技術資料

レーザ溶接Ｈ形鋼の開発

家成　徹*　桜田康弘**　仲子武文***　温品誠二****　川口洋充*****　朝田　博******

Development of Laser Welded H Steel

Toru Ienari, Yasuhiro Sakurada, Takefumi Nakako, Seiji Nukushina, Hiromitsu Kawaguchi, Hiroshi Asada

Synopsis:

Welded light gauge H steel is widely used in the architectural field because it has a good cross-sectional performance. However, small size welded light gauge H steel cannot be manufactured with the conventional production facility.

For such reason, we developed small size welded light gauge H steel using laser welding as a new production method.

In this report, performance of laser welded H steel was investigated.

The results are as follows:

1) Full penetration welding can be obtained by one-side, one-pass laser welding in the production of welded light gauge H steel, which has T-shape weld joint. The tensile strength of laser welded H steel satisfies JIS, in the proper welding conditions range.

2) The results of structural test show that laser welded H steel has sufficient performance as an architectural member.

3) Since the weld zone by laser welding has good corrosion resistance, laser welded H steel of ZAM can be expected to omit the repair coating process.

4) Since laser welded H steel has sufficient performance as an architectural member, we obtained a grade of The Building Center of Japan (BCJ).

1．緒　言

近年，建築物に対するニーズとして，耐震のための部材軽量化，設計自由度向上や建築物の長寿命化への対応など要求スペックが高度化している。また，コスト低減に対する要望も大きい。このような中，単位質量当たりの断面性能が優れている溶接軽量Ｈ形鋼は，軽量化に対し理想的な断面形状[1)]を有することから，工業化住宅の柱や梁などの構造部材や屋根材などの二次部材に広く使われている。また，溶接軽量Ｈ形鋼の開口部に断熱材や壁パネルが設置できるため，空間を有効活用したフレーム枠材などにも適用されている。

溶接軽量Ｈ形鋼は一般的に鋼帯から連続的に高周波抵抗溶接を用いて製造されている。しかし，**図１**に示すように，溶接軽量Ｈ形鋼のサイズが小さくなると，鋼帯に給電するための電極を支持する電極ホルダーが鋼帯に干渉することから小型サイズの製造が困難となる。製造が困難なサイズについては，**図２**に示すような２つ

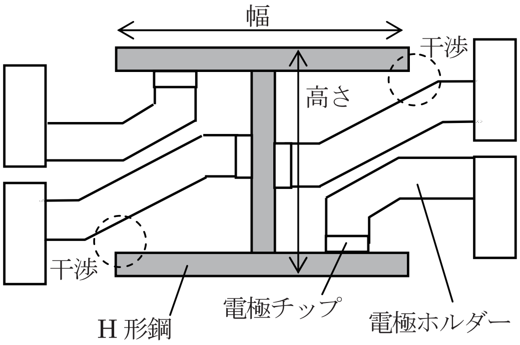


図１　高周波抵抗溶接の問題点

Fig.1　Problem in high frequency resistance welding of small size welded light gauge H steel.

* 加工技術研究部
** 加工技術研究部　加工第一研究チーム　主任研究員
*** 加工技術研究部　加工第一研究チーム　主任研究員
**** 大阪支社商品開発部　住宅・建材開発チーム　サブリーダー
***** 建材総合開発室　住宅鋼材総合開発チーム　主任部員
****** 加工技術研究部　加工第一研究チーム　チームリーダー

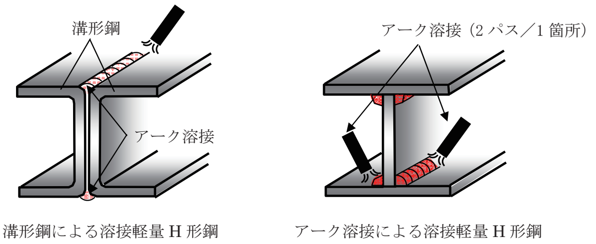


図 2　小型サイズの溶接軽量H形鋼の適用例

Fig.2　Examples of small size welded light gauge H steel.

の溝形鋼のウェブ同士を重ね合わせて H 形状に組み立てて溶接した H 形鋼やアーク溶接を用いて製造された H 形鋼が使用されている。アーク溶接を用いた場合，高周波抵抗溶接に比べて溶接回数が増加することによる生産性の低下や熱変形により生じる歪みの矯正などの問題が生ずる。また，浸漬めっきの代替としてめっき鋼板を使用すると，溶接時の入熱により溶接部周辺のめっきが損傷して補修塗装作業が必要となるため手間がかかると同時にコストアップに繋がる。これらの問題点を改善する溶接方法としてレーザ溶接が挙げられる。

レーザ溶接は一般的な溶接方法であるアーク溶接に比べて高速溶接でも深い溶け込み形状が得られ，鋼板の熱変形が小さく薄板への適用が可能である。また，溶接ビード幅が狭いため，めっき鋼板に適用した場合でもめっき損傷を最小限に抑えることができる。

そこで，筆者らは溶接軽量 H 形鋼の新たな溶接方法としてレーザ溶接を適用し，小型サイズも作製することが可能なレーザ溶接 H 形鋼の製造技術を開発した。これにより，従来使用できなかった部材に対しても，優れた断面性能をもつ H 形鋼が適用できる可能性があり，H 形鋼の適用範囲が拡大するものと期待される。

