
KX 溶接法による角鋼管柱リバーボックスWの開発

Development of Steel Box Column RIVER BOX W by KX Welding Method

山口 修一(Shuichi Yamaguchi) 赤秀 公造(Kozo Akahide) 滝沢 章三(Shozo Takizawa) 阿草 一男(Kazuo Agusa) 永易 正光(Masamitsu Nagayasu) 西村 誠(Makoto Nishimura)

要旨：

4 枚の鋼板を使用して溶接によって組立てられる角鋼管柱は、建築物の柱として多くのすぐれた点を有しているが、溶接工数が多くなるためコストアップとなる。そのため、当社ではかねてより溶接工数の低減をはかりうる新しい製造方法の開発を進めてきた。その結果、当社がすでに開発した多電極サブマージアーク法による高能率溶接法「KX 溶接法」を用いることで溶接工数を低減させることに成功した。本報告は、開発に伴って行った実験について述べたもので、主な実験結果は次のとおりである。(1)KX 溶接法を角鋼管柱のシーム溶接部に適用すれば、板厚 16～40mm までを片側 1 層で完全溶込み溶接を行うことができる。(2)在来溶接法に比べ、溶接工数、材料消費量、溶接による変形などの点ですぐれている。

Synopsis：

Steel box column built-up from four steel segments by welding has many advantages over the counterparts made by other methods. Only disadvantage is its high production cost because of relatively large manhour. As a result of the studies on the welding method, it was proved that the application to the box column of "KX welding method", a multi-electrode submerged-arc welding method developed by this company, leads to cutting down welding manhour. This article reports on various experiments conducted in the course of development. Main results are as follows: (1) KX welding method, when applied to the seam welds of steel box column, makes possible a full-penetration by one-side and one-pass welding with 16 to 40mm thick plates.(2) KX welding method has advantage over the conventional welding methods in welding manhour, material consumption and weld deformation.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

KX 溶接法による角鋼管柱リバーボックス W の開発

Development of Steel Box Column RIVER BOX W by KX Welding Method

山 口 修 一*

Shuichi Yamaguchi

赤 秀 公 造**

Kozo Akahide

滝 沢 章 三***

Shozo Takizawa

阿 草 一 男**

Kazuo Agusa

永 易 正 光****

Masamitsu Nagayasu

西 村 誠*****

Makoto Nishimura

Synopsis:

Steel box column built-up from four steel segments by welding has many advantages over the counterparts made by other methods. Only disadvantage is its high production cost because of relatively large manhour.

As a result of the studies on the welding method, it was proved that the application to the box column of "KX welding method", a multi-electrode submerged-arc welding method developed by this company, leads to cutting down welding manhour.

This article reports on various experiments conducted in the course of development. Main results are as follows:

- (1) KX welding method, when applied to the seam welds of steel box column, makes possible a full-penetration by one-side and one-pass welding with 16 to 40mm thick plates.
- (2) KX welding method has advantage over the conventional welding methods in welding manhour, material consumption and weld deformation.

1. はじめに

角鋼管が、構造上、鋼構造建築物の柱に適した材料であることは以前からよく知られている。しかし、閉鎖断面のため製造が難かしく、とりわけ、柱-はり接合部の加工が複雑化しコスト高となるため使用例はわずかであった。しかし、こ

数年の溶接をはじめとする鉄骨加工技術の発達により、品質のよい角鋼管の製造が可能になるにつれ超高層建築や中高層ビルにも使用されるようになった。このような状態に対処するため、当社でも製造コストの低減を図りうる新しい角鋼管柱の製造法を開発を進めてきた。このたび当社独自の技術である高能率厚板溶接法「KX 溶接法」を角鋼管柱のかど継手に適用し、サイズの選択が自由で、

* エンジニアリングセンター建設開発部建築開発室課長

*** エンジニアリングセンター建設開発部鋼構造研究所主任研究員・工博

***** エンジニアリングセンター建設開発部建築開発室

** 技術研究所溶接研究室主任研究員

**** エンジニアリングセンター建設開発部鋼構造研究所主任研究員

仕上がり精度がよく、かつ溶接工数を低減しうる4枚鋼板組立工法による角鋼管柱の開発に成功した。これを「リバーボックスW」と称し、すでに四国鉄工(株)、リバーsteel(株)、山本建材リース(株)に製造販売を委託している。

本報告は「リバーボックスW」に関し、その特長、機械的性質、製造上の問題とその対応などについて述べたものである。なお、本開発に先立って、筆者らは、合理的な接合方法を開発する目的で、柱-はり接合部の耐力実験を行い、この成果をすでに報告^{1,2)}している。

2. KX 溶接法の概要

KX 溶接法³⁾は、本来、厚鋼板の突合せ両側溶接法として当社が開発した多電極サブマージアーク溶接技術で、欠陥のない深溶込み継手が高速度で得られる利点をもっている。この溶接法の原理上の特長のひとつは、できるだけ深い溶込み機能をもたせるため、先行極に大電流、低電圧の条件を与えたことである。しかし、一般に深溶込みビードには、縦われ、スラグのまき込み、あるいはビード形状不良などが発生しやすい欠点がある。

第2の特長は、このような溶接欠陥を除去するためホット・トップ法⁴⁾を応用し、溶接速度、電極間隔および電流比を適当に選定して、先行極による溶融池に投与する後続極の熱量および投与時期をコントロールしていることである。厚板に適用する場合の開先はX形であるが、そのルートフェイスを、板厚に対して相対的に大きくとった点に第3の特長がある。したがって、KX 溶接法での開先断面積は、在来法の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ に減少し、このため溶接材料の節減が可能になる。従来の厚鋼板の突合せ溶接は、開先内に低速度で多層肉盛溶接を行うため非効率であるが、KX 溶接法では先行極の深溶込み作用により十分な溶込みが得られるので、ルートフェイスを大きくでき、そのため高速化も可能になる。

角鋼管柱のかど継手にKX 溶接法を適用する際は、レ形開先片側1層溶接が必要なため、厚板に用いるX形開先のKX 溶接法をそのまま利用することはできない。したがって、かど継手への応用

のため2電極 KX 溶接法の改良試験を行った結果、電極傾角、ワイヤの狙い位置の変更およびワイヤ径と溶接条件の修正により、板厚16～40mmの角鋼管の片側1層完全溶込み溶接が70cm/minの高速で行えるようになった。この詳細については別の機会に報告したい。

