が採られていた。このような方法では加工した凹凸部に水

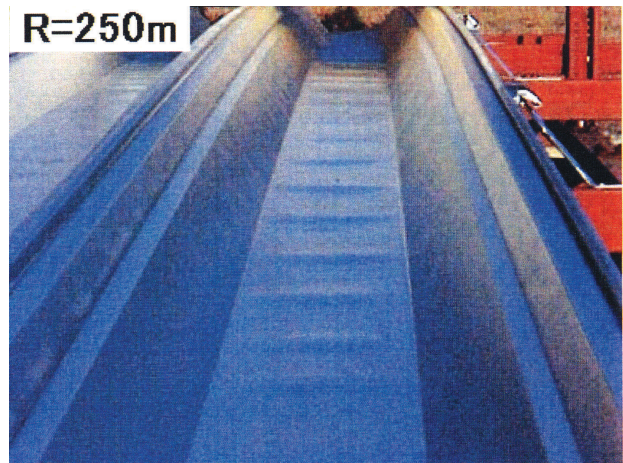


図4 高さ145mmの折板を250mR（カタログに表記された施工限界）の半径で施工した場合の外観
Fig. 4 Appearance of the folded-plate with 145mm height which is attached to the arched roof with curvature of 250m.

や汚れが溜まるため、外観あるいは加工部の耐食性が懸念されるなどの問題点があることから、このような欠点を解消することができる新しい成形技術の開発に着手した。

表2に示すように、施工性、性能の面で優れた大型折板を、施工コスト、意匠性に優れたアーチ屋根に適用することを目的に、曲面屋根にも対応可能な折板の成形技術の開発を行った¹⁾ので、その結果について報告する。

表2 折板アーチ屋根のコストイメージ
Table 2 Cost of roofing

		屋根状	
		両流れ	アーチ
屋根材	瓦棒	△	○ 棟不要
	折板	○ 下地不要	◎ 棟・下地不要

コスト；△>○>◎

2. 新しいアーチ屋根用折板の成形方法の考え方

折板をアーチ屋根の曲率に沿わせて葺いた場合を仮定すると、前述したようにアーチ屋根と折板形状との間の幾何学的関係により、折板の断面高さ施工半径に応じて折板の肩よりも底の方が短くなる（以降、この長さの

差を線長差と呼び、比 $(L_2 - L_1) / L_1$ を線長差率と定義する)。前述の凹凸を付与する方法ではこの線長差をリブによって吸収しているものと考えられる。これに対して本研究では外観を損なうリブなどによる長さ調整方法に代って、折板に直接線長差を与える方法を採用することとした。ただし、成形後の折板に線長差を与えることは、成形後の折板を曲げ加工することと同意であり極めて実現困難であると考えられる。そこで折板にロール成形する前の素材に対して幅方向に分布した伸びひずみを付与する方法について検討することとした。このような方法ではロール成形工程での困難が予想されるが、コスト抑制の観点から基本的に従来のロール成形設備をそのまま使用することを前提とした。

3. アーチ屋根用折板の成形工程の検討

3.1 予ひずみ付与方法および装置

曲率を持った折板を得るために必要な線長差の幅方向分布を幾何学的に求めた。検討の対象とした折板は図5に示す断面形状のもので、働き幅500mm、断面高さ145mm、素材幅762mmである。この折板について、施工半径を50m~250mまで変化させた時の素材幅方向各位置での線長差率を(1)式により求めた。結果を図6に示す。このような線長差率を付与するため、図7に示す板中央よりも両エッジのインターメッシュが大きくなるようなプロフィールのコンケーブロールを組込んだローラーレベラーに張力付与のためのピンチロールスタンドを配した予ひずみ付与装置を試作した。ロール形状は目的とする線長差率の幅方向分布形態に類似した形状としたが、図7に示すように入側3本と出側4本の形状を変える事で目標に近い伸び率分布が得られるようにした。

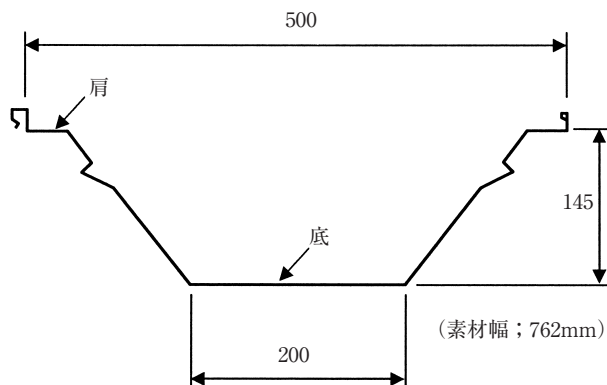


図5 検討の対象とした折板の断面形状 (日本鐵板株式会社HK500折板)
Fig. 5 Cross-sectional shape of the folded-plate examined.

