

圧延H形鋼を用いた鉄骨梁ハンチの加工方法と品質

辻 岡 静 雄*

Fabrication and Quality of Haunched Rolled-H Section Beams

Shizuo Tsujioka

This paper is described and evaluated the fabricability and the weldability of the haunch in the actual shop fabrication. The full-size mock-up of the bottom haunch were fabricated. The bending property of the flange plate under room temperature and the performance of "I"-shaped groove weld between the installed triangular plate and the web plate are examined. The occurrence of cracking on the plate bending, the lack of penetration and the defective welding are found at the intersection of the haunch and the rolled-H section member.

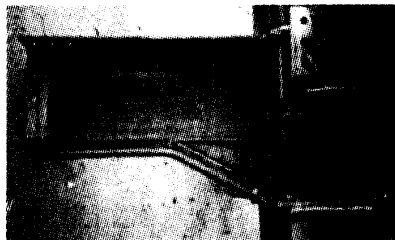
1. はじめに

一般にハンチは経済的観点から設けられるが、梁ハンチは端部補強、柱梁仕口での取合いなどの点からも採用されている。しかし、設計現場では、鉄骨ハンチ梁としての横座屈耐力・塑性変形能力などの研究資料^{1, 2)}が十分反映されておらず、ハンチ勾配などについても曖昧である。一方、低層鉄骨建築ではファブ工場の現有設備や製品の納期の関係から圧延H形鋼を切り曲げて三角形板を挿入する方法でハンチが製作されていることが多い。JASS6など^{3~5)}に照らせば好ましくない加工方法が行われ、リブやスチフナの欠落、大きなハンチ勾配、不溶着部や溶接ビード不整などが見受けられる(写真1)。この鉄骨品質に関する問題は設計者・施工者・製作者の認識不足などによるところが大きい、大部分の鉄骨建築がこの範疇に入る現状では見逃すことはできない。

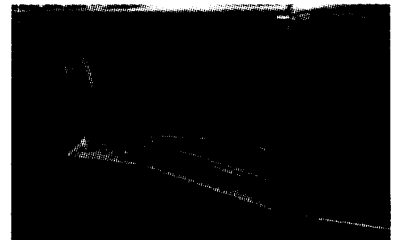
本報告では、梁ブラケット部におけるハンチ形状寸法および圧延H形鋼を用いたハンチの製作方法の現状と問題点を実験的に調べ、現有設備を踏まえた加工方法とその品質を明らかにする。そして、ハンチ付梁の力学性状や破壊性状を検討するための基礎資料を提示するものである。