Photo. 1 はかど継手への適用例である。いずれもきわめて安定した断面形状を示している。

Photo. 2 はホット・トップ法によるわれ防止機

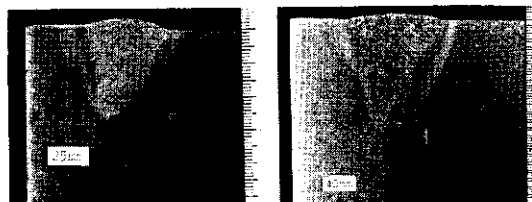


Photo. 1 Cross-sections of KX welding

構を示したもので、従来の2電極法においては、先行極の溶融池の凝固が水平に進行するため、ビード中央部に熱間われが発生しやすいのに対して、KX 溶接法では、ホット・トップの作用で、凝固組織がビード表面方向に向けられるため、われの発生が完全に防止できる。

つぎに、KX 溶接法による角鋼管柱のかど継手部の溶接を能率面で在来法と比較してみる。たとえば、在来法で25mmの鋼板を完全溶込み溶接するには、少なくとも3層以上溶接する必要がある。しかも、各層の溶接速度は20～30cm/minでありKX 溶接法の約 $\frac{1}{3}$ となるのが一般的である。したがって、KX 溶接法ではアークタイムのみを比較しても在来法の $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{2}$ となり、きわめて高能率となる。

3. 溶接部の機械的性質

溶接部の機械的性質を調べるために行った引張、衝撃、硬さ試験などの確性試験結果を述べる。対象とする溶接部はKX 溶接部およびKX 溶接と内部スチフナ取付け用の消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接との重なり部の2ヶ所である。

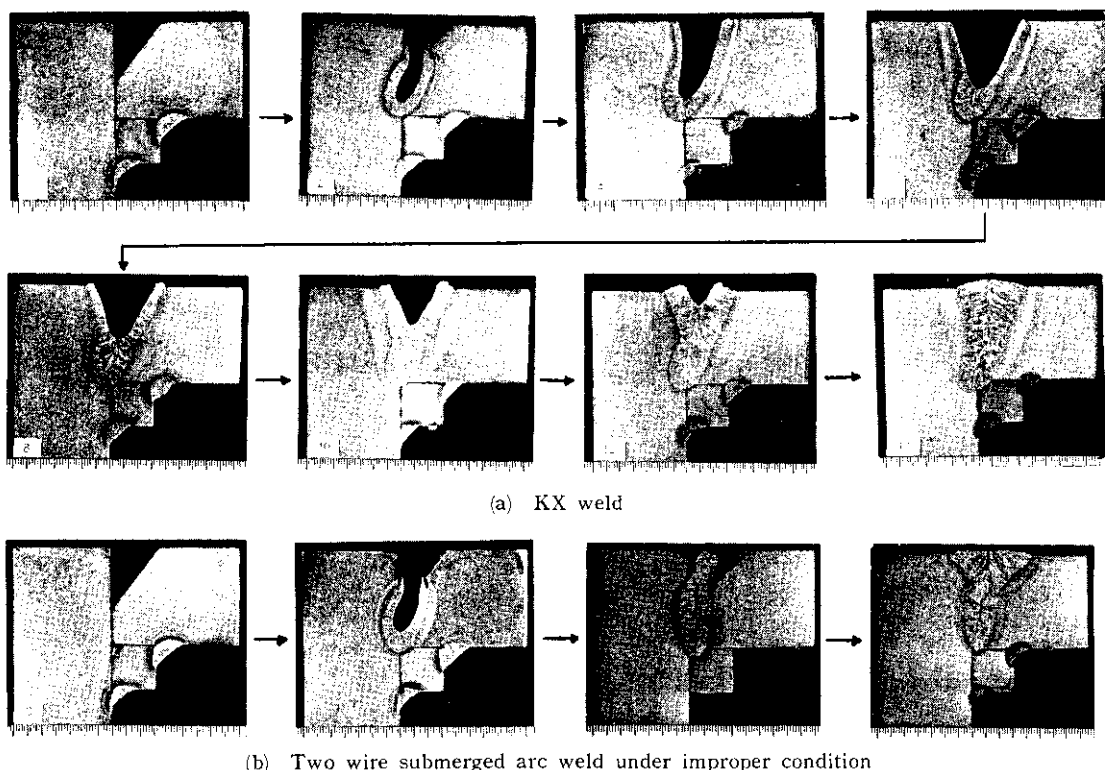


Photo. 2 Solidification patterns in two types of welds

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of steel plates

Steel	Thickness (mm)	Chemical compositions (%)					Mechanical properties			
		C	Si	Mn	P	S	Yield point (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
SM50A	19	0.15	0.37	1.34	0.025	0.009	38.6	55.5	28	60
SM50A	25	0.18	0.38	1.37	0.021	0.012	37.5	56.0	28	67
SM50A	35	0.17	0.36	1.49	0.021	0.012	33.8	53.6	29	66

Table 1 にこれらの試験に用いた鋼材 (SM50A) の化学成分および機械的性質を示す。

3・1 KX 溶接部

リバーボックスWは40mmまでの板厚を対象としているが、入熱量は板厚により異なるので、試験体は板厚 19, 25, 35mm の3種類とした。なお、かど継手の引張強度を調べる標準的な試験方法はなく、JIS にも規定されていないため、便宜上、JIS Z 3121 に準じた試験方法によった。

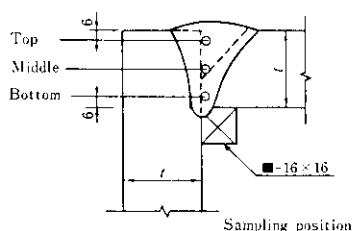
Table 2 に KX 溶接部の化学成分を示す。引張、ビッカース硬さおよびシャルピー衝撃試験の結果を Table 3, Fig. 1 および Fig. 2 に示す。引張強度、吸収エネルギーおよび硬さの値から、良好な溶接継手であることがわかる。

3・2 KX 溶接とエレクトロスラグ溶接との重なり部

試験体の鋼種は SM50A で、板厚はスチフナ 25mm, 角鋼管35mmとした。Fig. 3 に引張試験

Table 2 Chemical compositions of KX weld metal

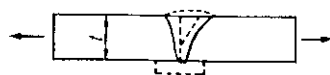
Thickness t (mm)	Sampling position	Chemical compositions (%)				
		C	Si	Mn	P	S
19	Top	0.13	0.28	1.10	0.020	0.013
	Bottom	0.13	0.28	1.13	0.021	0.013
25	Top	0.14	0.25	1.09	0.016	0.012
	Middle	0.13	0.26	1.09	0.016	0.012
	Bottom	0.13	0.26	1.09	0.016	0.013
35	Top	0.13	0.25	1.13	0.016	0.013
	Middle	0.14	0.24	1.14	0.016	0.014
	Bottom	0.15	0.24	1.19	0.016	0.014