また，開発したレーザ溶接 H 形鋼について構造試験を実施し，得られた結果をもとに，公的評価機関である一般財団法人日本建築センターの評定申請を行い，部材評定を取得した。

本報では，優れた耐食性を有する溶融 Zn-6% Al-3% Mg 合金めっき鋼板[2]（以下，ZAM と記す）を用いて，レーザ溶接 H 形鋼を作製し，H 形鋼としての性能について検討した結果を報告する。

2．レーザ溶接による溶接軽量 H 形鋼の製造方法

溶接軽量 H 形鋼は 2 枚のフランジと 1 枚のウェブの計 3 枚の鋼板から構成される形鋼であり，接合箇所はフランジとウェブから成る T 字隅肉継手である。通常，T 字隅肉継手を溶接する場合，隅肉部の両側から 2 パスにより接合される。これに対して，開発したレーザ溶接 H 形鋼は，**図 3** に示すように T 字隅肉継手部に深い溶け

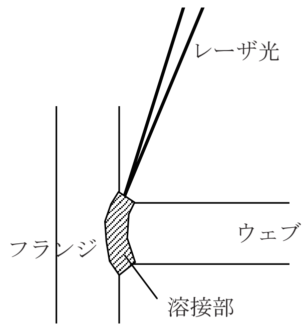


図 3　レーザ溶接 H 形鋼の溶接方法

Fig.3　Welding method of laser welded H steel.

込み溶接が可能なレーザ光を片側から照射して，1 パスによる溶接で製造できることが大きな特徴である。

また，建築用途に適用するためには長尺のレーザ溶接 H 形鋼が必要となる。そこで，レーザ溶接による片側 1 パス溶接を用いて，長尺レーザ溶接 H 形鋼の製造技術を検討した。**図 4** に長尺品を製造する設備の外観を示す。本設備は，長尺の 3 枚の鋼板を H 形状にセットし，駆動装置により溶接位置に連続的に供給する設備である。**図 5** に示すように，溶接位置は駆動側（DS）と操作側（WS）に 2 箇所あり，それぞれフランジとウェブの継手に隙間が生じないよう両フランジの外面からスクイズロールで挟み込み，T 字隅肉継手を形成する。試験体の製造条件は，ウェブの板厚に応じてレーザ光の出力と溶接速度を制御した。試作を行った H 形鋼の素材は，建

図 4　レーザ溶接 H 形鋼の製造設備

Fig.4　Production facility of laser welded H steel.

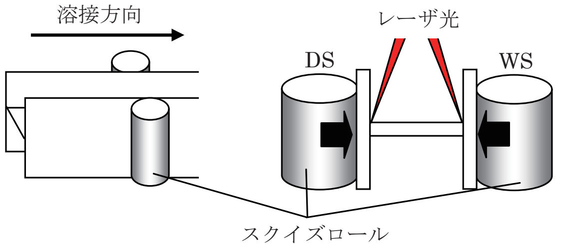


図 5　製造方法の概要

Fig.5　Outline of production method.

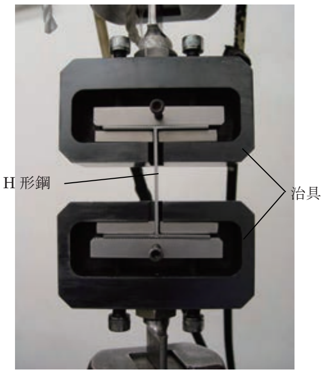


図 6　溶接軽量 H 形鋼の引張試験

Fig.6　Appearance of tensile test for welded light gauge H steel.

築用途を想定し ZAM の 400N/㎟級鋼材とし，片面のめっき付着量が 90g/㎡のものを用いた。製品寸法は高さ 60mm，幅 80mm，フランジおよびウェブともに板厚 1.6mm と 2.3mm の 2 種類とした。

3．レーザ溶接 H 形鋼の性能評価方法

3.1　引張試験

レーザ溶接H形鋼を用いて引張試験を実施し，レーザ溶接 H 形鋼の引張強度を評価した。試験方法は「一般構造用溶接軽量H形鋼（JIS G 3353)」に準拠し，**図 6** に H 形鋼の引張試験の状況を示す。**図 7** に試験後の溶接軽量 H 形鋼の破断形態の外観を示す。JIS では，溶接軽量 H 形鋼の引張試験時の破断形態について，フランジまたはウェブの母材破断として規定されるため，試験片の破断形態を調査した。

3.2　曲げ耐力試験

長尺のレーザ溶接 H 形鋼を用いて曲げ耐力試験を実施し，弾性域における変形量および最大荷重を計測することにより断面性能を評価した。また，破壊状況を観察することにより溶接部の健全性を評価した。試験体の寸法を**表 1** に示す。試験方法は「金属製折板屋根構成材（JIS A 6514)」の評価方法に準拠し，**図 8** に試験概要を示す。**図 9** に載荷手順および各サイクルの載荷荷重を示す。載荷モデルは**図 10** に示すように 3 等分 2 点集中荷重とし，弾性域内で段階的に載荷，除荷を繰返し，その後，試験体が破壊するまで荷重を載荷した。変形量の計測を 6 箇所で計測し，次式にて算出したたわみ量により試験結果を整理した。