(a) スチフナ位置



(b) スチフナ無し、ハンチ勾配大



(c) スチフナ無し、溶接外観

写真1 鉄骨ハンチ

* 建設工学科 建築学専攻

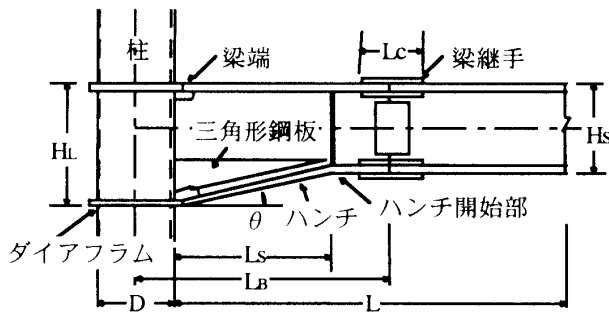


図1 ハンチ付きブラケット部

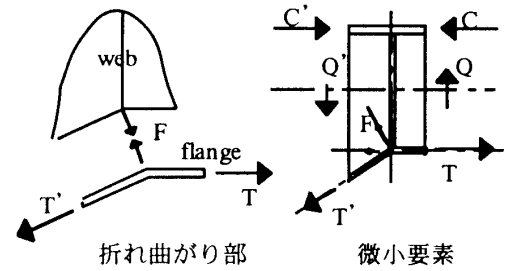


図2 ハンチ開始部での力の釣合い

2. ハンチ付ブラケット部

図1に示す両端部にハンチ（ウェブテーパ）部分を有するH形断面梁を考える。許容応力度設計では、ハンチ部分を材端補剛の変断面梁と考え、最大断面で評価した横座屈モーメントに修正係数を導入することによりハンチ部の許容曲げモーメントを求め、応力検定を行えばよい¹⁾。終局時には、崩壊機構時の曲げモーメント分布に対して危険断面（ハンチ開始部、梁端部）の塑性モーメントが上回るようにすればよい。一方、ハンチ開始部ではフランジが傾斜しているためフランジに面外力およびウェブに面内力が生じる（図2）。スチフナなど補剛材を設けない場合にはフランジに面外変形を生じさせるとともにフランジのせん断で応力をウェブに伝達するので、結果としてハンチ開始部のウェブ近傍に応力が集中する。しかし、補剛材を設けた場合には補剛材を介して応力をウェブ全体に円滑に伝達することができ、ハンチ開始部のウェブでの応力を低減することが可能である。よって、フランジの面外変形防止、ウェブの補強、応力の円滑な伝達のためリブあるいはスチフナが必要になるが、ハンチ開始部での塑性化がウェブに進展した状態ではリブの補剛効果は低下するので、変形能力が要求される場合にはスチフナが望ましい。

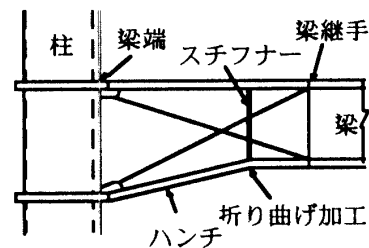
既に、溶接組立H形断面のウェブテーパ梁のハンチ形状と材軸方向の応力度分布との関係、塑性変形性状については、ハンチ率 γ （=ハンチ部分の長さ L_s / スパン内法長さ $2L$ の半分）とテーパ率 β （=ハンチ開始部の梁背 H_s / 梁端部の梁背 H_L ）を用いることにより実験的に検討されているが²⁾、実施設計における実情については不明な点が多い。よって、実施設計におけるハンチ付きブラケット部の形状寸法などについて調査した。その代表例を表1に示す。ブラケット部の長さ L_b 、梁継手長さ L_c とパネル部高さ H_L が各々750～1200mm、300～500mm、400～700mm程度の範囲にある。実状ではテーパ率 β 、ハンチ率 γ は各々0.8前後、0.1～0.2程度で、勾配 θ も0.2～0.3程度である。強度分布、モーメント分布より得られる $(1-\beta)/\gamma$ は、一般に1.0以上で、ハンチ開始部が最大応力点となる場合が多い。

表1 実施例の諸元

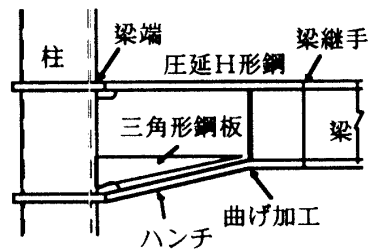
No	部材	スパン長さ L' (mm)	ブラケット長さ L_B (mm)	ハンチ長さ L_s (mm)	テーパ率 β	ハンチ率 γ	勾配 θ
1	柱 □-400x400x16	7000	1000	580	0.727	0.176	0.259
	梁 H-(550~400)x200x8x13						
2	柱 □-400x400x12	9975	1000	500	0.844	0.121	0.184
	梁 H-(588~496)x199x9x14						
3	柱 □-350x350x22	12000	1200	700	0.758	0.118	0.223
	梁 H-(644~488)x300x11x18						
4	柱 □-300x300x12	6500	750	320	0.875	0.0968	0.167
	梁 H-(400~350)x175x7x11						
5	柱 □-300x300x16	5180	795	300	0.791	0.123	0.353
	梁 H-(506~400)x200x8x13						
6	柱 □-400x400x25	4725	1000	600	0.723	0.277	0.320
	梁 H-(692~500)x200x10x16						
7	柱 □-400x400x22	4725	1000	450	0.765	0.208	0.307
	梁 H-(588~450)x200x9x14						

3. ハンチの製作方法

溶接組立の方法でハンチを製作することが多い。低層建築物では圧延H形鋼の切り曲げ加工の上三角形鋼板を組み込む方法が安易に行われている。この方法で製作されたハンチ付きブラケット部では、兵庫県南部地震においてハンチ開始部の圧延H形鋼の母材破断等の被害^{6,7)}が生じていた。これはハンチ用プレート溶接部交点に不溶着部が存在していたためとされているが、スチフナーが適切に設けられていたかも検討すべきである。一方、圧延H形鋼ではウェブフィレットのシャルピー衝撃値⁸⁾が鋼材の規格最低値を上回るもののフランジ部分に比べ小さく、この部分に存在するガス切断や曲げ加工^{9,10)}によるノッチや溶接による不溶着部などの欠陥はさらに破壊靱性を低下させることになる。また、切り曲げ加工における塑性加工が鋼材の破壊靱性に及ぼす影響も考える必要がある。しかし、この部分について、外観検査は行われているものの超音波検査はフランジ部分の溶接でないので全くなされていない。