Base metal: SM50A
 t : 19, 25, 35 mm
 KX welding
 Wire: KW43B
 Flux: KB115

Table 3 Tensile strength of KX weld joint (kg/mm²)

No.	1	2	3	Average
t (mm)				
19	56.9	58.6	56.8	57.5
25	55.1	55.1	56.2	55.5
35	54.1	52.7	53.8	53.5



Base metal: SM50A
 KX welding
 Wire: KW43B
 Flux: KB115
 Test piece: JIS Z3121

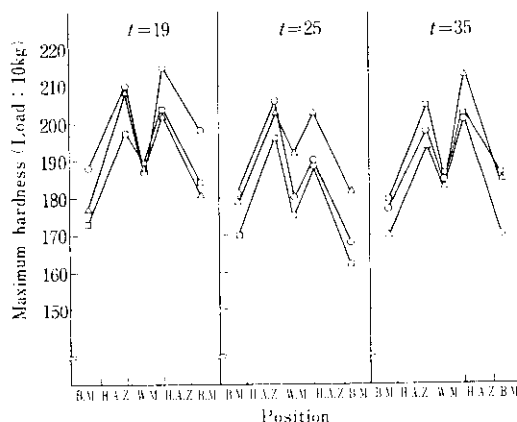
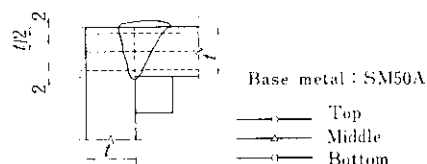


Fig. 1 Vickers hardness of KX weld zone

用試験片の、Fig. 4 に衝撃および硬度試験用試験片の採取位置を示す。

試験結果を Table 4, Fig. 5 および Fig. 6 に示す。

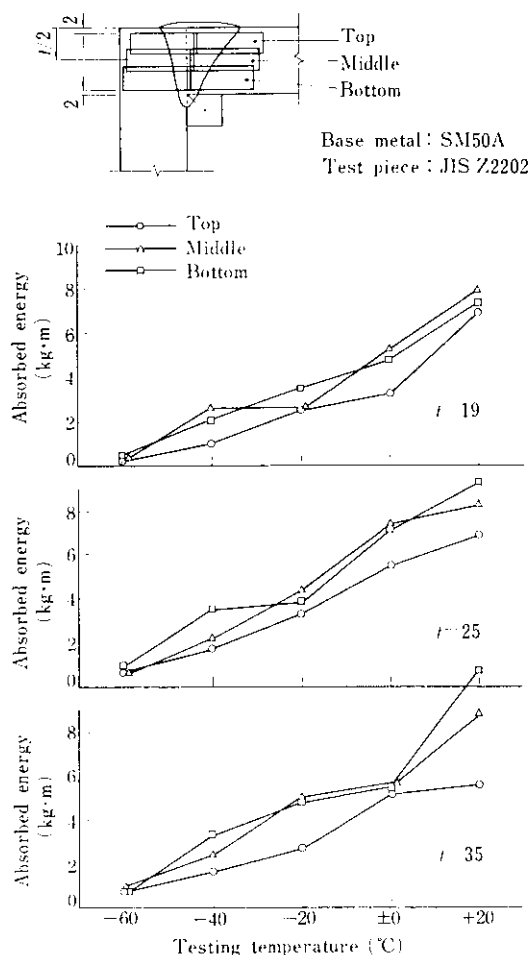


Fig. 2 Charpy impact value of KX weld metal

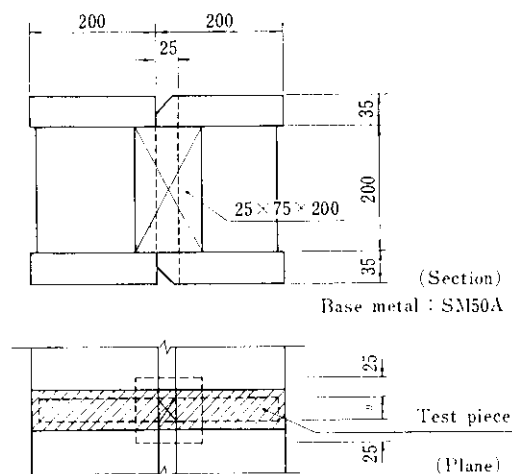


Fig. 3 Tensile test specimen of overlapping weld zone between KX and electroslag processes

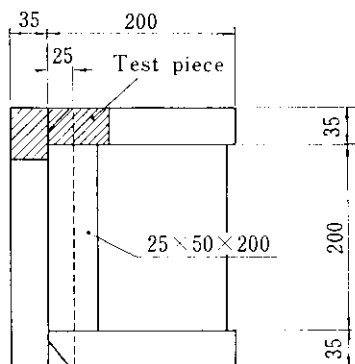


Fig. 4 Impact and hardness test specimens of overlapping weld zone between KX and electroslag process

Table 4 Tensile strength of overlapping weld zone between KX and electroslag processes (kg/mm²)

No.	1	2	3	Average
Position				
Overlapping (t=35mm)	51.7	54.0	53.3	53.0
Electroslag (t=25mm)	56.5	55.3	56.3	56.0

Test piece : JIS Z 3121

Base metal : SM50A

KX welding

Wire : KW43B

Flux : KB115

Electroslag welding

Wire : KW40C

Flux : KF100

Consumable nozzle

: KU1000

引張強度は、KX 溶接部の引張強度とほぼ等しく問題はない。吸収エネルギーはKX溶接部より若干低いが、SM50Bの規格値 $2.8\text{kg}\cdot\text{m}(0^\circ\text{C})$ を十分満足している。また、ビッカース硬さ試験の結果も良好である。

