

建築鉄骨柱・梁仕口部に適用する ノンスカラップ溶接施工試験

工藤 憲二¹⁾ 露野 公則²⁾ 高橋 照明³⁾

阪神大震災以降、建築鉄骨の柱梁接合部においてスカラップ端部を起点とした脆性破壊を防止する目的からノンスカラップが推奨されている。1996年に建築学会「鉄骨工事技術指針」の改訂版が発行され、ノンスカラップ工法について多くの提案がなされている。しかしながら、ノンスカラップ工法を採用する際に重要となる溶接施工性、溶接継手性能、溶接内部品質、組立作業能率について製造者側の立場から研究し、発表した実例は少ない。

今回、上記の点を解明する目的で、ビルトアップH材とロールH材を用いた供試体による施工試験を行った。ここにその結果を報告する。

まえがき

従来のスカラップ工法とノンスカラップ工法の違いを建築学会「鉄骨工事技術指針」から引用し、ノンスカラップ工法について解説したのち今回行ったノンスカラップ溶接施工試験結果について報告する。

1. スカラップ工法とノンスカラップ工法 (建築学会「鉄骨工事技術指針」から引用)

柱梁接合部のうち梁端溶接部の梁フランジを完全溶込み溶接する際に、従来はスカラップ工法を用いていた。これは溶接技術や溶接材料が今日ほど進歩していない時代に、溶接線が交差すると割れなどの溶接欠陥が生じやすくなることや、多重溶接の入熱が接合部の材質劣化を引き起こすことなどから、スカラップを取って、裏当て金を貫通させて完全溶込み溶接することが常識になっていた。しかし、現在では、建築構造用鋼材の開発、溶接材料や溶接技術の飛躍的な発展により、割れなどの溶接欠陥や材質劣化が起こりにくくなってきており、溶接線が交差しても特に問題ないと考えられる状況になってきている。

近年行われた数多くの実物大実験や破壊力学な

どの研究により、スカラップを取らないノンスカラップ工法を用いることで、変形能力が飛躍的に向上することが確認された。また、スカラップを取る場合でも、スカラップ回し溶接やウェブ付近で裏当て金の組立溶接を避けるなどの配慮をすれば、変形能力がある程度向上することも明らかになった。ただし、ノンスカラップ工法を用いれば、変形能力が飛躍的に向上することは明らかであるので、特にスカラップを取る必要がない限りノンスカラップ工法を推奨する。

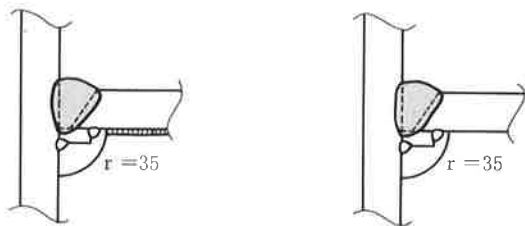
阪神大震災の被害例やこれまで行われてきた研究結果などから、スカラップ端部を起点とした脆性破壊が危惧される場所である。そこで、スカラップの要否およびそのディテールが建築鉄骨の耐震安全性にとって非常に重要な問題である。

(1) 従来のスカラップ工法とその問題点

柱梁接合部の梁端を溶接接合する際、一般に梁端のウェブに、図-1に示すように貝殻状の切欠きとなるスカラップが設けられる。このスカラップは、梁フランジの完全溶込み溶接をする場合や、さらにウェブのすみ肉溶接をする場合に、溶接欠陥や溶接の不連続部が生じること、溶接線の交差によって溶接部が度重なる溶接入熱の履歴を受けて接合部の材質が変化することを避ける目的で設

1) 東北鉄骨橋梁(株)管理技術部長 2) 東北鉄骨橋梁(株)技術開発課長 3) 東北鉄骨橋梁(株)技術開発課

けられる。しかし、このスカラップ加工は、地震時に最も応力が大きくなる部位に断面欠損を生じさせる構造的な欠陥となっている。事実、地震時に繰返し曲げが作用すると、このスカラップに起因する応力集中あるいはひずみ集中などにより、梁フランジ側のスカラップ先端から亀裂が発生・進展して、接合部の強度や変形能力がかなり低下する場合がある。このことは実験研究だけでなく、阪神大震災の被害例においてもスカラップに起因した梁フランジの脆性破壊が数多くみられた。また、設計時に梁端部の全塑性耐力を算定する際においても、梁スカラップによる断面欠損が存在するために梁ウェブ全断面を有効に利用できない。施工時においても、スカラップの加工精度に注意を払う必要があり、スカラップ端部の回し溶接は手間がかかるだけでなく、品質も確保しにくいという欠点もある。



(a) 溶接組立H形鋼の場合 (b) 圧延H形鋼の場合

図-1 従来のスカラップ工法による梁端のディテール

(2) ノンスカラップ工法

ノンスカラップ工法は、スカラップの加工やスカラップ回し溶接が不要なので、溶接工程の省力化や溶接ロボットを導入しやすくなる、などの利点がある。その反面、スカラップを無くするために、梁フィレットが邪魔になって裏当て金を貫通させることができない。そのため、図-2に示すようなフィレットを避けた様々な形状の裏当て金を用いた工法が提案されている。

仕口部の梁部材が、先組みの既製品溶接組立H形鋼（ビルトH）、圧延H形鋼（ロールH）の場合と板材による総組工法H形鋼（同時組みビルト

表-1 梁部材と裏当て金の対応

梁に使用する部材	使用できる裏当て金
(1) 同時組みビルトH梁	①
(2) 既製品(先組み)ビルトH梁	②, ⑦, ⑧, ⑨
(3) ロールH梁	②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧, ⑨