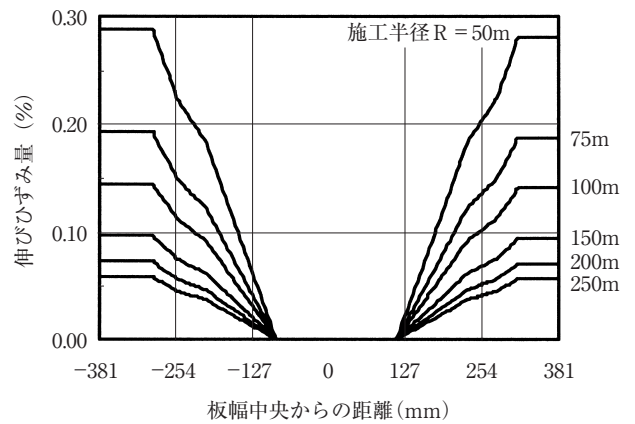


図6 曲げ半径から計算した伸びひずみ分布
Fig. 6 Calculated cross directional distribution of the longitudinal membrane strain caused by attaching the folded-plate to arched roof.

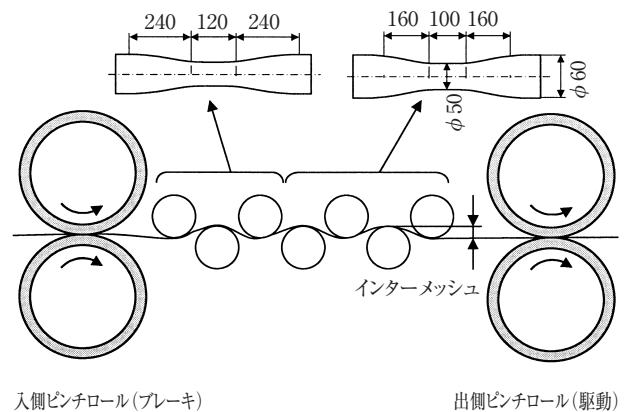


図7 予ひずみ付与装置
Fig. 7 Equipment used in the pre-forming process.

3.2 予ひずみ付与実験結果

折板用材料として一般的な厚み0.8mmのガルバスター鋼板(55%Al-Zn合金めっき鋼板)、月星GTカラー(塗装鋼板)および耐候用アルスター鋼板(アルミめっき鋼板)を用いて予ひずみ付与実験を行った。材料特性は表3に

表3 供試材の機械的性質
Table 3 Mechanical properties of material used.

材料	材料板厚(mm)	YP (MPa)	TS (MPa)	降伏伸び(%)	伸び(%)
ガルバスター	0.8	316	398	2.5	33
月星GTカラー	0.8	353	397	4.9	35
耐候用アルスター鋼板	0.8	272	359	1.2	35
耐候用アルスター鋼板	1.0	295	368	2.2	31

示す通りである。成形条件としては、インターメッシュは板の中央部でほぼ0 mm，ロール径の最も太い端部で9 mmとし，駆動側と操作側のひずみ量のアンバランス解消のため，必要に応じて圧下量を微調整した。また，**図8**に示すようにひずみ量の大きさは付与する張力の大きさによって調整した。

図9に得られた予ひずみ鋼板の幅方向予ひずみ分布を示す。供試材 **f** (表4) で示す最大約0.25% (両エッジ部における値) のひずみ量まで，**図6**に示した理想に近い

い分布を持つ予ひずみを与えることができた。

3.3 予ひずみ材のロール成形の検討

以上のような方法でエッジウェーブ状の予ひずみを付与した材料のロール成形性について検討した。供試材は前節にて試作した予ひずみ材を使用した。折板は**図5**に示す断面高さ145mm，働き幅500mm，板厚0.8mmのものを，また成形機は**図10**に示す既設のロール成形機(成形段数21段)を使用した。表4に結果を示すが，両