$\delta=\{(\delta_1-(\delta_3+\delta_4)/2)+(\delta_2-(\delta_5+\delta_6)/2)\}/2$

δ_1，δ_2，δ_3，δ_4，δ_5，δ_6：各測定位置における変位量

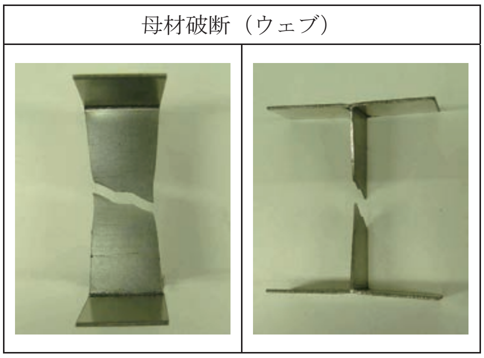


図 7　引張試験サンプルの外観

Fig.7　Appearance of specimen after tensile test.

表 1　曲げ耐力試験体の寸法

Table1　Dimension of specimens for bending test

試験体	寸法（mm） 高さ×幅×ウェブ厚×フランジ厚	長さ（mm）
A	H － 60 × 80 × 1.6 × 1.6	2,900
B	H － 60 × 80 × 2.3 × 2.3	2,900

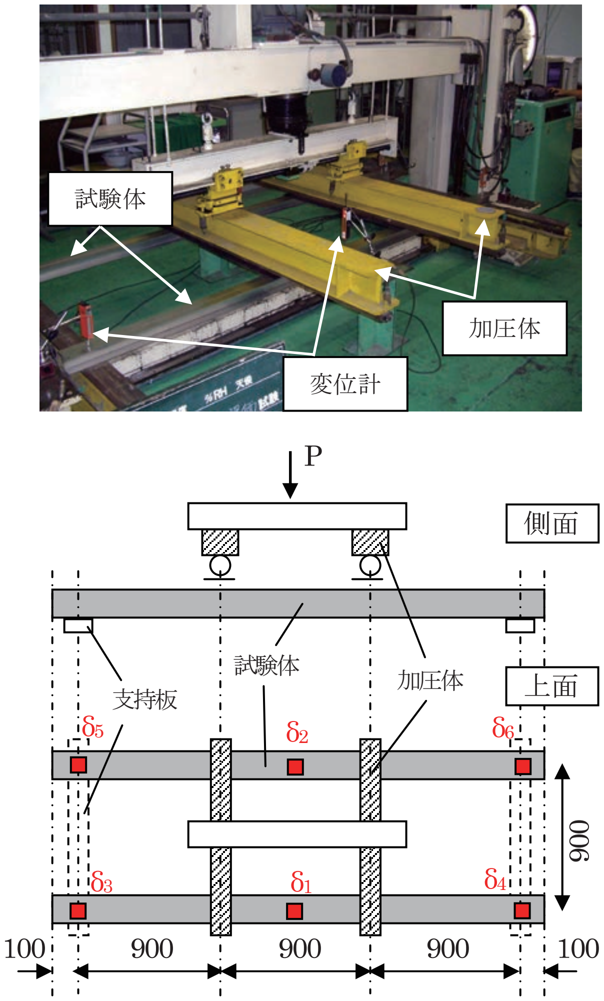
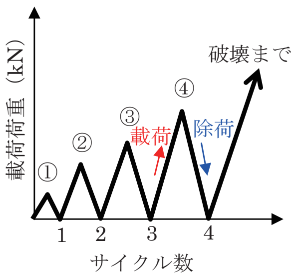


図 8　曲げ耐力試験

Fig.8　Appearance of bending test.



試験体	載荷荷重（kN）			
	①	②	③	④
A	0.6	1.2	1.8	2.4
B	1.4	2.8	4.2	5.7

図 9　載荷手順

Fig.9　Bending test procedure.

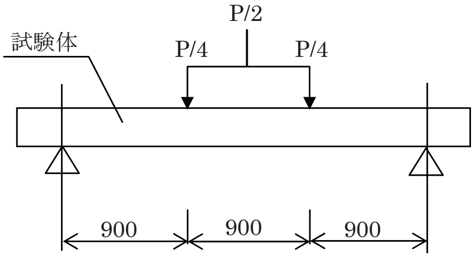


図 10　載荷モデル

Fig.10　Bending test model.

3.3　短柱圧縮試験

レーザ溶接 H 形鋼に圧縮載荷を実施し，軸方向圧縮力を受けて局部座屈が生じる場合の強度を評価した。試験体の寸法を**表 2** に示す。試験方法は社団法人鋼材倶楽部（現一般社団法人日本鉄鋼連盟）が規定した鋼構造物の耐震性能評価のための標準試験方法 [3] に準拠し，**図 11** に試験概要を示す。試験体の圧縮変形を 2 点の変位計で計測するとともに，試験体のフランジ，ウェブ中央に歪ゲージを貼付し，局部座屈の発生を推定した。

表 2　短柱圧縮試験体の寸法

Table2　Dimension of specimens for stub column compression test

試験体	寸法（mm） 高さ×幅×ウェブ厚×フランジ厚	長さ（mm）
A	H － 60 × 80 × 1.6 × 1.6	180
B	H － 60 × 80 × 2.3 × 2.3	180