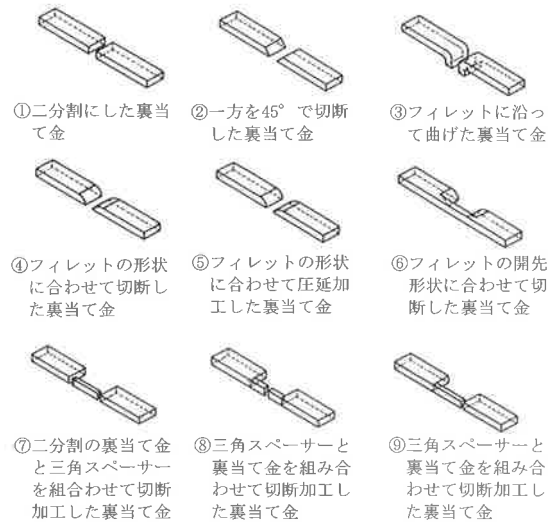


図-2 ノンスカラップ工法に用いる裏当て金

H) の場合では使用する裏当て金が異なっている。表-1にそれぞれの梁部材と図-2に示す裏当て金との対応を示す。

これらのノンスカラップ工法における梁端の溶接手順を以下に示す。

- ①柱フランジ面に梁端を突合せて位置決めし、柱梁の組立を行う。
- ②梁フランジ完全溶込み溶接部に図-2中の①～⑨の裏当て金を図-3～図-6のようにセットし

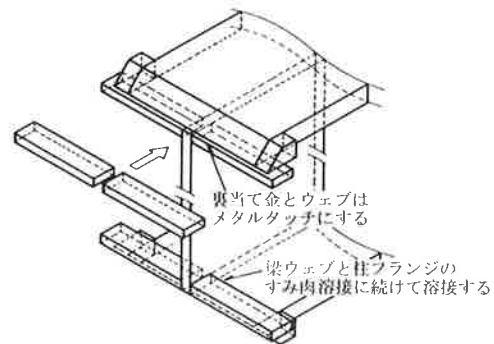


図-3 同時組みビルトH梁のノンスカラップ工法 (ポジショナーを用いた場合の特例)

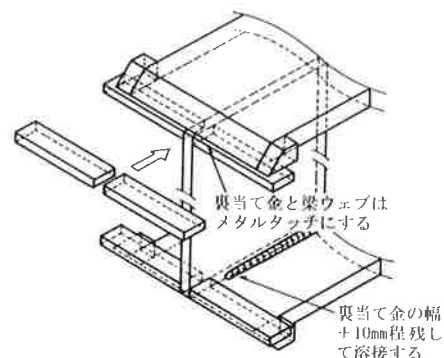


図-4 同時組みビルトH梁のノンスカラップ工法

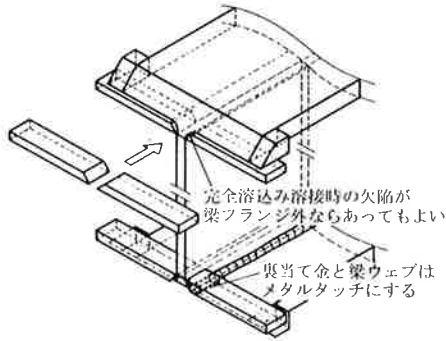


図-5 先組みビルトH梁のノンスラップ工法

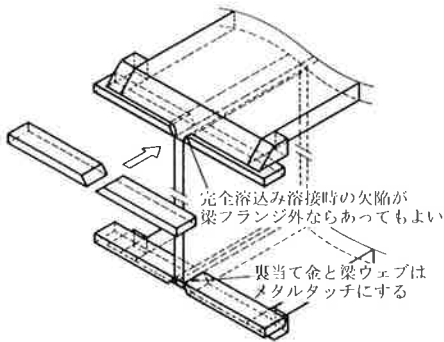
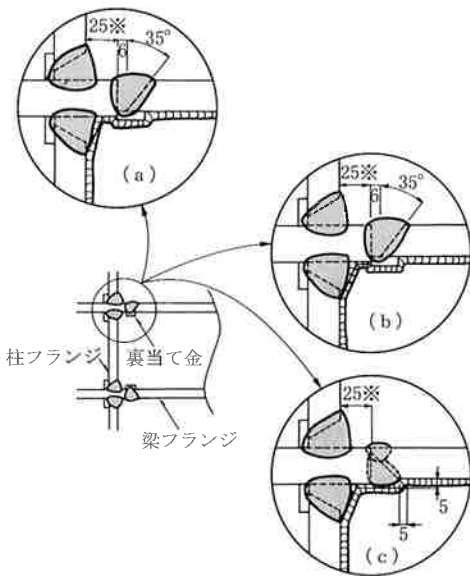


図-6 ロールH梁のノンスラップ工法

て、エンドタブを取付ける。この裏当て金は梁部材に適応した裏当て金を用い、組立時には梁フランジに密着するように組立溶接する。梁通し形式（突合せ溶接）の場合について、図-7および図-8に示すように、柱に角形鋼管あるいは円形鋼管を用いて通しダイヤフラムとする梁通