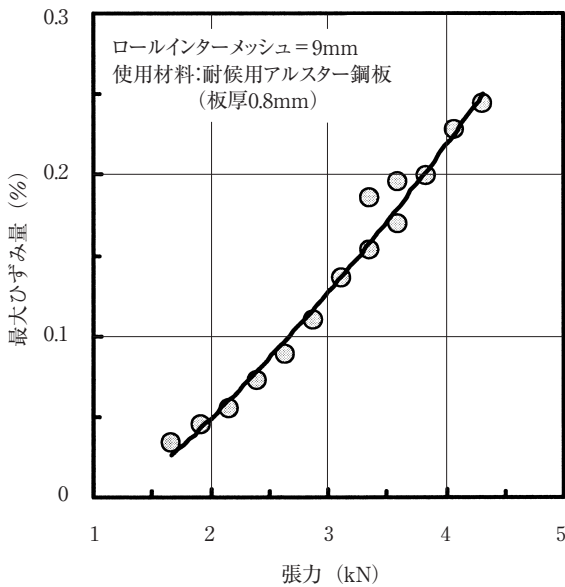


図8 張力と予ひずみ量の関係
Fig. 8 Relationship between the tension and the maximum longitudinal membrane strain.

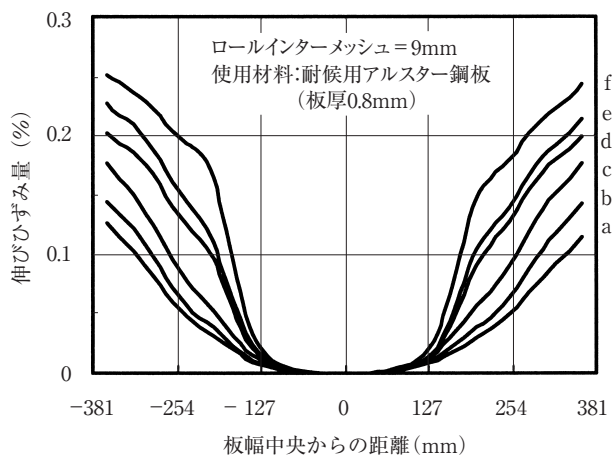


図9 成形テストに用いた材料の予ひずみ分布
Fig. 9 Cross directional distribution of longitudinal membrane strain of materials used in the roll forming test.



図10 折板ロール成形機
Fig.10 The conventional folded-plate forming machine used.

表4 既設の折板ロール成形機による成形性評価結果

Table 4 Result of roll forming test by using conventional machine.

供試材	a	b	c	d	e	f
伸び率差 (%)	0.119	0.143	0.176	0.200	0.221	0.247
成形後 外観	◎	◎	◎	上馳側○ 下馳側◎	両側△	両側 △~×
評価	成形可能			外観に問題あり		

伸び率差の値は両エッジの平均値で示す。
成形後の外観評価；◎座屈なし，○極微，△中，×大

エッジでのひずみ量が0.20%程度以下であればほぼ問題無く成形することが可能である。ひずみ量が0.2%を超えると，折れ，座屈波などの形状不良を生じた。

4. 施工テスト

4.1 実験方法

ロール成形限界付近である0.18%程度および0.06%の2水準の予ひずみを付与した鋼板を折板にロール成形し，アーチ屋根の施工テストを行なった。材料は表3に示した板厚0.8mmの耐候用アルスター鋼板を使用し

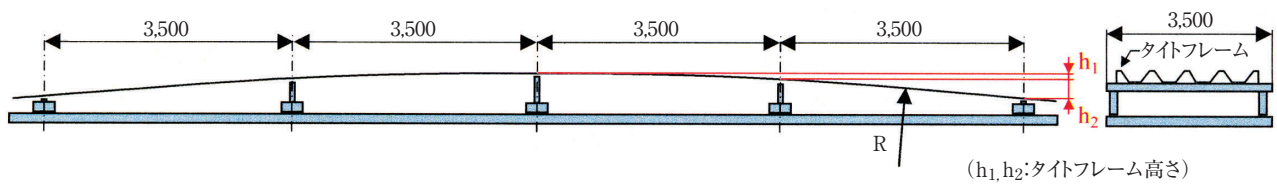


図11 模擬施工架台
Fig.11 The testing mount for arched roof using foldet-plate.

た。アーチ屋根の施工半径R = 250m ~ 60mの範囲で実験を行った。実験に使用した模擬施工架台を図11に示す。模擬施工架台は3,500mm間隔で5つのタイトフレームが配置されており、長さ15mの折板を4本施工することができる。各タイトフレームの高さh₁, h₂を表5に示すように調整することで施工半径を調整することが可能である。

表5 アーチ半径とタイトフレーム高さ
Table 5 Relation between arch radius and frame height.