これらのことから、KX 溶接とエレクトロスラグ溶接との重なり部の機械的性質も良好で特に問題はない。

なお、実際のリバーボックスWのほり仕口部では、内部スチフナ取付けのエレクトロスラグ溶接

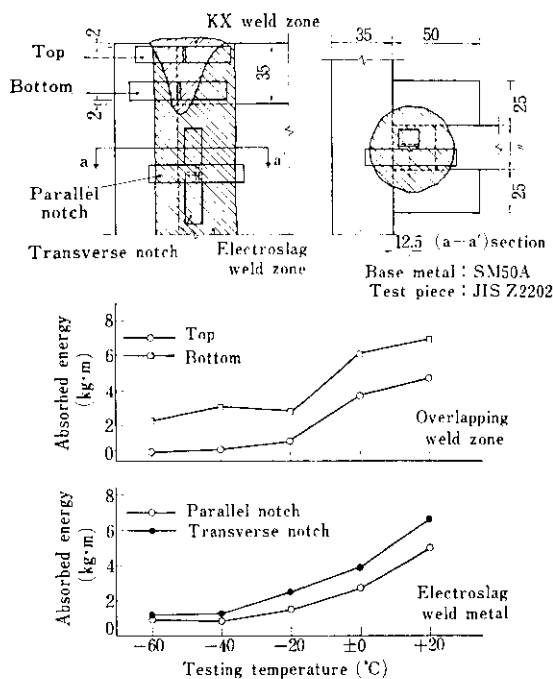


Fig. 5 Charpy impact value of overlapping weld metal between KX and electroslag processes

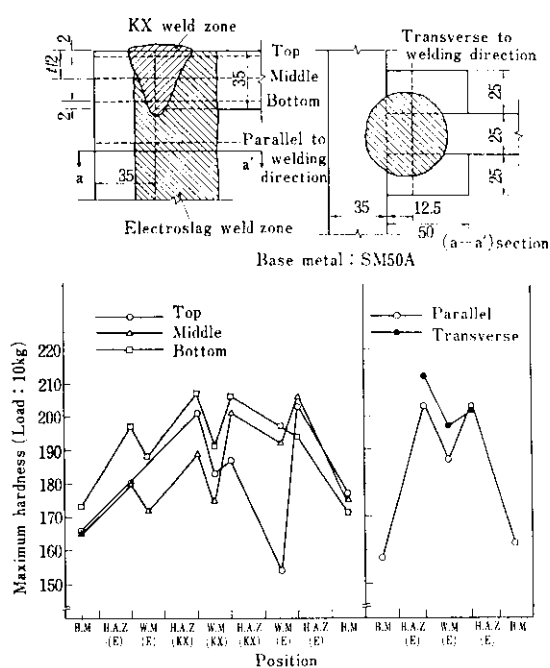


Fig. 6 Vickers hardness of overlapping weld zone between KX and electroslag weldings

Table 5 Welding conditions

Welding	Thickness (mm)	Root opening or groove angle (α)	Welding materials	Pass	Current (A)	Voltage (V)
Electroslag	25, 34	20mm	Wire KW40C 3.2 ϕ Nozzle KU1000 Flux KF100	1	400	45
CO ₂	25	35°	Wire KC50 1.6 ϕ CO ₂ 25l/min	1~3 4~8	350 380	35 35
	34	35°	"	1~6 7~13	380 400	35 35
Manual	25	45°	KS-76 5 ϕ	1~4 5~13	255 235	32 32
	34	45°	KS-76 4 ϕ	1~4 5~24	200 235	30 32

とはりフランジ取付けのアーカ溶接の間に溶接の重なり部分が生じる。特に角鋼管柱の板厚が薄くなると、熱影響の重なりを越えて、溶着金属の重なりが生ずる。この重なり部の機械的性質を調べるため、Table 5の条件で溶接した Fig. 7に示す

継手を対象に、同様な確性試験を行った。その結果は、Table 6, Fig. 8に示すとおりであり、構造上問題はない。

Table 7 Welding conditions for each weld pass

	Weld pass	Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)
A-specimen	1st	700	38	22
	2nd	"	"	"
	3rd	"	"	"
	4th	"	"	"
B-specimen	Leading arc	1 600	35	70
	Trailing arc	1 400	45	70

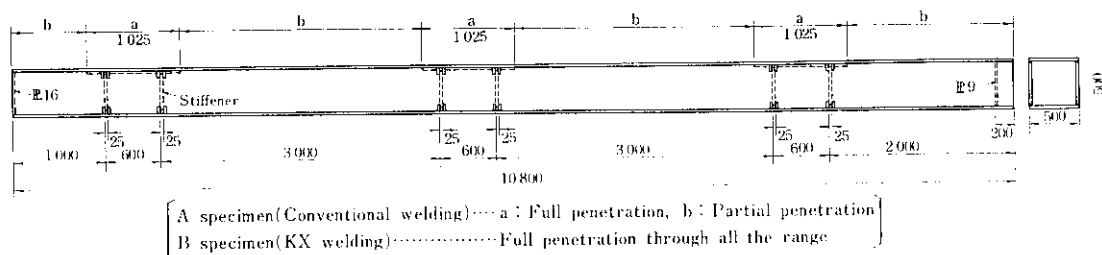


Fig. 9 Test specimens for conventional and KX welding processes

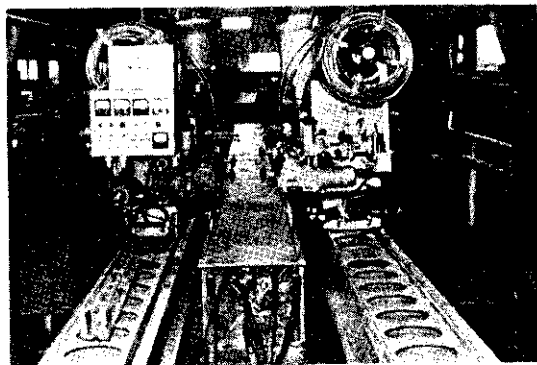


Photo. 3 Welding equipment for RIVER BOX W

試験体のサイズおよび鋼種 (SM50A) は、現在比較的多く用いられていると思われるものを採用した。

試験体はA, B試験体の2体である。A試験体は従来ファブリケーターが採用している製造方法によるもので、4隅のシーム溶接はサブマージアーク溶接多層盛りを用い、はりの取りつく部分は完全溶込みとし、それ以外の部分は板厚の $\frac{1}{2}$ 程度溶

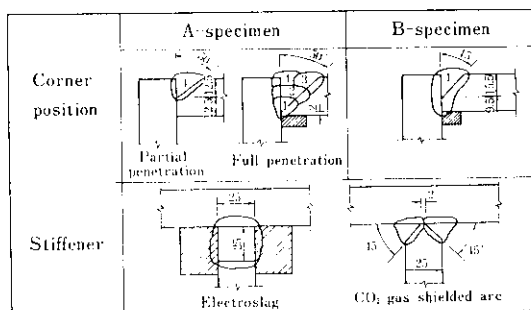


Fig. 10 Groove shape and welding method

込んだ部分溶込み溶接である。B試験体はKX溶接法を用い、全長にわたって完全溶込みとしたものである。両試験体とも溶接機2台を同時に走行させ並列溶接を行った。

4.1 溶接ワイヤの使用量

溶接ワイヤの使用量を実測した結果、在来法を用いたA試験体は66.4kgであったのに対し、B試験体では44.0kgと約 $\frac{2}{3}$ であった。この理由は、Fig. 10に示すように、KX溶接法の開先が在来