3.4　耐食試験

レーザ溶接の特徴の一つに入熱範囲が非常に狭いことが挙げられる。めっき損傷範囲が狭いため，レーザ溶接部においても犠牲防食効果 [4] が期待され，溶接部および熱影響部の補修塗装が省略できる可能性がある。そこで，JASO M609-91 に規定される複合サイクル腐食試験（以下，CCT 試験と記す）により，ZAM を用いたレーザ溶接 H 形鋼の耐食性を調査した。

表 3 に試験体の明細を示す。試験体は溶接部およびフランジ外面の熱影響部に対し，補修塗装有り，無しの 2 水準とした。補修塗装には水溶性エポキシエステル樹脂を主成分とした塗料を用い，厚み 40 μ m 塗布した。比較材として，ZAM を素材とした高周波抵抗溶接で製造された市販の溶接軽量 H 形鋼を使用した。溶接部の耐食性を評価するため，試験体の鋼板端面は全てシーリング材により保護し，切断端面からの錆を防止した。CCT 試験は 200 サイクル実施し，**図 12** に示す試験体の溶接部およびフランジ外面の熱影響部について評価した。

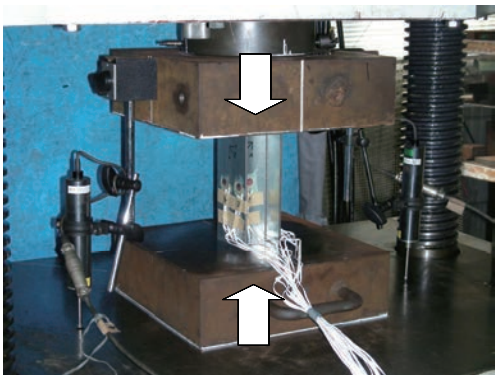


図 11　短柱圧縮試験

Fig.11　Appearance of stub column compression test.

表 3　試験体の明細

Table3　Specimens for combined cyclic corrosion test

ウェブ厚×フランジ厚（mm）	レーザ溶接 H 形鋼		高周波抵抗溶接 H 形鋼	
	補修無	補修有	補修無	補修有
1.6 × 1.6	○	○	－	－
2.3 × 2.3	○	○	－	－
3.2 × 3.2	○	○	－	－
3.2 × 4.5	－	－	○	○

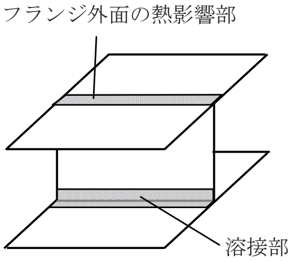


図 12　耐食性評価位置

Fig.12　Surveyed areas of combined cyclic corrosion test.

4．実験結果

4.1　長尺レーザ溶接 H 形鋼の試作結果

片側 1 パス溶接でのレーザ溶接部が，ウェブ厚に対して完全な溶け込みとなるように，溶接可能な範囲を調査した。**図 13** に各板厚におけるレーザ出力 4kW の場合

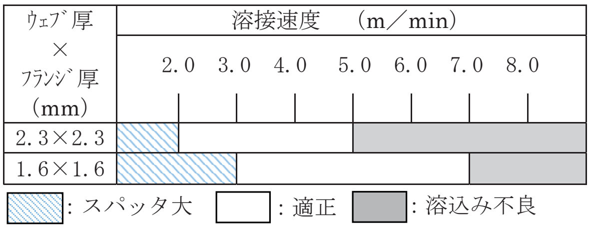


図 13　適正溶接条件範囲（レーザ出力：4kW）

Fig.13　Laser welding condition range.

の適正な溶接条件範囲を示す。いずれの板厚に対しても良好な溶接が行える溶接速度の範囲は十分に広く，ウェブ厚に応じて溶接速度を調整することにより安定した溶接が可能であった。**図 14** に**図 4** の製造設備で試作した長尺レーザ溶接Ｈ形鋼の外観を示す。また，**図 15** に溶接開始点から 1,000mm 毎の位置での溶接部の断面観察

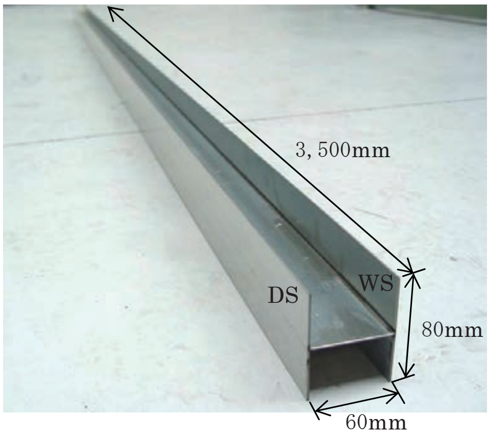


図 14　レーザ溶接Ｈ形鋼 の外観
（H － 60 × 80 × 1.6 × 1.6 × 3,500）

Fig.14　Appearance of laser welded H steel.