a) 製作方法A：
鋼板の溶接組立



b) 製作方法B：
圧延H形鋼の切り曲げ加工

図3 ハンチ付きブラケットの製作方法

4. ハンチ部分の切り曲げ加工と溶接

圧延H形鋼H-400x200x12x22(SN400B)を用いてハンチ勾配0.2まで切り曲げ加工およびI形溶接を行い実物大ハンチ模型を製作して、亀裂、溶接不良の発生状況を調べ、加工方法を検証した。試験片数は6片で、ガス切断方法(斜め切断、L形切断)、孔明け処理の有無を実験変数として、

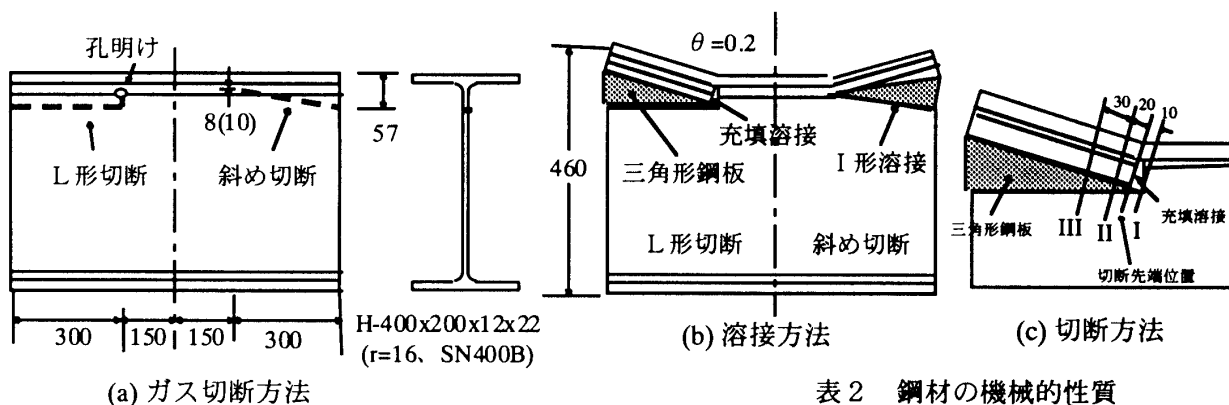


図4 施工試験

表2 鋼材の機械的性質

鋼材	鋼種	降伏応力度 MPa	引張強さ MPa	伸び %
flange	SN400B	265	426	33.3
flange-web		251	423	33.2
web		311	441	28.3

1) 圧延H形鋼における切断位置の罫書き、2) ガス切断と先端のガスによる孔加工、3) 曲げ加工、4)

挿入鋼板の切断加工、5) 溶接、6) 各試験片の切り出し、の順序で製作した(図4)。施工試験は切り曲げ加工の確認試験、切り曲げ加工後溶接の確認試験より構成され、ガス切断面、曲げ加工表面、溶接後の外観検査、マクロ試験により検査した(図4-c)。

4.1 切り曲げ加工の確認試験

製作条件と観察結果を表3に掲げる。L形切断では先端に孔加工がある場合切込み底(ウェブフィレット面)の隅角部とへこみ部分にヘアークラックが認められた(写真2-a)。ただし、切込み底の表面粗度によっては大きなクラックが入る可能性がある。しかし、孔加工が無い場合には切込み底に大きなクラックがフランジ板厚方向に生じた(写真2-b)。一方、斜め切断ではいずれの場合も先端に大きなクラックが生じた(写真2-c)。また、先端位置をフランジ面から8mm(ウェブフィレット半径の半分程度)にした場合トーチがフランジ面に接触してトーチ角度が安定しないため切断面が粗くなるとともにノッチが入り、その底にヘアークラックが認められた。

4.2 切り曲げ加工後溶接の確認試験

製作条件と観察結果を表4に掲げる。クラックの発生状況は切り曲げ試験結果と同様であった。いずれの場合もI形溶接の不溶着部が端面において観察され、三角形鋼板の先端では溶接線の重なりが診られた。L形切断では先端の三角形のすき間を溶接で埋めることになるが裏面の溶接に際して清掃が困難であり、融合不良やスラグ巻き込みなどの欠陥が生じる可能性がある。