アーチ半径R (m)	タイトフレーム高さ (mm)	
	h ₁	h ₂
250	25	74
200	31	92
150	41	123
100	61	284
80	77	230
60	102	308

4.2 実験結果

図12に施工半径R = 250mで施工したときの各折板の外観を示す。施工半径R = 250mは予ひずみの無い通常の折板の施工限界とされているが、図12右側に示すよ

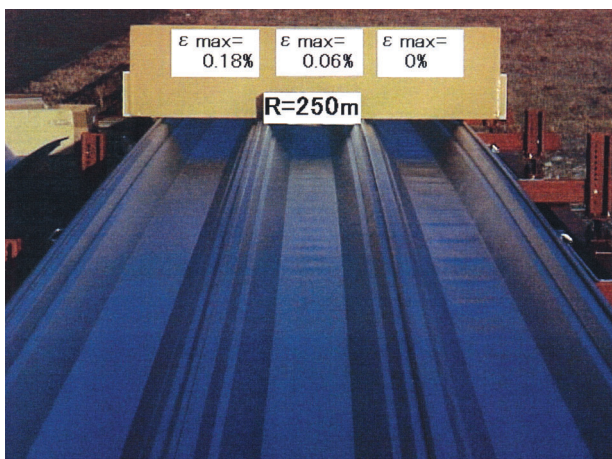


図12 模擬施工後の折板の外観
Fig.12 Appearance of the folded-plates on the test arched roof

うに顕著な座屈波を生じている。これに対して予ひずみを付与した折板では、予ひずみの大きさに応じて従来の折板で発生する底面の座屈波が減少あるいは完全に消失しているのがわかる。

次に、座屈波の大きさについて図13に示すように座屈波の曲線を正弦波と仮定して、座屈波の急峻度から線長差率を求めることによって定量化した²⁾。施工実験から求められた予ひずみ量、施工半径と座屈波の関

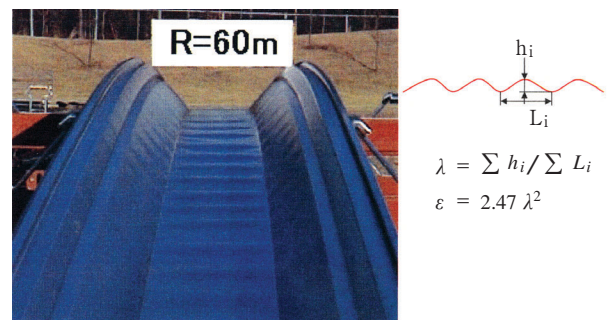


図13 折板に発生した座屈波とその定量化
Fig.13 Wave generated in the folded-plate and its quantification.

係を図14(次ページ)に示す。図の縦軸の線長差率が0%で座屈波の無い平坦な外観が得られることを示しており、予ひずみ量0.18%では施工半径R = 160m以上でほとんど底面に座屈波を生じないで施工可能であることがわかる。このように予ひずみ量0.18%材は施工半径R = 160mから少なくともR = 250mまでは対応可能であり、一種類の予ひずみ条件で広範囲の施工半径の屋根に適用することができる。ところで、ε max = 0.18%の予ひずみは幾何学的には約80mの施工半径に対応するが、実際に折板底面に座屈波を生じないで施工できた施工半径は約160mであることから、素板に付与された予ひずみの一部は、ロール成形工程で消失したものと考えられる。一方、付与した予ひずみがε max = 0.06%と小さい場合はロール成形工程において予ひずみはほとんど消失しなかったが、座屈波を生じることなく施工可能な最小半径はR = 250mと比較的大きかった。

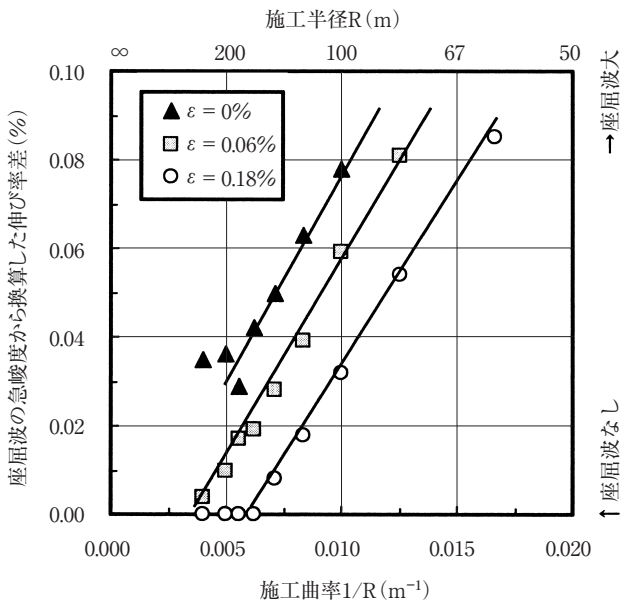


図14 施工半径Rと座屈波（伸び率差で表示）の関係
 Fig.14 Relation between arched roof radius R and magnitude of the wave.