Table 8 Manhour needed for building-up box column

		Needed hours	Needed persons	Manhours	Remarks
Gas cutting		3.0	2	6.0	Include 20min for carrying work
Edge preparation		2.5	2	5.0	
U-shape assembly		7.0	2	14.0	Include 20min for carrying work
[]-shape assembly		6.0	1	6.0	"
Electroslag welding		4.0	2	8.0	"
Seam welding	Conventional	12.0	2	24.0	"
	KX	2.5	2	5.0	"

法よりルートフェイスが大きく、開先断面積が小さいため、KX 溶接法の材料消費量の少ないことがわかる。

4.2 加工工数の比較

Table 8 は角鋼管柱の製作工程ごとの所要時間を実測したものである。同表から、在来法ではシーム溶接に 12h、KX 溶接法では 2.5h を要し、KX 溶接法は在来法の 5 倍ぐらい能率がよいことがわかる。また、在来法ではシーム溶接工程が他工程の数倍の時間を要し、これを短縮することが生産性を高めるうえで不可欠であることが示されており、KX 溶接法がこの要求を満たす有効な手段となっている。

4.3 溶接による変形

溶接による変形、すなわち溶接前に対する溶接

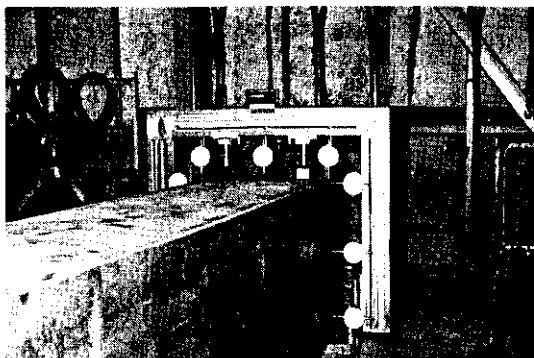


Photo. 4 A measuring instrument for weld deformation

後の寸法、角度の変化量を求め比較した。測定はダイヤルゲージを取り付けた治具を用い、大曲がり（長さ方向の曲がり）、断面変形、ねじれについて行った。Photo. 4 に測定状況を示す。

4.3.1 大曲がり

角鋼管を柱に用いる場合、大曲がりは最も問題となる変形である。Fig. 11 に両試験体の大曲が

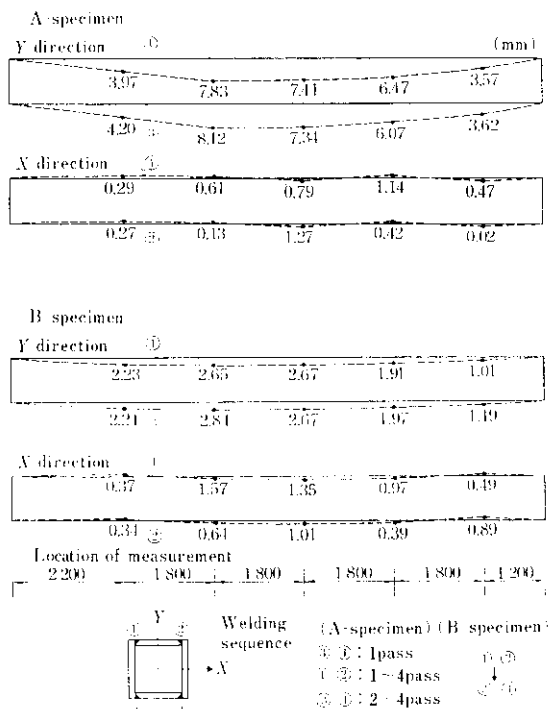


Fig. 11 Column camber caused by parallel welding

りを示す。Y方向の変形は、A試験体で平均7.67mmであるのに対し、B試験体では2.70mmとなっている。すなわち、KX溶接法を用いると、Y方向の変形を在来法の $\frac{1}{3}$ に低減することができる。この程度の大曲がり変形なら実用上矯正作業が不要である。変形の方法は最初に溶接した側（A試験体では③④側を最初に溶接したが、1パスだけなので、4パス溶接した①②側を最初に溶接した側とした）に凹状になった。X方向の変形は、並列溶接のため両試験体とも無視し得るほど小さい。

一般に、溶接変形には入熱量が大きく影響する。A、B両試験体を比較すると、全供給熱量はA試験体で $408.9 \times 10^6 \text{ Joule}$ 、Bでは $412.0 \times 10^6 \text{ Joule}$ とほとんど差はない。しかし、部分的な入熱量は大きく異なり（Table 9 参照）、A試験体の部分溶込み箇所は $72\,500 \text{ Joule/cm}$ 、完全溶込み箇所はその約4倍の $290\,000 \text{ Joule/cm}$ である。これに対し、B試験体は全長にわたって $95\,500 \text{ Joule/cm}$ とA試験体の部分溶込み箇所とほぼ同程度の入熱量である。したがって、在来法の変形が大きいのは、完全溶込み溶接による局所的な大入熱が原因であると考えられる。この点からも、KX溶接法はすぐれた溶接法であるといえる。

4.3.2 断面変形

Table 9 に入熱量と断面変形量を示す。同表によると、入熱量が大きいと変形量が増大し、特に角変形量は入熱量にはほぼ比例しており、A試験体の完全溶込み箇所はB試験体の約3倍の変形をおこしている。柱幅の収縮量は入熱量には比例しておらず、A試験体の部分溶込み箇所は他の箇所に比べ極端に小さい。これは、ルート部が溶融しないためメタルタッチとなって収縮を防止した結果と考えられる。

4.4 単独シーム溶接による変形

角鋼管柱を製作する場合、ねじれなどの矯正困難な変形をさけるため、溶接機2台を並列に同時走行させるのが通例である。しかし、その場合は大容量の受電設備が必要となり、工場によっては電力不足といった問題が生ずることが考えられる。そこで、溶接機1台によってシーム溶接部を順次溶接する単独溶接により角鋼管を製作する場合の変形量をもとめ、単独溶接法による製造可能性を検討した。試験体は Fig. 12 に示すC、Dの2体である。外径寸法、板厚はA、B試験体と同じく500mm、25mmである。材長は3.6mのものをを用いた。溶接順序はハンドリングを考えて、Cは並列溶接と同じように同一板面の溶接