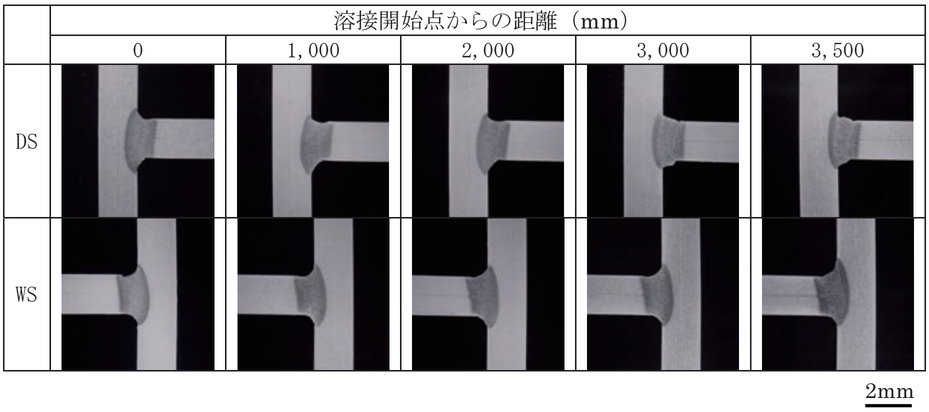


図 15　溶接部の断面

Fig.15　Cross-section of weld zone.

結果を示す。試作品 3,500mm の全長にわたって溶接部の断面形状に変化はなく，めっき鋼板に多く見られるブローホールなどの溶接欠陥も認められなかった。

4.2　引張試験結果

図 16 に試作した長尺レーザ溶接Ｈ形鋼の 1,000mm 毎の位置での引張試験結果を示す。破断形態は全てウェブでの母材破断であり，溶接部での割れや破断は認められず，強度も母材強度である 400N/㎟を超えていた。この結果は JIS の規格を満足しており，連続的にレーザ溶接を行った長尺の H 形鋼の溶接部は健全であると判断される。

4.3　曲げ耐力試験結果

図 17 に試験後の試験体の外観を示す。いずれの板厚の試験体も圧縮側フランジで座屈したが，レーザ溶接部での割れや破断は認められなかった。**図 18** に試験体のたわみ量と荷重の関係を示す。両試験体とも段階的な載

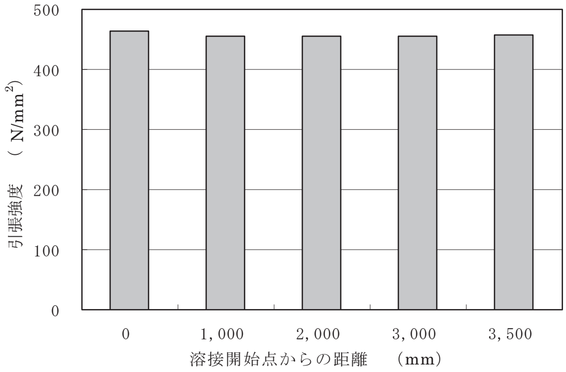


図 16　引張試験結果

Fig.16　Results of tensile test.

荷，除荷の繰り返しにより生じるたわみ量の変化に差異は認められず，弾性変形を示した。

また，断面性能について評価するために，以下の手順で設計の基準となる計算値を算出し，実験結果と比較した。試験体 A は薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き [5]，試験体 B は鋼構造設計規準 [6] に従って，強軸まわりに