以上の結果より、従来法ではアーチ屋根の施工半径にかかわらず大きな座屈波を発生するのに対して、ロール成形前の素材に両エッジ部において0.18%程度の伸び率の予ひずみを付与することにより、おおよそ施工半径R = 160mまで座屈波を生じないで施工可能であることが明らかとなった。

5. 実物件への適用

新たに開発した折板を実物件に適用し、施工性などの調査を実施した。材料としては表3に例示したような表面処理鋼板あるいはその塗装製品に、施工テストの結果最適と考えられた約0.18%の予ひずみを与えた材料を使用することとした。表6にそれぞれの材料につ

表6 予ひずみ付与条件
 Table 6 Conditions of pre-forming process.

材料	予ひずみロール インターメッシュ (mm)		張力 (kN)
	駆動側	操作側	
ガルバスター(0.8mm)	8.9	9.0	3.96
月星GTカラー(0.8mm)	9.0	8.4	4.39
耐候用アルスター鋼板(0.8mm)	9.0	9.0	4.33
耐候用アルスター鋼板(1.0mm)	9.0	9.0	3.90

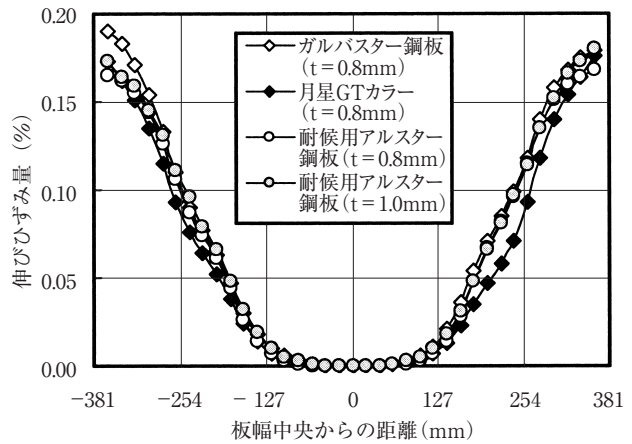


図15 各種折板用鋼板への予ひずみ付与結果
 Fig.15 Cross directional distribution of longitudinal membrane strain of several types of steel sheet.

いて設定した予ひずみを付与するための成形条件の一例を、また図15に得られた予ひずみ材の例を示す。この結果からも明らかのように、鋼板の種類、板厚に依らず、ほぼ同様のひずみを付与することが可能である。板厚1.0mmの耐候用アルスター鋼板については、板厚0.8mmの耐候用アルスター鋼板およびその他の材料と比べて板厚が厚いにもかかわらず、板端に約0.18%の伸びひずみを生じさせるのに必要な張力は0.8mm材よりも低めである。これは本予ひずみ装置ではロールによる繰返し曲げと張力により伸びひずみを生じさせており、板厚1.0mm材は同0.8mm材に比べて曲げひずみが大きくなったことが原因と考えられる。なお、実際の施工では表3に示した材料とはロットの異なったものを使用している。

施工した物件は表7に示す3物件で、すべて板厚0.8mmの図5に示した断面高さ145mm働き幅500mm

表7 開発したアーチ屋根を適用した物件の明細
 Table 7 Details of the buildings in which the newly developed arched roof were applied.