次に、溶接後の試験片を図4-cに示すI、II、IIIの位置で切断し、各断面での溶込み状況を検討



写真2 切り曲げ加工後外観

表3 切り曲げ加工試験結果

試験片番号		A-1	B-1	C-1	D-1	
ガス切断	切断形	L形切断	斜め切断	L形切断	斜め切断	
	切断法	手動ガス切断	←	←	←	
	治具など	ガイド使用	←	←	←	
	切断方向	端部→フランジ	←	←	←	
	先端処理	孔加工	無	無	無	
	切断面：粗さ	ノッチ	粗い	←	←	←
			有	有	←	←
	トーチ角度	-	不良	-	-	
先端位置 (mm)	-	8	-	10		
曲げ加工	曲げ勾配	0.2	←	←	←	
	加力方法：引張方法	クレーン	←	←	←	
		支持方法	上下フランジ	下フランジ	上下フランジ	←
	曲げ表面：亀裂発生	切り込み全面	ノッチ底、切断先端	切り込み底	切断先端	
	写真	写真2-a	写真2-c	写真2-b		

表4 切り曲げ加工後溶接試験結果

項目		A-2	B-2	
ガス切断	切断形	L形切断	斜め切断	
	切断法	手動ガス切断	←	
	治具など	ガイド使用	←	
	切断方向	端部→フランジ	←	
	先端処理	孔加工	無	
	切断面：粗さ	ノッチ	粗い	←
			有	有
トーチ角度	-	不良		
挿入板加工	切断面：方法	せん断とノコ	ガス切断とノコ	
	仕上	なし	ディスクサンダー	
	開先加工	無	←	
曲げ加工	曲げ勾配	0.2	←	
	加力方法：引張方法	クレーン	←	
		支持方法	上下フランジ	下フランジ
曲げ表面 亀裂	切り込み底	切断先端		
溶接	溶接継手	I形溶接	←	
	組立溶接：方法	手溶接	半自動溶接	
		ビード	ショート	←
	表面仕上げ	無	有	
	本溶接：方法	ガスシールドアーク溶接	←	
		方向	先端→端部	端部→先端
		速度	30cm/min	-
		電圧	40V	35V
		電流	250-260A	260-280A
		ワイヤー	1.4φフラックス入	1.2φソリッド
		パス数	1	←
裏はつり	無	←		
クレータ処理	良	←		
不溶着部	有	←		
充填溶接	有	無		

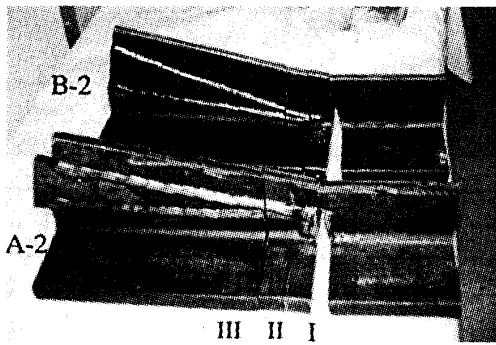


写真3 切断後の試験片外観
(A-2: L形切断、
B-2: 斜め切断)

表5 マクロ試験結果

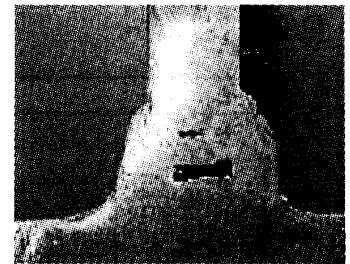
部位	溶接断面	備考	
A-2	I	融合不良	写真4-a
	II	融合不良、溶込み不良	写真4-b
	III	融合不良、溶込み不良	
	I-II	亀裂、融合不良、溶込み不良	写真5-a
B-2	I	-	
	II	溶込み不良	写真4-c
	III	溶込み不良	
	I-II	亀裂、融合不良、溶込み不良	写真5-b



(a) I断面 (A-2)



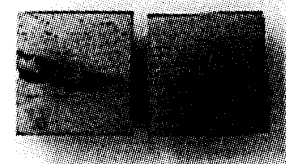
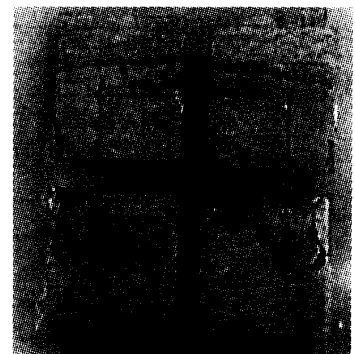
(b) II断面 (A-2)