Table 9 Heat input and deformation of cross section

	A-specimen (Conventional welding)		B-specimen (KX welding)
	Partial penetration part	Full penetration part	
Heat input (Joule/cm)	72 500	290 000	95 500
Shrinkage of flange width (mm)	0.309	2.260	0.920
Angular distortion of flange (rad)	1.10×10^{-3}	4.50×10^{-3}	1.60×10^{-3}
Welding deformation of cross section (mm)			

を順次すませていく方法を、Dは対角に溶接していく方式をとった。大曲がりの測定は、試験体板面の中央に長さ方向へ溶接前と溶接後に直線をひき、その差から求めた。Fig. 13 に大曲がりを示す。両試験体とも変形方向、大きさとも大差はないが、並列溶接とは異なり、X、Y両方向に同程度変形している。実測変形量をもとに、材長10.8m (B試験体と同長)の変形量に換算すれば、最も大きい場合でも1.8mmとなり、並列溶接を行ったB試験体の2.70mmより小さい。この理由は、並列溶接に比べ一時に与えられる入熱が半減していること、溶接が進むにつれて拘束力が漸次増大することなどが考えられる。なお、ねじれ変形についても測定したが、 10^{-4} radのオーダーで実用上問題のない値であった。このように、電力条件によって、止むを得ず1台走行する場合でも、製品精度の点で支障がないことがわかる。

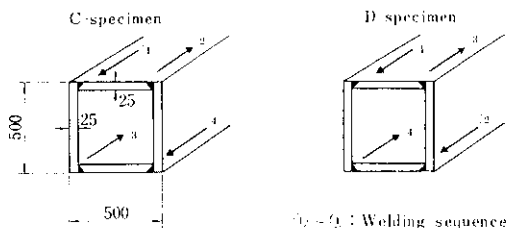


Fig. 12 Test specimen of non-parallel welding

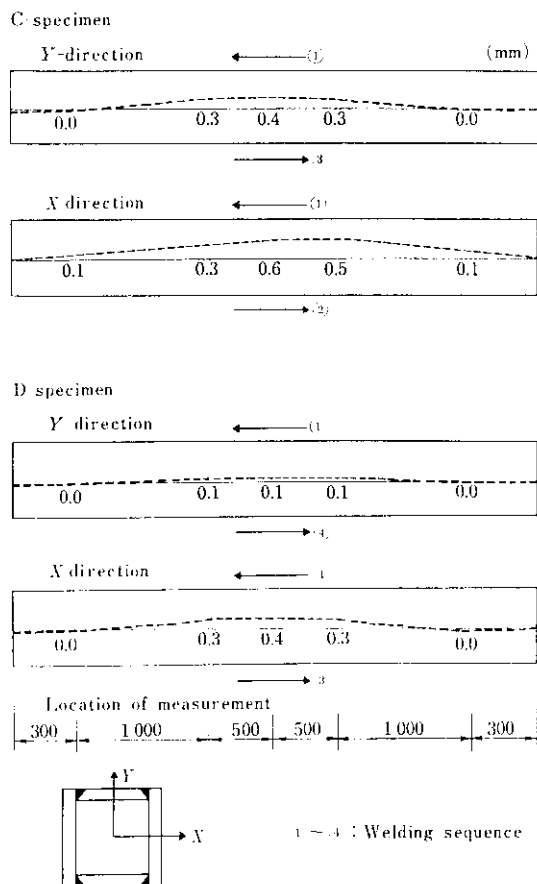


Fig. 13 Column camber caused by non-parallel welding

ば、最も大きい場合でも1.8mmとなり、並列溶接を行ったB試験体の2.70mmより小さい。この理由は、並列溶接に比べ一時に与えられる入熱が半減していること、溶接が進むにつれて拘束力が漸次増大することなどが考えられる。なお、ねじれ変形についても測定したが、 10^{-4} radのオーダーで実用上問題のない値であった。このように、電力条件によって、止むを得ず1台走行する場合でも、製品精度の点で支障がないことがわかる。

5. リバーボックスWの製造技術の確立

高能率を特長とするKX溶接法を実用化し、そのメリットを十分発揮させるためには、いくつか解決すべき課題があり、特に重要なのは次の2点であった。

(1) 裏あて金の取付け精度の不良により溶融金属の抜落ちが生ずる。その場合、補修は容易でない。

(2) 溶接終端では300mmにもおよぶ長いクレータが生ずるので、在来のエンドタブでは、加工、取付け工数および材料費が無視できなくなる。

そこでこれらを解決するため、裏あて金間隙の許容値を求め、これを満足させる裏あて金について検討するとともにエンドタブの簡略化の可能性について調べた。

5.1 裏あて金

5.1.1 裏あて金間隙の許容値

試験体は、裏あて金と母材鉛直プレートとの間隙 δ を0から2mmまで連続的に変化させたL形のもので (Fig. 14 参照)、板厚19, 25, 32mmの3種類を用いてKX溶接を行い、溶接金属の抜落ちを発生させたのち、その部分を切断し間隙 δ を実測した。

溶融金属の抜落ちを生じ始める間隙 δ は板厚19, 25, 32mmでそれぞれ2.1, 1.0, 1.8mmであった。板厚による差異は不明であるが、これまでの抜落ち発生例でもその最小値が1.2mmであったことを考慮し、間隙の許容値は1.0mmと決めた。Photo. 5 に抜落ち例を示す。

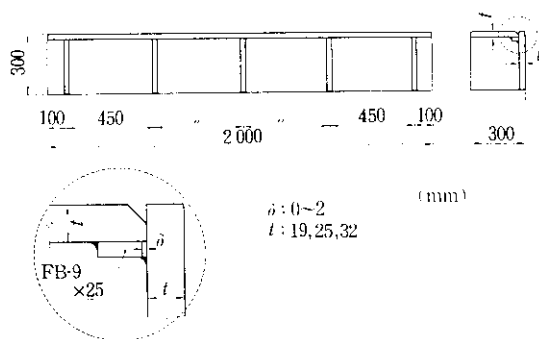


Fig. 14 Specimen for burn through test

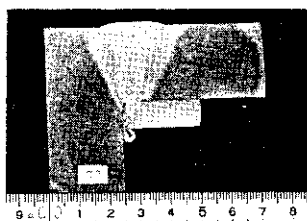


Photo. 5 A burn through of weld metal caused by an improper backing

5.1.2 裏あて金取付け精度の確保

平鋼は波打ち変形が大きく、かつ側面にアールが付いているため、裏あて金に長尺ものを使用する場合は、母材との間にかなり大きい間隙を生じてしまう。これを解決する方法として、平鋼を短かく切断して使用するか、平鋼に代えて角鋼を使用するかの2方法が考えられる。これを確認するため、角鋼管(外径300mm)に1.0mと3.0mの平鋼(9mm×25mm)または角鋼(16mm×16mm)の裏あて金を特別な治具を用いずハンマーとクサビで仮付けし、間隙をスキマゲージにて測定した。なお、仮付けは、長さ50mm、ピッチ350mmの断続すみ肉溶接で行った。Fig. 15に実測結果を示す。