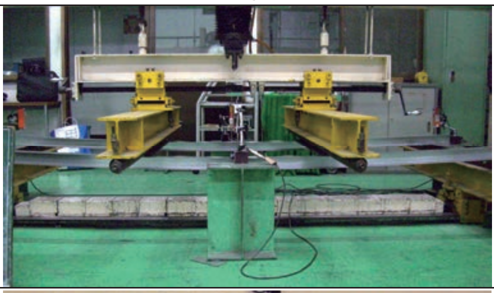
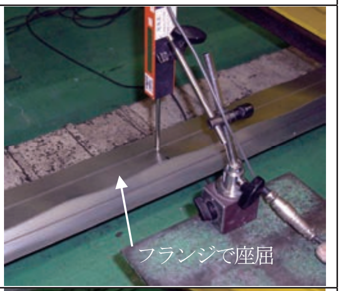
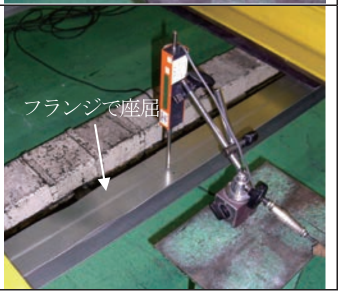
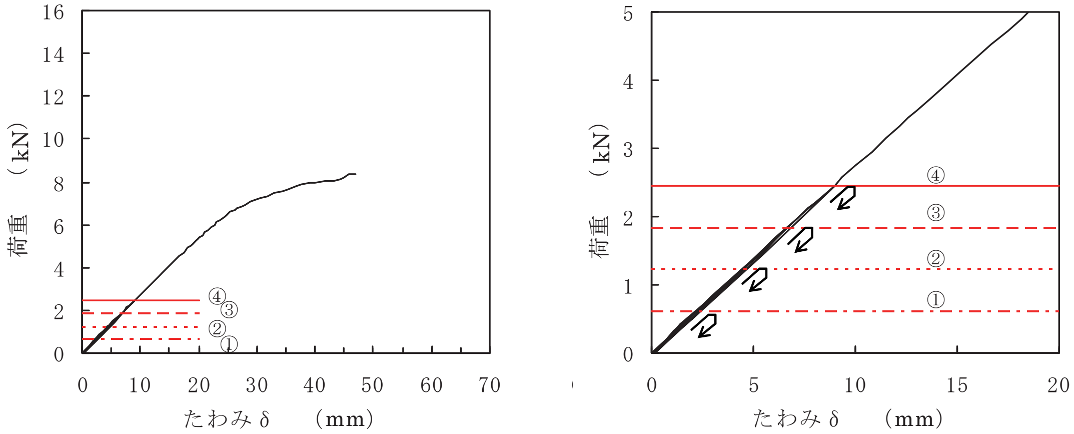
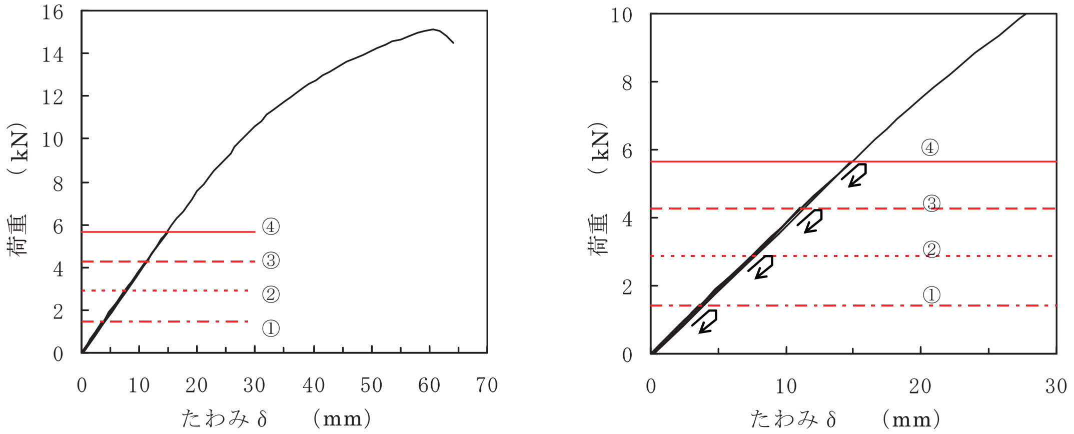
	試験状況	座屈部
H−60×80×1.6×1.6		
H−60×80×2.3×2.3		

図 17　曲げ耐力試験後の試験体の外観

Fig.17　Appearance of specimens after bending test.



(a)　H−60×80×1.6×1.6



(b)　H−60×80×2.3×2.3

図 18　たわみ—荷重曲線

Fig.18　Deflection-load curves.

曲げを受ける部材として規定された幅厚比制限値（規定された幅厚比から設計時に必要な有効幅を求めるための制限値）に基づき，それぞれ有効断面積を算出した。さらに算出した有効断面積を用いて，荷重載荷モデルの最大曲げモーメントから設計の基準となる計算値を求めた。**表4**に計算値と実験により得られた最大荷重を示す。試験による最大荷重は幅厚比制限値から求めた計算値とほぼ同等であり，レーザ溶接Ｈ形鋼は強軸まわりに曲げを受ける部材において，所定の断面性能を有していることを確認した。

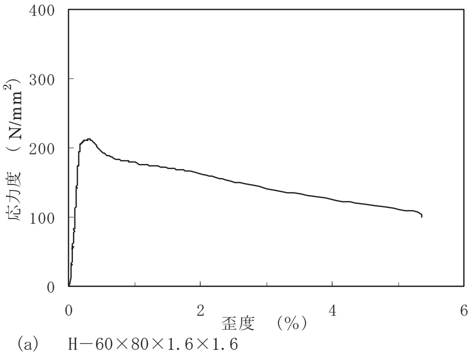
表4　曲げを受ける部材の幅厚比制限値による計算値と実験値の比較

Table4　Comparison between calculated values using the width-thickness ratio restrictions rule of flexural member and experimental results

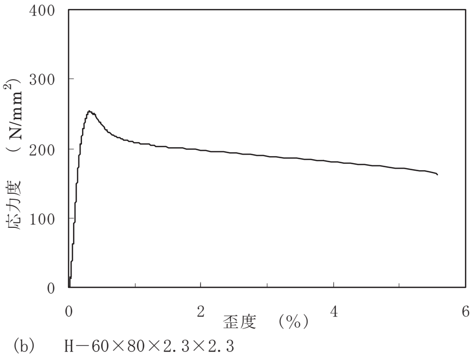
試験体	降伏応力度 (N/㎟)	有効断面積 (㎟)	計算値 (kN)	実験最大荷重 (kN)
A	354	220.2	7.1	8.3
B	330	407.1	13.0	15.0

4.4　短柱圧縮試験結果

図19に変位計の測定結果から求めた応力度－歪度の関係，**図20**に試験体の破壊状況を示す。いずれの板厚の試験体も最大荷重付近で試験体中央にて局部座屈が発生したが，レーザ溶接部での割れや破断は認められなかった。また，曲げ耐力試験と同様に断面性能について評価するために，以下の手順で計算値を算出した。各試験体に対し圧縮応力下における幅厚比制限値[5) 6)]に基づき有効断面積を算出した。算出した有効断面積を用いて設計の基準となる計算値を求めた。**表5**に計算値と実験により得られた最大荷重を示す。試験による最大荷重は幅厚比制限値から求めた計算値と大きな差異はなく，レーザ溶接Ｈ形鋼は圧縮応力下において，所定の断面性能を有していることを確認した。



(a)　H－60×80×1.6×1.6



(b)　H－60×80×2.3×2.3

図19　応力度－歪度曲線

Fig.19　Stress-strain curves.