※：通しダイヤフラムの出寸法は 25mm とするが、柱フランジの板厚が 28mm 以上の場合 30mm とする

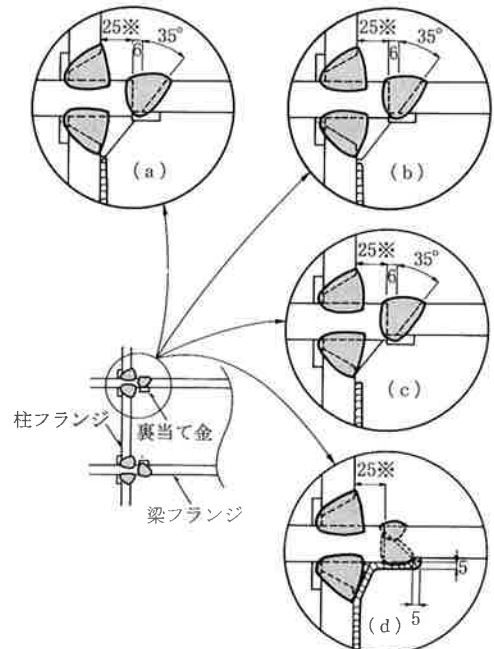
図-7 同時組みビルトH梁のノンスラップ工法のディテール

し形式の柱梁接合部に、梁ブラケットとしてビルトHおよびロールHが工場溶接される場合のノンスラップ工法における梁端部の加工方法および溶接手順を示す。

まず、ノンスラップ工法における梁端の加工は柱通し形式の場合とほとんど同じであるが、通しダイヤフラム板厚は、梁フランジ板厚の1サイズ以上厚い板厚の鋼材を用いなければならない。また、通しダイヤフラムは柱フランジ面から25mm突出しておくことを通常とする。これは、柱フランジと通しダイヤフラムの完全溶込み溶接によるダイヤフラムの傘折れや割れを防ぐことと、梁フランジの完全溶込み溶接との干渉防止、溶接ロボットの導入などから決まった寸法である。ただし、柱フランジ板厚が28mm以上であれば、柱フランジ完全溶込み溶接の余盛寸法が大きくなり、梁フランジの完全溶込み溶接と干渉しやすくなることから、通しダイヤフラムの出寸法は30mmとしなければならない。

さらに、梁通し形式の施工は柱通し形式と異なり、溶接継手が近接した位置に輻輳するため、以下に示す処理を施す必要がある。

裏当て金を用いないガウジング形式が主流であるが、ノンスラップ工法で行う場合は、図-7(c)および図-8(d)に示すように、開先と交差する梁



※：通しダイヤフラムの出寸法は 25mm とするが、柱フランジの板厚が 28mm 以上の場合 30mm とする

図-8 先組みビルトH梁およびロールH梁のノンスラップ工法の梁端ディテール

ウェブ部に完全溶込み溶接のためのすき間を必要とするので、加工が複雑になる。特に、先組みビルトH梁やロールH梁の場合は加工が非常に難しい。

溶接順序としては梁フランジの完全溶込み溶接後、柱フランジと梁ウェブ、通しダイヤフラムと梁ウェブ、梁フランジと梁ウェブのすみ肉溶接を行って、切欠き部分を埋める処理も同時に行う。

裏当て金を用いる場合、同時組ビルトH梁の場合には図-8に示すように、梁ウェブの端部は鋼管と通しダイヤフラムの溶接部の余盛を避けるようにスニップカットしておく。また、先組ビルトH梁およびロールH梁の場合には図-8に示すように、梁ウェブを切欠いて鋼管と通しダイヤフラムの溶接部の余盛を避ける。この切欠き部分は力学性能の面からは溶接により充鎮しなくてもよいが、溶接外観など管理の面からは溶接によって充鎮した方がよい。梁端の溶接手順も柱通し形式の場合とほとんど同じであるが、裏当て金を組立てる際に図-9に示すように、通しダイヤフラムと梁フランジの裏当て金側の段差により、裏当て金のセットする場所を変える。

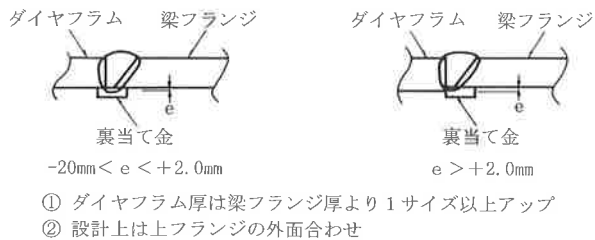


図-9 裏当て金の組立て位置

2. 今回行ったノンスラップ施工試験

(1) 試験概要

柱・梁仕口部に想定した十字継手の供試体を用いて溶接施工試験を行った。試験概要は表-2に示すとおり、供試体の片側にロールH材、反対側にビルトアップH材を取り付けて、溶接姿勢は下向きと横向きにて行った。

表-2 試験概要

試験体記号	溶接姿勢	ノンスラップ形式	試験体数量	試験体形状
F	下向き	ビルトアップH材+ロールH材	3	
H	横向き	ビルトアップH材+ロールH材	3	

(2) 試験項目

試験項目は、外観検査、超音波探傷検査 (UT)、引張試験、マクロ試験、シャルピー衝撃試験である (表-3)。

表-3 試験項目

試験体記号	試験項目				
	外観	UT	引張	マクロ	シャルピー
F	①	①	① BH	—	—
	①	①	—	①	—
	①	①	—	—	③ BH
H	①	①	① RH	—	—
	①	①	—	①	—
	①	①	—	—	③ RH
試験方法	JASS6 日本建築学会		JIS Z 3121 突合せ溶接継手の引張試験方法	JIS G 0553 鋼のマクロ試験方法	JIS Z 3111 溶接継手の衝撃試験方法
判定基準	JASS6 日本建築学会		引張強度が母材規格値以上の時合格	板厚範囲内に割れ、溶込み不足、融合不良など有害な欠陥がない時合格	0℃でシャルピー吸収エネルギーが母材規格値以上の時合格