(c) II断面 (B-2)

写真4 溶接部切断面

した(写真3)。また、I-II部分についてはウェブ芯で切断し先端部分の断面中央部での溶込み状況も調べた。そのマクロ試験結果を表5に掲げておくが、L形切断の切断面では、充填溶接では融合不良が、I形溶接では融合不良、溶込み不良が各部で観られる(写真4-a, b)。これは溶接線が重なること或いは近接すること、接合面が密着していないことによる。斜め切断での切断面では不溶着部は少ないが、溶接線が近接する場合フランジ面側の溶接では不溶着部が大きい(写真4-c)。これは切断位置がフランジ面に近接するため溶接棒の角度が不適切となり溶接部が重なり溶込み不足となったと考えられる。なお、先端位置をフランジ面からもう少し離せば不溶着部を小さくすることができると考えられるが重なりをなくすることができるわけではない。次に、I-II部分の断面中央部について、L形切断ではほとんどの溶接線に不溶着部があり、特に充填溶接部分



(b) B-2試験片

写真5 先端部ウェブ中央断面

には大きな空洞が観られ、また、曲げ加工による亀裂が認められる（写真5 -a）。一方、斜め切断ではフランジ面側の溶接線は溶着しておらず、先端に大きな空洞が存在し曲げ加工による亀裂も認められる（写真5 -b）。

5. 纏め

本報ではブラケット部におけるハンチ形状寸法と製作方法の実状および工作や溶接における品質を明らかにするために、実施例の調査、圧延H形鋼を用いた実大ハンチ模型の製作を行った。得られた事柄を要約すれば以下のようなになる。

- 1) 実際の梁端部のウェブハンチのテーパ率 β 、ハンチ率 γ は各々0.8前後、0.1～0.2程度に、勾配も0.2～0.3程で、ハンチ開始部が最大応力点となる。
- 2) L形切断では先端の切込み底にヘアークラックが、特に、先端に孔加工が無い場合には切込み底に大きなクラックが生じた。斜め切断では先端にフランジに沿った大きなクラックが生じた。
- 3) L形切断、斜め切断ともI形溶接では不溶着部が認められ、特に、溶接線が近接する部分、溶接線がフランジ面に近接する部分では著しい。また、L形切断での充填溶接（先端の三角形のすき間を溶接で埋めること）に融合不良などの欠陥が生じる。
- 4) ハンチ開始部分の断面中央部（切断先端部分）には空洞と曲げ加工によるクラックが残存する。

以上より、切断加工や曲げ加工の容易さ、充填溶接がないことを考えれば”斜めガス切断”の方法が望ましいと言えるが、ガス切断面にノッチが生じないようにガス切断の先端位置に注意する必要がある。しかし、いずれの切断方法でも溶接後の先端部分にはクラックと大きな不溶着部が生じており、製作方法を変更するのでもなければ、欠陥は内在するものとして十分な厚を確保したうえでハンチ開始部のウェブフィレットに生じる応力を小さくする応力伝達要素（例えば、スチフナ）を併用することが不可欠である。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：鋼構造座屈設計指針、第2版、1996.1.
- 2) 鈴木敏郎、木村 衛、金子祥文、源 淳一：鉄骨テーパばりの塑性変形性状に関する実験研究、日本建築学会構造系論文集、第358号、pp.43-50,1985.12.
- 3) 日本建築学会：建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事、1996.5.
- 4) 日本鋼構造協会：実例でわかる工作しやすい鉄骨設計、技報堂、1991.2.
- 5) 工作標準委員会編：図解鉄骨工作標準、鋼構造出版、1993.3.
- 6) 丸岡義臣：建築鉄骨の破断例と改善策（上）、鉄構技術（STRUTECH）、pp.47-53, 1995.10.
- 7) 木林長仁：鉄骨造建物の震害経験と設計の対応について、structure, No.65, pp.54-56, 1998.1.
- 8) 日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会：通しダイアフラム形式で角形鋼管柱に接合されるH形鋼梁の塑性変形能力に関する実大実験（報告書）、1997.7.

- 9) 日本鋼構造協会：わかりやすい溶接の設計と施工、技報堂、1986.2.
- 10) 日本塑性加工学会編：曲げ加工 - 高精度化への挑戦 -, コロナ社、1995.1.

(平成11年11月24日受理)