H－60×80×1.6×1.6	H－60×80×2.3×2.3

図20　短柱圧縮試験体の破壊状況

Fig.20　Appearance of specimens after stub column compression test.

表5　圧縮を受ける部材の幅厚比制限値による計算値と実験値の比較

Table5　Comparison between calculated values using the width-thickness ratio restrictions rule of compression member and experimental results

試験体	降伏応力度 (N/㎟)	有効断面積 (㎟)	計算値 (kN)	実験最大荷重 (kN)
A	354	220.2	77.9	74.4
B	330	407.1	143.3	128.8

4.5　耐食試験結果

図21にCCT試験200サイクル後の溶接部周辺およびフランジ外面の熱影響部の外観を示す。レーザ溶接による試験体では，補修の有無に関わらず溶接部周辺およびフランジ外面の熱影響部のいずれも赤錆の発生は認められず，良好な耐食性を示した。一方，高周波抵抗溶接を用いて製造された試験体では，補修無しの場合は溶接部の全面に赤錆が発生し，補修有りの場合でも軽度な赤錆が確認された。**図22**にレーザ溶接の溶接止端部とフランジ部の断面観察結果を示す。レーザ溶接部周辺にて良好な耐食性を示したのは，溶接ビート幅が約1mmと狭いことに加えて，溶接金属に非常に近い50 μm程度の領域までめっき層が残存しているため，切断端面の防食機構と同様にMgを含む安定な腐食生成物で覆われることにより[7)]赤錆の発生が抑制されたと考えられる。

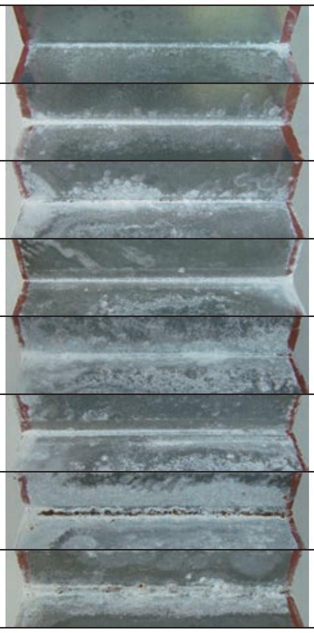
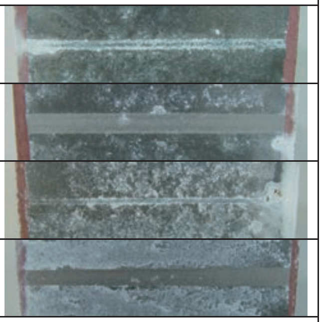
溶接方法	ｳｪﾌﾞ厚×ﾌﾗﾝｼﾞ厚（mm）	補修有無	溶接部	フランジ外面の熱影響部
レーザ溶接	1.6×1.6	無		
		有		
	2.3×2.3	無		
		有		
	3.2×3.2	無		—
		有		—
高周波抵抗溶接	3.2×4.5	無		—
		有		—

図 21　複合サイクル腐食試験 200 サイクル後の外観

Fig.21　Appearanace of specimens after 200cycles of combined cyclic corrosion test.

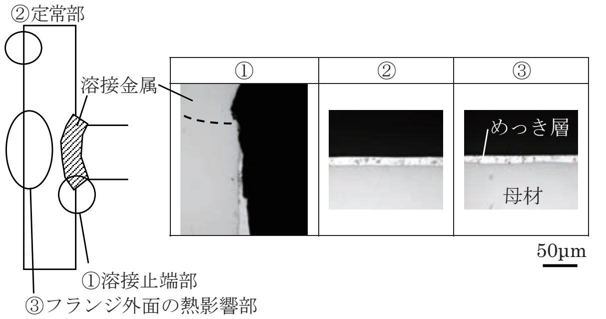


図 22　溶接止端部およびフランジ部の断面

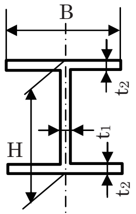
Fig.22　Cross-sections of weld edge zone and heat affected zone in flange part.

また，フランジ外面の熱影響部は，溶接時の入熱の影響を受けていない定常部と同程度のめっき層が保たれており，レーザ溶接の入熱によるフランジ外面のめっきの損傷は小さいと言える。

以上の結果から，高耐食性を有する ZAM を素材に用いることで，レーザ溶接Ｈ形鋼の溶接部周辺およびフランジ外面の熱影響部とも，補修塗装を省略しても溶接部に補修を施した高周波抵抗溶接による溶接軽量Ｈ形鋼と同等以上の耐食性を有しており，補修塗装の省略が期待できる。

4.6　日本建築センター評定の取得

レーザ溶接Ｈ形鋼は建築部材として十分な特性を有していることを確認できたことから，構造性能に関する



高さＨ	50mm 以上 100mm 以下
幅Ｂ	50mm 以上 100mm 以下
ｳｪﾌﾞ厚 t_1	0.8mm 以上 2.3mm 未満
ﾌﾗﾝｼﾞ厚 t_2	0.8mm 以上 2.3mm 未満
長さＬ	12m 以下

図 23　日本建築センター評定の取得範囲

Fig.23　Acquisition range of The Building Center of Japan grade.