○印：実施項目および試験片数量
BH：ビルトアップH側から採取
RH：ロールH側から採取

(3) 供試体形状寸法

供試体形状寸法を図-10に示す。

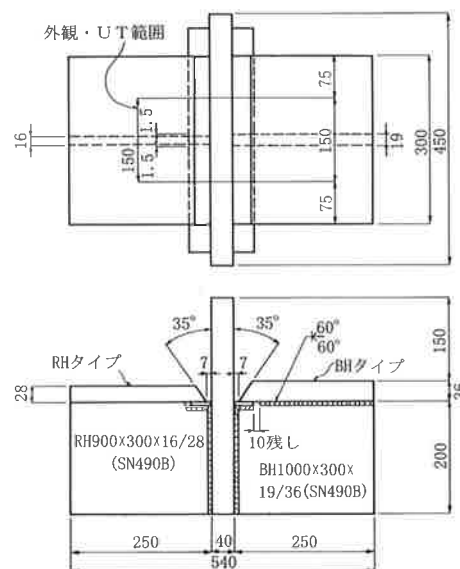


図-10 供試体形状寸法

(4) ノンスカラップ詳細図

ロールH材のノンスカラップ詳細図を図-11に、ビルトアップH材のノンスカラップ詳細図を図-12に示す。

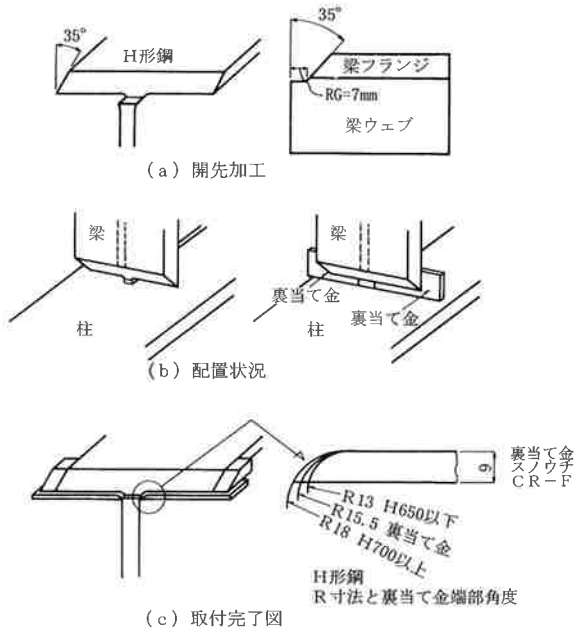


図-11 ロールH材のノンスカラップ詳細図

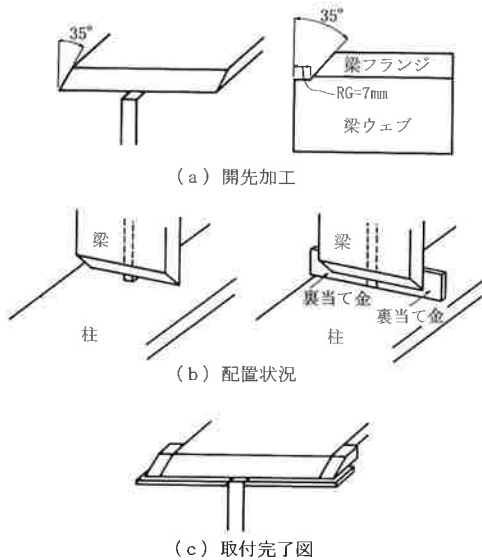
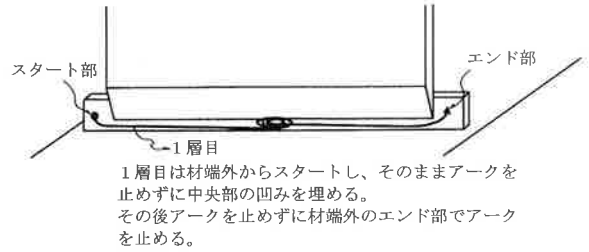


