

鋼橋技術研究会  
示方書研究部会  
施工基準研究分科会

昭和61年度研究成果  
報告書

昭和62年3月

# 1. 仮付け溶接長の再検討について（中間報告）

## 1. まえがき

本分科会では、「道示第15章：施工」について日頃感じている疑問点、問題点を持ち寄り、項目別に分類整理して、その中からテーマを数点選定し検討を行なっている。

とくに「道示15.3.3.(6)仮付け溶接」については、“現行の仮付け溶接長に対する規制は本当に必要か、主要部材と二次部材に区別して規制できないか”という意見が多数の委員から出されたこともあり、“仮付け溶接の長さ”をテーマの一つとして選定した。

S60年度までの検討の経緯をまとめると次のとおりである。

### 1) 道示の変遷調査

道示S39：本溶接部の一部となる仮付け溶接は、最小限度にとどめ、とくに欠陥のない溶接でなければならない。仮付け溶接の最小長は40mm以上とする。

道示S48：仮付け溶接の長さは80mm以上とし、すみ肉（または換算）脚長は4mm以上とする。

道示S55：同上

### 2) 他基準調査

JRS：組立用溶接は、原則として長さ80mm以上とし、本溶接と同様の方法を適用し、本溶接箇所施工する。なお、組立用溶接のサイズは4mm以上とし、その間隔は400mm以下とする。

本四基準：仮付け溶接の長さは80mm以上、サイズは4mm以上、間隔400mm以下とする。

HT80等の仮付け溶接は長さ100mm以上、サイズ5mm以上、間隔300mmを標準とする。

水鉄基準：仮付け溶接は30mm以上の長さとし300mm程度の間隔に行なうことが多い。但し自動溶接の場合あるいは高張力鋼の場合には低水素系の溶接棒を使用し、50mm以上の長さをとるべきである。

BS 5135：The length of the tack weld shall not be less than four times the thickness of the thicker part or 50mm whichever is the smaller

### 3) 道示現行規定の根拠調査

解説に“仮付け溶接の長さを80mm以上としたのは、最近の研究で50キロ級高張力鋼のT継手にショートビートのすみ肉溶接を行った場合、ルートからボンドに沿ってわれの発生しやすいことが明らかにされたためである。この研究によれば、室温でもビード長がほぼ80mmになると割れの発生が止まり、また、約120℃以上の予熱でも同様な効果が認められる。一般に橋梁の組立段階では120℃以上の予熱がかなり困難である事情を考慮して、仮付け溶接のビード長を80mm以上とした。”とあるが、この根拠となったのはヒール・クラックに関する研究と思われる。1) 2) 3)

### 4) ヒール・クラックについて

高張力鋼に不適切な溶接を行うと、溶接部に種々の形状をもつ割れが生ずることがある。溶接割れの形態と名称は一般に表1のように分類される。<sup>4)</sup>

ヒール・クラックは仮付溶接のような溶接長の短い初層すみ肉溶接部に発生しやすい割れとして知られている。割れはT継手の初層すみ肉溶接において、フランジ側(下板)のルート部より発生し、ボンドのごく近傍のHAZ部に沿ってビードを剥離するように進展する。すみ肉溶接部を足に例えると“かかと(heel)”に相当しているため、このように名付けられている。

ヒール・クラックは低温割れの一つであり、その発生時期は100℃以下であることが知られている。従って発生因としては、

- ① 溶接熱影響部(HAZ)の硬化組織
- ② 溶接部に作用する応力
- ③ 溶接部に溶込む水素

が関与する。

ヒール・クラックは従来の割れ試験では再現が困難であったことから、図1に示すような非拘束T型すみ肉試験体(ヒール・クラック試験体)が開発され、この試験方法により割れ感受性は評価されてきた。

この試験体による力学的な観点からのヒール・クラックの発生メカニズムは、簡単には、全く拘束されていない状態での、溶接中の熱膨張、収縮過程における立板の“くいちがい”理論から説明される。