裏あて金に角鋼を使用した場合は、最大でも0.55mmの間隙で、その材長に関係なく十分に間隙許容値1.0mm以下になっている。これは角鋼の剛性が平鋼に比べて低く、また、断面にふくらみ(アール)がないので、母材へのなじみがよくなるためである。一方、平鋼の場合、材長3.0m

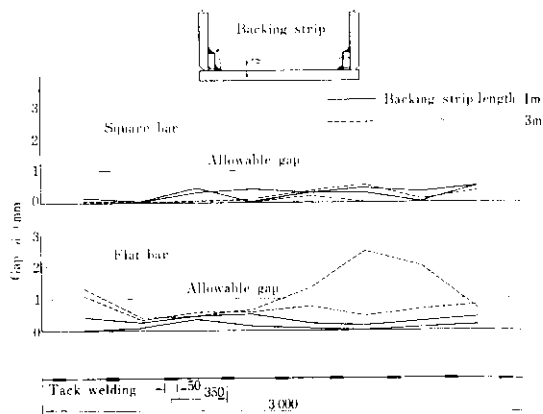


Fig. 15 Gap between backing strip and column flange

では許容値をはるかに越えた間隙を生じているが、材長1.0mでは許容間隙以下で、裏あて金として十分使用可能である。

5.2 エンドタブの簡略化

Fig. 16のように、溶接始端側のエンドタブおよび終端側のエンドタブ(以下エンドタブ(s)およびエンドタブ(e)と称する)について、母材と同厚(25mmと40mm)の1枚板で開先加工を施さないものと、アークエアガウジング加工で母材

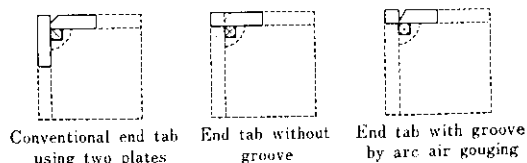
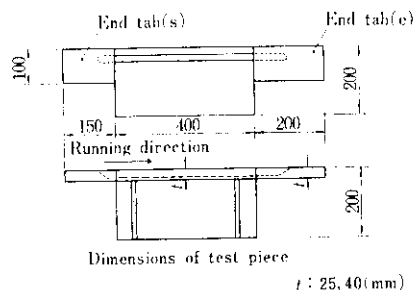


Fig. 16 Specimen used for welding test of end tab

側の開先深さだけ溝を掘ったものの2種類を用いて実験した。溶接開始時の操作は、走行前の先行電極のみによるアーク時間と走行開始位置を、また、終了時の操作は、走行停止前の減速量と停止位置および停止後の後行電極のみによるアーク時間を種々組合せて行った。

5.2.1 エンドタブ(s)

溶接開始時の先行電極位置および溶接機操作方法と溶接完了後の母材側始端部の0 mm および5 mm 位置のビード外観および断面マクロ観測結果を Table 10 に示す。

エンドタブ(s)に開先のない鋼板を用いる場合、板厚 25mm では走行開始前に先行電極のアーク時間を増すことによって溶込みを確保することができるが、表面のビード幅が広がり一般部のそれとはアンバランスを生じるとともに、ビード内部にはスラグの巻込みが発生する。また、板厚 40mm では、ビード内部に欠陥は発生しないが、今回の操作程度では溶込みを確保することが困難である。

他方、アークエアガウジングを施した場合は、板厚25, 40mmとも同様な傾向を示している。すなわち、先行電極を母材端より20mm以下の位置にセットして溶接を開始すると、溶込み不良を生じ、また、走行前2 sec間の先行電極のアークはビード幅を広げ外観を悪くするが、30mm以上の位置で走行を開始すれば、母材側始端部のビード内外観および溶込みともほぼ満足すべき溶接部が得られる。ただ板厚40mmの一部の結果では、スラグの巻込みや内部に欠陥発生のおそれのあるビード断面形状を呈しているものがあつた。これは25mmの場合に比べて、ガウジングが狭い角度でしかも深くなるため、加工の不正確さや、その清掃の難しさからスラグが内部に残るためと考えられる。板厚が増せばガウジング作業にも相応の注意が必要である。なお、母材側始端部の溶込みの確実度を増すためには、ガウジングによる深さを母材側開先深さより、若干大きくした方がよい。

5.2.2 エンドタブ(e)

溶接終了時の後行電極位置および溶接機操作方

法と、母材側終端部のビード外観および断面マクロ観察結果を Table 11 に示す。

エンドタブ(e)に開先のない鋼板を用いる場合、25, 40mmとも母材終端部にビードの乱れ、融合不良、スラグの巻込みなどが生じる。これらの欠陥は、母材終端部まで走行した時、先行電極のワイヤが開先のないエンドタブ(e)に突き当たり短絡現象を起こすために発生するもので、溶接機のみでは解決できない問題である。

他方、アークエアガウジングしたエンドタブ(e)の場合には、開先形状を連続させているため、開先のないエンドタブを用いた場合のような欠陥は発生しないが、通常の機械操作で溶接を終了させると、溶融金属量の不足から、余盛不足と300mmにもおよぶ長いクレータを生じた。しかし、溶接終了前に後行電極が母材終端部を通過後、走行速度を2~3割低減し、かつ走行停止後、後行電極のアークをしばらく継続するという特別な操作を行い溶融金属の供給に努めれば、ビードの余盛の確保とクレータ長の150mm程度までの短縮ができることがわかった。

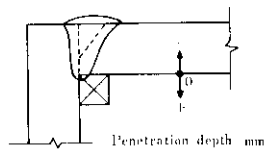
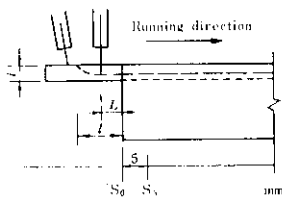
6. ま と め