図-12 ビルトアップH材のノンスカラップ詳細図

(5) 溶接方法

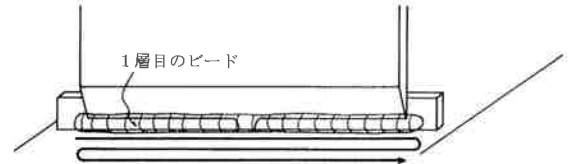
1) ロールH材

ロールH材の中央部には3~4mmの凹みが生じる。今回、事前検討を行い、溶接方法は図-13および図-14のように定めた。



1層目は材端外からスタートし、そのままアークを止めずに中央部の凹みを埋める。その後アークを止めずに材端外のエンド部でアークを止める。

図-13 ロールH材初層のパス盛り方



2層目以降は通常の盛り方とする。スラグ清掃は3~4パス以内に1回ずつ行うこととする。

図-14 ロールH材2層目以降の盛り方

2) ビルトアップH材

中央部に凹みがないため、スカラップ工法の裏当て金貫通時の溶接方法と全く同様とし、パスの盛り方は溶接作業者の自由とする。

(6) 試験片詳細図

引張試験片の詳細図を図-15に、マクロ試験片の詳細図を図-16に、シャルピー衝撃試験片の詳細図を図-17に示す。

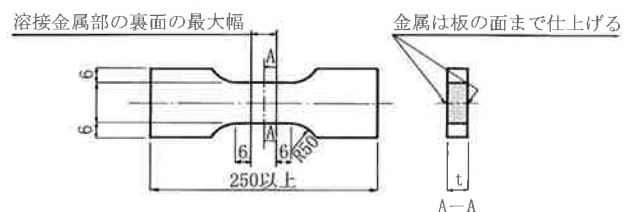
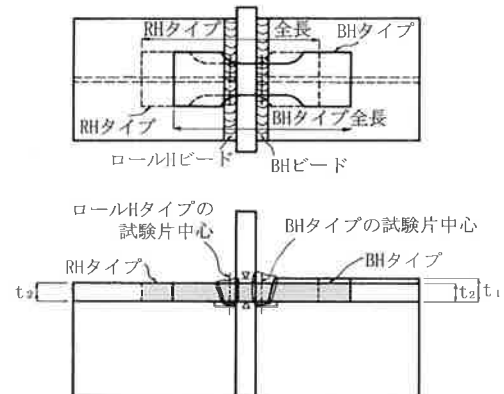


図-15 引張試験片詳細図

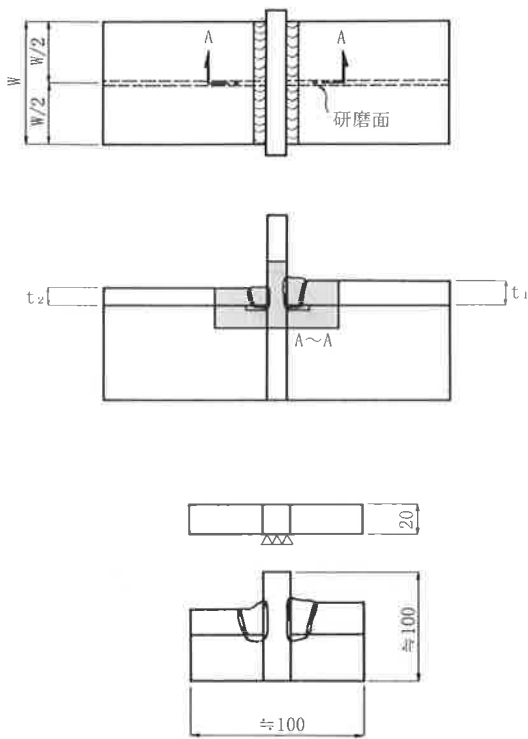


図-16 マクロ試験片詳細図

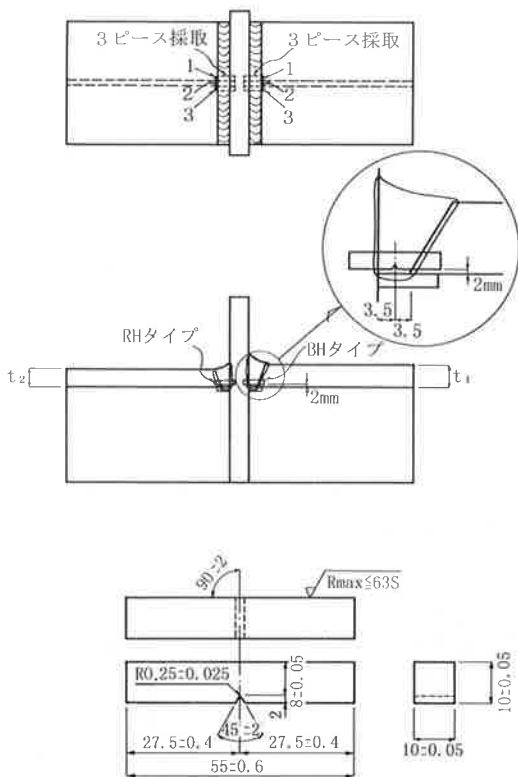


図-17 シャルピー衝撃試験片詳細図

(7) 試験結果

外観検査, 超音波探傷試験, 引張試験, マクロ試験, シャルピー衝撃試験の結果を表-4に示す。

1) 外観検査および超音波探傷試験

外観検査の結果は全ての供試体とも良好であった。外観検査は仕上げビードに対する評価である。スカラップ工法とノンスカラップ工法との違いは初層溶接時だけであり, 2層目からはスカラップ工法と同様であるため, ビード外観の良否は溶接工の技量に依存し, 工法の違いではないことによる。

超音波探傷試験の結果は全ての供試体とも無欠陥であった。ノンスカラップ工法ではロールH材のフランジ中央部の凹みが, 初層溶接に悪影響を及ぼさないか懸念していたが, ルート部からの欠陥反射エコーは現れず, 溶接内部品質は良好と判断される。

2) 引張試験

試験片採取位置はノンスカラップ部とし, ウェブ中央から試験片幅25mmとした。溶接姿勢下向きの試験片F 1および横向きのH 1とも, 引張試験判定値490N/mm²以上に対しF 1が

表-4 試験結果

試験項目	試験片記号	試験結果			可否	備考	
外観検査	F	①	良好	合格			
		②					
		③					
	H	①					
		②					
		③					
超音波探傷試験	F	①	無欠陥	合格			
		②					
		③					
	H	①					
		②					
		③					
引張試験	F 1	断面寸法 (mm×mm)	引張荷重 KN	引張強さ N/mm ²	合格	破断位置溶接部	
		断面積 (mm ²)					
	28.0×24.9	381	547				
	697						
H 1	28.1×24.9	400	571	合格	破断位置母材		
700							
マクロ試験	F 2	無欠陥			合格		
	H 2	無欠陥			合格		
シャルピー衝撃試験 0℃	F 3	J(kg)		平均 \bar{x}	合格		
		①	106.70 (10.88)				124J (12.68kg)
		②	138.86 (14.16)				
	③	127.49 (13.00)					
	H 3	①	167.20 (17.05)	168J (17.11kg)			
		②	161.61 (16.48)				
③		174.66 (17.81)					