公的な評定として，日本建築センターにレーザ溶接による溶接軽量Ｈ形鋼の評定申請を行った。

その結果，建築部材として十分な性能を有していると評価され，平成 23 年 1 月 14 日に部材評定を取得した。**図 23** に取得した溶接軽量Ｈ形鋼の適用範囲を示す。

5．今後の展開

図 24 に 2 つの溝形鋼のウェブ同士を重ね合わせてＨ形状に組み立てて溶接したＨ形鋼と同じ寸法のレーザ溶接Ｈ形鋼の比較の一例を示す。レーザ溶接Ｈ形鋼は溝形鋼の組み合せに比べて約 20％の軽量化が可能である。また，溝形鋼の組み合せの場合，溝形鋼を製造するために必要なロール成形などの成形工程とそれらをＨ形状に組み立てる溶接工程の 2 工程が必要となる。一方，レーザ溶接Ｈ形鋼は溶接工程のみであり，溝形鋼の組み

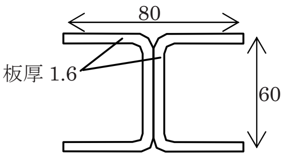
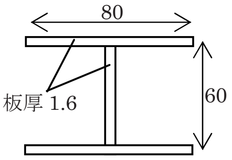
<table>
<tr><th>寸法
(mm)</th><th>単位質量
(kg/m)</th></tr>
<tr><td>溝形鋼の組み合せ

</td><td>3.42</td></tr>
<tr><td>レーザ溶接Ｈ形鋼

</td><td>2.76
(約 20%減)</td></tr>
</table>

図 24　溶接軽量H形鋼の比較

Fig.24　Comparison of welded light gauge H steel.

合せに比べて省工程が図れるため，製造コストの削減が期待でき，ユーザーのコスト削減に繋がる。さらに，CCT 試験結果より，優れた耐食性を有するZAMを素材にした場合，補修塗装の省略によるコスト削減も期待できる。

それ以外に，本製造方法の特徴として材料，形状や寸法の制約が少ないことが挙げられる。使用目的に応じて，形状，強度および表面処理などを自由に組み合わせることが可能であるため，これまでにない設計自由度の向上が期待できる。

今後は，各種住宅部材だけでなく，太陽電池用の架台や農業・道路・土木資材のような非住宅分野への適用の可能性があるものと考え，ユーザーのニーズに合致する部材の開発を進めていく。

６．結　言

筆者らは小型・軽量化を目的にレーザ溶接Ｈ形鋼の製造技術を開発した。本報告は開発したレーザ溶接Ｈ形鋼の諸性能について検討を行うため，素材にZAMを用いてレーザ溶接により溶接軽量H形鋼を作製し，強度試験，構造試験および耐食試験を行った。以下に得られた結果を示す。

1) 適正な溶接条件にて，貫通溶接が形成されたレーザ溶接H形鋼の引張強さは400N/㎟を超え，破断形態もウェブの母材破断となりJISで定められた基準を満足する。
2) 曲げ耐力試験および短柱圧縮試験を行った結果，それぞれに規定される幅厚比制限値に基づき求められる計算値と実験により得られた最大荷重は同程度であった。また，試験後の試験体に溶接部の割れや破断が認められなかったことから，レーザ溶接Ｈ形鋼は溶接軽量Ｈ形鋼としての所定の断面性能を有する。
3) レーザ溶接は入熱範囲が狭いために溶接金属近傍にめっきが残存しており，溶接部は犠牲防食効果が得られる。素材にZAM鋼板を用いることで，レーザ溶接Ｈ形鋼の溶接部周辺およびフランジ外面の熱影響部とも補修塗装を省略しても溶接部に補修を施した高周波抵抗溶接による溶接軽量Ｈ形鋼と同等以上の耐食性を有し，補修塗装の省略が期待できる。
4) 試作品の各種評価をもとに，日本建築センターの評定申請を行い，建築部材として十分な性能を有していると評価され，部材評定を取得した。

参考文献

1) 建築のテキスト編集委員会：初めての建築一般構造，学芸出版社，(1996)，102.
2) 小松厚志，泉谷秀房，辻村太佳夫，安藤敦司：日新技報，No.81 (2001)，10.
3) 鋼材倶楽部：鋼構造物の耐震保有性能評価のための標準試験方法と評価基準の提案（標準化研究会研究報告書），建設省建築研究所（1994），45.
4) 日新製鋼株式会社：ZAM 商品カタログ，日新製鋼株式会社 (2007)，12.
5) 社団法人日本鉄鋼連盟薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き編集委員会編：薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き，技報堂出版，(2002)，62.
6) 社団法人日本建築学会編：鋼構造設計規準－許容応力度設計法－，(2005)，68.
7) 山本郷史，公文史城，峠本敏江，矢野宏和：日新技報，No.89 (2008)，1.