本研究の結果を要約すれば次のとおりである。

- (1) KX 溶接法を角鋼管柱の4隅シーム溶接部に適用すれば、板厚16~40mmまでを片側一層で完全溶込み溶接することができる。
- (2) 在来製造法に比べ、溶接ワイヤの消費量は約 $\frac{1}{2}$ 、溶接時間は約 $\frac{1}{2}$ 、溶接による変形は約 $\frac{1}{2}$ 以下に減少する。
- (3) KX 溶接部は良好な機械的性質を有する。また、内部スチフナのエレクトロスラグ溶接との重なり部にも劣化は認められない。
- (4) 溶接機1台で単独シーム溶接を行った角鋼管柱の大曲がりには、並列溶接の場合の約70%程度である。
- (5) ねじれ変形は、単独溶接、並列溶接ともに 10^{-4} radのオーダーであり実用上問題はない。
- (6) KX 溶接部の裏あて金の許容間隙量は1 mmであり、角鋼使用により十分この値を確保できる。なお、平鋼の使用は、材長が1.0m以内で

Table 10 Welding test results of end tab (s)

Thickness t (mm)	Gouging length (mm)	Operation at welding start	Penetration depth (mm)		Defects in bead sections		Bead width (mm)		Judgment
			S_0	S_5	S_0	S_5	S_0	Regular	
25	0	S-0-0	-4	-2.5	●	○	32	27	×
	0	S-3-0	2	1	○	○	37	26	×
	0	S-5-0	8	7	●×	×	40	27	×
40	0	S-0-0	-10	-8	○	○	43	35	×
	0	S-3-0	-9	-7	○	○	45	30	×
	0	S-5-0	-7	-6	○	○	45	30	×
25	50	S-2-0	-2	-4	○	○	30	25	×
	50	S-2-10	-3	-3	○	○	30	23	×
	50	S-2-20	-3	-3	○	○	35	27	×
	50	S-0-30	1	0	○	○	28	23	○
	50	S-0-30	2	0	○	○	25	25	○
	50	S-0-30	2	2	○	○	25	25	○
	50	S-0-40	1	1	○	○	26	25	○
40	50	S-2-0	-2	-2	○	○	40	40	×
	50	S-2-10	-2	0	○	○	43	35	×
	50	S-2-20	1	3	○	○	45	37	×
	50	S-2-40	4	3	○	○	40	33	×
	50	S-0-30	3	2	○	○	40	35	○
	50	S-0-30	3	1	○	○	37	35	○
	50	S-0-30	1	1	●	○	30	30	×



Operation and condition at welding start

S-T-L

S: Welding start side

T: Arc-time of leading electrode before running start (sec)

L: Leading electrode position at welding start (mm)

l: Gouging length (mm)

Defects in bead sections

○: No defect

×: Hot crack

△: Lack of fusion

●: Slag inclusion

Welding speed

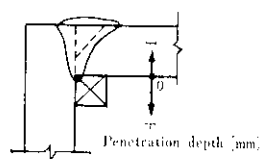
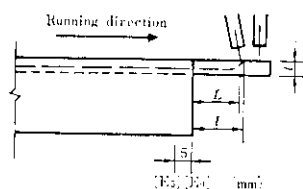
70cm/min ($t=25$ mm)40cm/min ($t=40$ mm)

Table 11 Welding test results of end tab (e)

Thickness t (mm)	Gouging length (mm)	Operation on welding finish	Penetration depth (mm)		Defects in bead section		Bead width (mm)		Crater length (mm)	Judgment
	l	E-R-S-T-L	E_s	E_0	E_s	E_0	E_0	Regular		
25	0	E-0-0-100	3	0	△	△	31	27	310	×
	0	E-0-3-100	4	3	○	△	31	26	290	×
	0	E-0-5-100	3	0	●△	●	32	27	260	×
40	0	E-0-0-100	2	-1	○	△	43	35	320	×
	0	E-0-3-100	2	0	○	○	40	30	280	×
	0	E-0-5-100	0	-5	○	●△	43	30	250	×
25	50	E-0-0-50	1	2	○	○	23	25	290	×
	70	E-0-0-70	1	2	○	○	23	27	280	×
	100	E-30*-0-100	1	2	○	○	33	23	160	×
	100	E-20*-5-100	4	5	○	○	29	25	170	○
	100	E-20**-10-100	2	3	○	○	29	25	120	○
	100	E-20**-0-120	3	4	○	○	26	25	170	×
	100	E-20**-5-120	0	0	○	○	25	25	140	○
40	50	E-0-0-50	1	5	○	○	32	32	260	×
	70	E-0-0-70	3	7	○	○	30	32	220	○
	100	E-7*-0-100	1	1	○	○	45	40	240	×
	100	E-7*-10-100	0	1	○	○	40	35	150	×
	100	E-7*-10-100	3	4	○	○	45	33	100	×
	100	E-10**-5-100	3	3	○	○	35	35	150	○
	100	E-10**-7-100	4	6	○	○	30	30	150	○

* : Trailing electrode

** : Leading electrode



Operation and condition at welding finish

E-R-S-T-L

E: Welding finish side

R-S: Reduction of welding speed at end tab (cm/min)

T: Arc-time of trailing electrode after running finish (sec)

L: Trailing electrode position at welding finish (mm)

l: Gouging length (mm)

Defects in bead section

○: No defect

×: Hot crack

△: Lack of fusion

●: Slag inclusion

Welding speed

70cm/min ($t=25$ mm)40cm/min ($t=40$ mm)

あればさしつかえない。

- (7) エンドタブは母材と同厚の鋼板にアークエア
ガウジングを施したものでよい。なお、クレー
タ長は溶接機操作により300mm程度を150mm
ぐらいまでに短かくすることができる。

なお、本報告のうちエレクトロスラグ溶接と手

溶接および炭酸ガス半自動の重なり部の機械的性
質に関する実験は、リバーsteel(株)に担当
していただいた。また、製造実験は川崎重工業
(株)野田工場のご協力をいただいた。機械的性
質に関する実験に対しご助言をいただいた早稲田
大学鶴田明名誉教授に深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 荻野, 山口, 滝沢, 川島, 西村: 角鋼管柱とH形鋼はりを用いた接合部の性状に関する実験的研究(その1
基礎実験)(その2実大実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, (1972), (1973)
- 2) 山口, 滝沢, 川島, 西村: 角鋼管柱とH形鋼はりを用いた接合部の性状に関する実験的研究, 川崎製鉄技報,
5 (1973) 1, 43
- 3) 赤秀, 阿草: 溶接学会全国大会講演概要第10集, (1972), 133
- 4) 斉藤, 赤秀, 藤井, 松山: 溶接学会全国大会講演概要第8集, (1971), 41