547N/mm²(破断位置溶接部), H 1 が571N/mm²(破断位置母材)を示し, 両方とも判定値を満足していた。

3) マクロ試験

試験片採取位置はノンスカラップ部とし, ウェブ中央をマクロ面とした。溶接姿勢下向きの試験片 F 2 および横向き H 2 とともに, 写真-1, 2 に示すように無欠陥であり溶込みも良好であった。

4) シャルピー衝撃試験

試験片採取位置は断面位置として裏面から 2 mm, 溶接線方向はノンスカラップ部から 3 ピース採取した。試験温度 0℃にて行い, シャルピー吸収エネルギーの判定値を 27 J 以上に定めた。試験結果は, 溶接姿勢下向き F 3 で 3 ピースの平均値が 124 J, 溶接姿勢横向き H 3 で 168 J を示し, いずれも判定値を満足していた。試験データからスカラップ工法とノンスカラップ工法の有意差は認められなかった。

5) ノンスカラップ供試体製作時および溶接施工時の作業性

ロールH材供試体の開先加工は開先加工機にて機械切削を行った。この装置を用いると, 図

-18および写真-3, 4に示すようにウェブ水平面を残すことが可能である。このウェブ水平面が残っていることにより写真-5, 6に示すように,

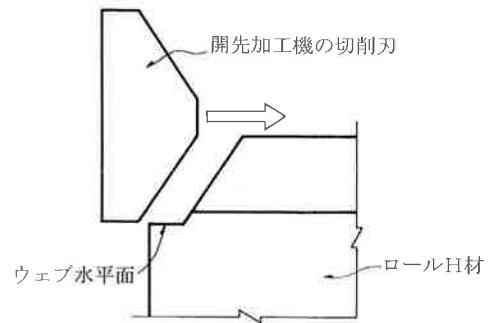


図-18 開先加工機による加工



写真-3 ロールH材開先面

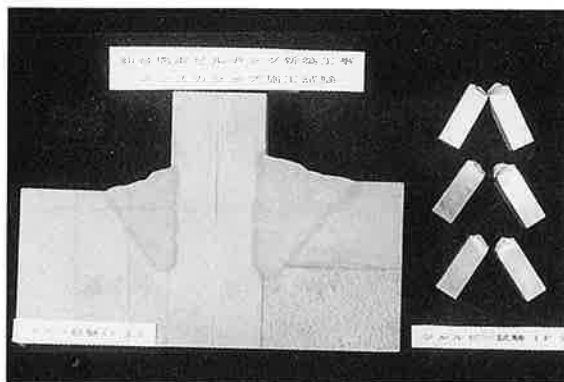


写真-1 マクロ試験片 (下向き姿勢)



写真-4 ロールH材裏面

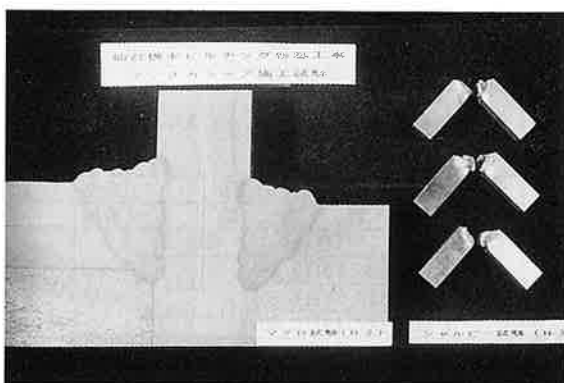


写真-2 マクロ試験片 (横向き姿勢)