物件名	施工年月	屋根面積 (㎡)	曲率半径 (m)	流れ長さ (m)	材 料
永谷園 岡山工場 新築工事	H13年5月	1,638	150	40.95	月星 GLカラー、 0.8mm
慶応義塾 大学新研究 棟新築工事 (日吉)	H13年7月 ~9月	1,500 (一部硝子)	224	34.23	ガルバスター 鋼板、 0.8mm
富山県 福岡町 多目的広場 新築工事	H13年11月	882	185	49	ガルバスター 鋼板、 0.8mm

の折板（日本鐵板株式会社HK500折板）を使用した。アーチ屋根の施工半径は150m～224mの範囲である。

図16～18に工事中の各物件を示す。いずれも当初の狙いどおり折板底部の座屈波は認められず、折板屋根の強さに意匠性と施工性を加味した新しい屋根を実現することができた。日本鐵板株式会社では同社八千

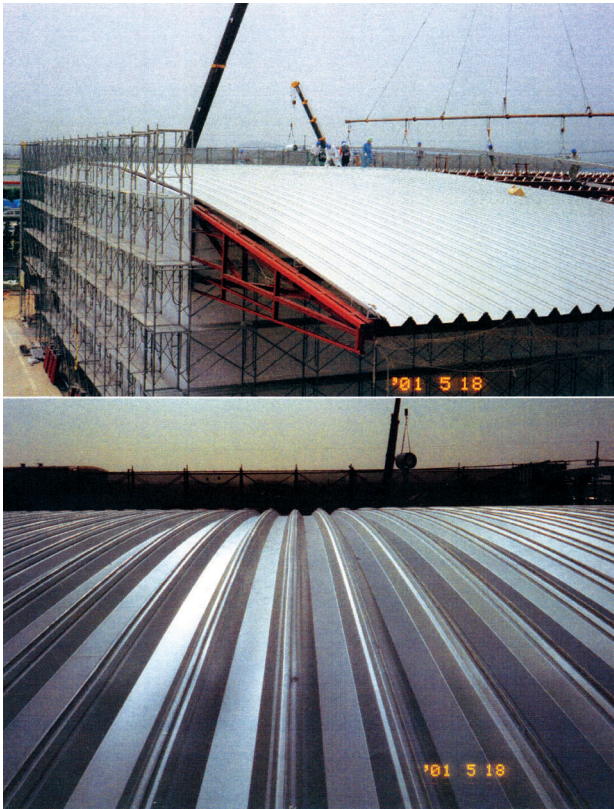


図16 永谷園岡山工場
Fig.16 Nagatanien Okayama factory.

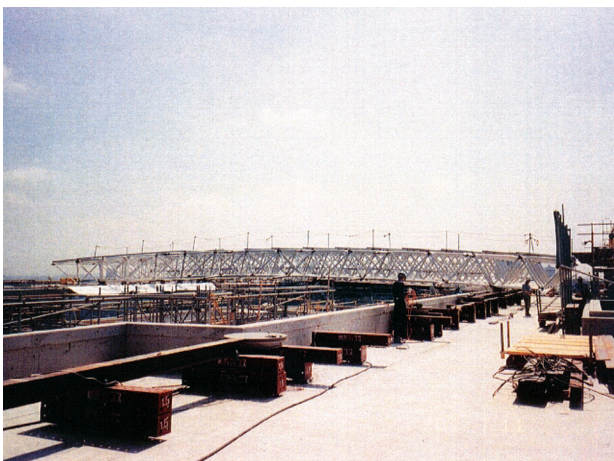


図17 慶応義塾大学新研究棟工事
Fig.17 Keio University new research building construction.



図18 富山県福岡町多目的広場新築工事
Fig.18 The multi-purpose open space building construction in Fukuoka-cho Toyama.

代加工センターに生産設備を設置済みであり、今後このような特徴を活かして広く普及していくことを期待する。

6. 結 言

施工性の面で優れた大型折板を、施工コスト、機能性、意匠性に優れたアーチ屋根に適用することを目的に、曲面屋根にも対応可能な折板の成形技術の開発を行った。結果は以下のとおりである。

- 1) ロール成形前の素材にエッジウェーブ状の予ひずみを与えることにより、アーチ状に曲がった折板を得ることが可能である。
- 2) 予ひずみを付与する装置としては、ロールをコンケーブ形状としたマルチローラーレベラーが適用でき、ロールプロフィール、インターメッシュあるいは張力により予ひずみを調整可能である。
- 3) 予ひずみを付与された板は、従来のロール成形機でアーチ状の折板に成形することが出来る。
- 4) 開発したアーチ屋根用折板を施工半径 $R = 150\text{m} \sim 225\text{m}$ の数物件に適用し、施工性、仕上がり共に特に問題のないことを確認した。

参考文献

- 1) 仲子武文, 中原敬之, 吉田剛之, 須田桂子: 第53回塑性加工連合講演会, (2002), 35.
- 2) 塑性加工技術シリーズ15矯正加工, 日本塑性加工学会編, (1992), 9, コロナ社