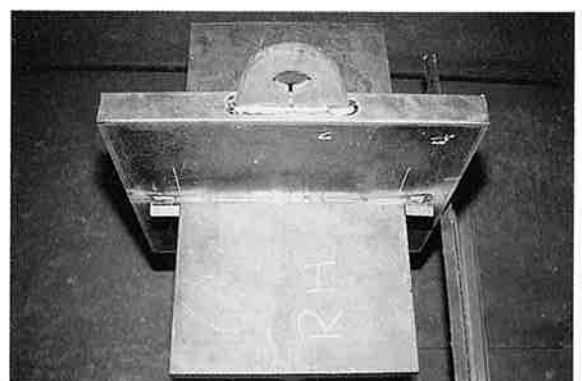


写真-5 ロールH材組立完了

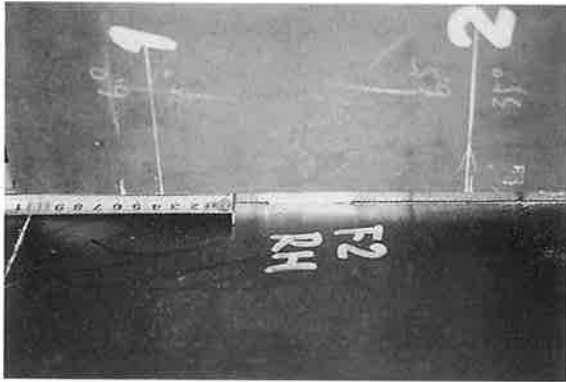


写真-6 ロールH材組立表面

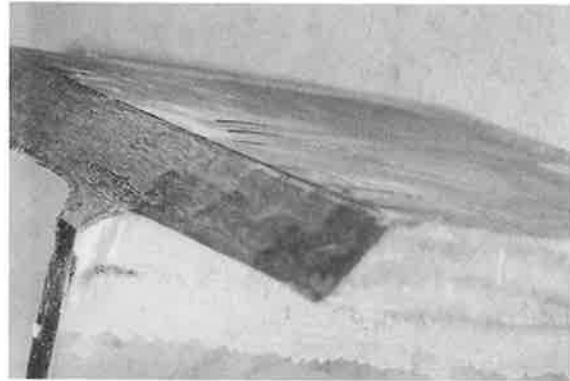


写真-7 ロールH材ガス切断面

ノンスラップ部すなわちフランジ中央部の凹みが少なくなり、かつ、裏当て金とウェブの密着性が良くなる。

このことにより組立作業性が良くなり、初層溶接の施工性が向上する。裏当て金はスノウチ社製のCR-Fを使用した。これはロールした平鋼でR15.5mmに製造している。

ロールH材のウェブとフランジ交差部のRはデプスが650mm以下ではR13mmで、700mm以上ではR18mmとなっている。ロールH材のRが異なるごとに、裏当て金を取替えるのは煩雑で、間違いの原因となる。このことから両者の中間値であるR15.5mmの裏当て金を使用した。ただし、共通使用を優先したために、図-19に示すような若干のすき間(2mm程度)が生じる。このことを理解した上で、裏当て金取付時に極力密着するような配慮が必要である。

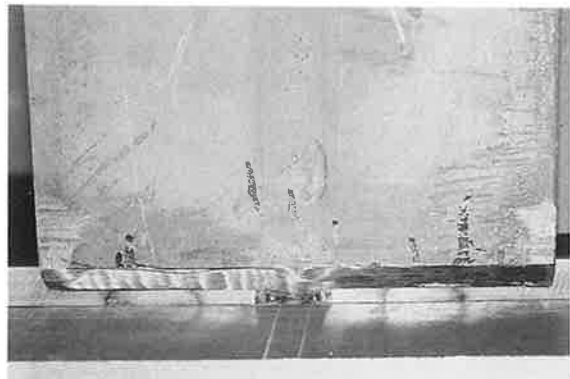


写真-8 ロールH材組立完了後

この供試体ではフランジ中央部の凹みが大きくなる。溶接施工時にこの凹みがあるため、母材内に欠陥が入らないよう注意深くワイヤねらい位置を定める。初層溶接時にフランジ端部からアークスタートし、中央部に至った際凹みを埋めた後、アークを切らずに反対側のフランジ端まで溶接する。2層目以降は1パスを同一条件にて溶接施工を行うことが大切である。

また、ビルトアップH材はフランジとウェブが分離しているため、上述のフランジのガス切断による開先加工は容易である。組立状況を写真-9, 10, 11に示す。裏当ての取付時にフランジ材とウェブ材に押し付けて密着させることに注意すれば、組立て上の難しさは全くない。裏当て金がウェブおよびフランジと密着していれば、溶接は貫通裏当て金と何ら変わることなく施工できる。

溶接後のビード外観を写真-12, 13, 14, 15に示す。スラップ工法の貫通裏当て金との違いは初層の溶接だけであり、仕上げビードの良否は溶接工の技量に依存し、ノンスラップ工法との関連性はない。

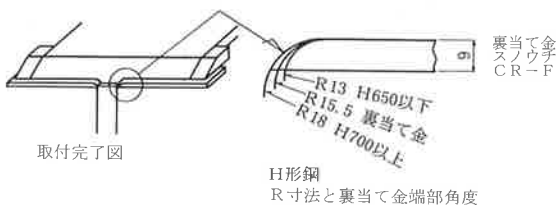


図-19 ロールH材の裏当て金取付状況

さらに、ロールH材の開先加工をガス切断にて行った供試体を追加製作した。ガス切断にて開先加工を行った供試体を写真-7に示す。ガス切断の場合は、前述の開先加工機と異なりウェブ水平面を残せない。このため、フランジの開先角度のままウェブまで切断されることになる。組立完了後の供試体を写真-8に示す。



写真-9 ビルトアップH材裏当て金取付前



写真-10 ビルトアップH材裏当て金取付時



写真-11 ビルトアップH材組立完了開先面

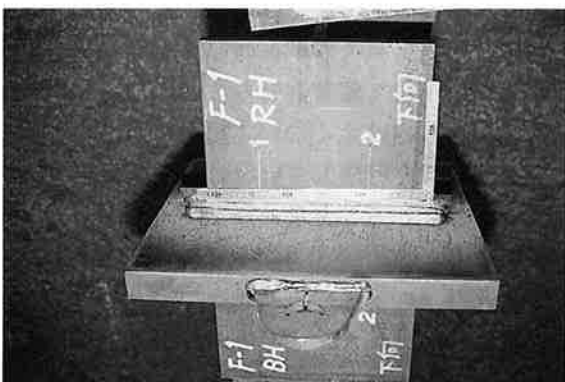


写真-12 ロールH材ビード外観（下向き溶接）

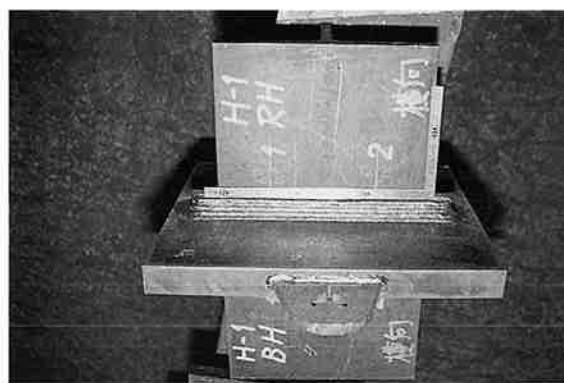


写真-13 ロールH材ビード外観（横向き溶接）

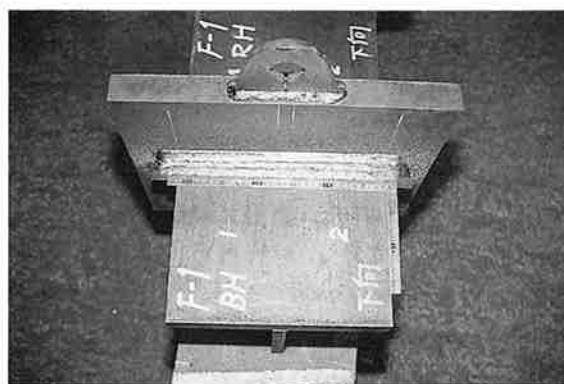


写真-14 ビルトアップH材ビード外観（下向き溶接）

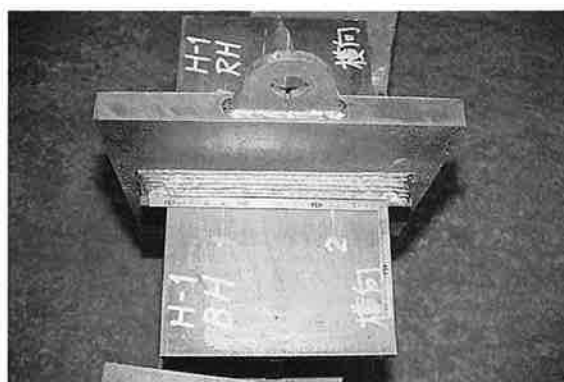


写真-15 ビルトアップH材ビード外観（横向き溶接）

3. まとめ

ノンスカラップ工法は、1.で示したとおり建築学会「鉄骨工事技術指針」に多くのタイプが紹介されている。今回、ノンスカラップの施工試験をロールH材とビルトアップH材を用いて行った。裏当て金としては、ロールH材には端部がR形状のものを、ビルトアップH材には端部が直角形状のものを用了。

試験結果から溶接ビード外観，溶接内部品質（UTにて確認），溶接継手性能はスカラップ工法の貫通裏当て金使用時に比較して遜色なかった。

①開先加工作業性の検討

ロールH材の場合、開先加工機使用時とガス切断器使用時ではガス切断器使用時の方が作業能率は劣る。開先加工機使用時はロールHをセッティングし、切削部をフランジ下面に合わす作業さえ行えば、2面同時に開先加工を行えるためである。ガス切断器使用時は、ガス炎を入れる位置の野書、火口の角度・切断線調整、試し切りが必要になり、さらに、1人で1面しか切断できないことによる。

②裏当て金取付時の検討

開先加工機使用時はウェブに水平部分が残るため、ウェブの密着性が良くなり裏当て金のセッティングが容易である。ガス切断器使用時は開先が深くなり、裏当て金取付時にウェブと裏当て金にすき間が生じる場合がある。これを防止するためにウェブに密着させる必要がある。しかし、あまり奥に入れると裏当て金の先端にRがあるため、フランジ下面との間にすき間が生じることになり、両者のバランスに配慮しながら注意深く取り付ける必要がある。

あとがき

本報告はノンスカラップ工法の一手法について溶接施工試験を行って溶接施工性、溶接継手性能、溶接内部品質、組立作業能率について検討したものである。施工試験結果を踏まえて、現在実工事に適用している。現段階で今回報告した工法以外も含めて6工事に適用した結果をみると、ロールH材（先組みビルトアップH材も含む）は施工試験時の検討結果とほぼ一致しており、特に問題はない。

ビルトアップH材で同時組みのケースは、図-20に示すように、あらかじめウェブ材をシャーリング工場で切断する際、裏当て金の取付く部分を

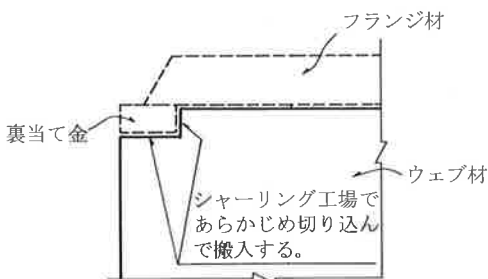


図-20 ウェブ材切り込み図

切り込んでおくことにより貫通裏当て金の適用が可能となる。

溶接品質管理上、貫通裏当て金の方が有利であることから、当社ではこの方式を採用した工事もある。

現在、建築学会「鉄骨工事技術指針」に紹介されているノンスカラップ工法のうち当社に合った工法を定めるべく、一工法にとられることなく工事ごとに設計者と打合せの上、さまざまな工法を適用している。今後の課題は、ノンスカラップ工法の適用が主流となっている現状を踏まえて、SRCの梁貫通タイプに対する検討を進めることと、ノンスカラップ全体について当社に合った工法を絞り込み、工場製作標準を定めることである。

最後に本溶接施工試験の計画段階からご指導、ご協力を賜った三菱地所(株)東北支店高橋課長、増田課長代理、鹿島建設(株)大嶋部長、下重所長、他共同企業体の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄骨工事技術指針 工場製作編