例えば、立板が20mm以上ではヒール・クラックが発生しないことが知られて

おり、従って標準試験片では立板の板厚を12mmとしている。これは、板厚が薄いと溶接による高温度域が立板の裏面にまで達するために垂直方向や溶接長方向のくいちがい量が増えるため割れやすくなると説明されている。

さらに、初層すみ肉溶接における残留応力と割れの形態について、熱弾塑性解析により詳細に検討された研究<sup>5)</sup>においても、表2に示すように、拘束がゆるい場合(MODEL : T-F)はヒール・クラックあるいはフランジ側(下板)のトゥ・クラック、アンダービード・クラックが起りやすいことを明らかとしている。

なお、この表における MODEL : B-1 は、MODEL : T-Fにあらかじめ反対側に拘束ビードを置いてすみ肉溶接する場合に近い拘束条件であり、発生する割れはウェブ側(立板)ルート・クラック、あるいはフランジ側(下板)のトゥ・クラック、アンダー・クラックが起りやすいとされている。

ところで、本分科会の主眼である、仮付溶接長と割れ発生傾向との関係については、ヒール・クラック試験体での標準条件による結果は、図2に示すように、ビード長さ 80mm以上で割れなくなるとされている。また、この試験は試験体を-25℃に予冷して溶接した、厳しい条件による結果であった。明らかに、道示現行規定はこの 80mm以上という数値が採用されているようである。

なお、溶接長が長くなれば割れなくなるのは、溶接部の冷却時間がとくに低温度域にて長くなり、水素拡散に有効に作用したためと考えられている。

しかしながら、ヒール・クラック試験体での評価は非拘束状態にて割れやすくして試験していることもあり、やや厳しい、安全側の数値となっていると思われる。

## 5) 今後の課題

現行規定“仮付け溶接の長さ80mm以上”は道示S48から採用されており、JRS、本四基準も同じ考え方であるが、水鉄基準、BSのように短かめの規定もある。また、現行規定の根拠となった研究が行われてから既に15年が経過しており、この間に鋼材、溶接材料等の品質向上が考えられること、上記研究が橋梁の仮付け溶接を念願においたものでないことなどから、現状にそった形で再度実験を行ない、現行規定の妥当性を検討することにしたい。

以上の結果を踏まえ、S61年度は溶接割れ発生におよぼす仮付溶接長の影響の把握を主眼とし、鋼材の炭素当量、板厚、試験体の拘束方法、ギャップ、溶接方法、溶接条件(脚長)、気温などを因子として検討した。

最後に、本研究の実施に当り、2年間にわたり御援助頂いた(社団法人)日本橋梁建設協会に心からの謝意を表する。

## 2. 試験内容

試験内容を一括して表3に示す。

### 1) 鋼材の炭素当量の影響

鋼材のグレード(強度レベル)としては、一般的な50キロ級高張力鋼とし、炭素当量(Ceq: WE S)を3レベル— 目標: 0.43, 0.40, 0.36% — とした。

Ceq = 0.36%の鋼材は新制御圧延(TMCP: Thermo-Mechanically Controlled Process)鋼であり、最近適用されるすう勢にあるので検討対象とした。

### 2) 板厚の影響

従来のヒール・クラック試験における板厚の影響に関しては、下板は板厚14mm以上で割れやすく、18mm以上ではほぼ一定の割れ感受性を示すとされている。また、立板は前述のように板厚20mm以上では割れず、薄板(標準試験体は12mm)の方が割れやすいとされている。

なお、拘束型試験体では、割れ発生のメカニズムが相違するため、立板板厚は厚い方が割れやすいことも、明らかとされている。

本報ではこのような従来の結果も参考とし、また橋梁での現実的な組み合わせも考慮し、フランジとウェブの溶接を想定した 36mm(下板)×9mm(立板)の組み合わせを主体に、ウェブとステイフナー、ウェブとラテラルガセットなどの溶接を想定した12mm(下板)×12mm(立板)の組み合わせも一部実施した。

### 3) 仮付溶接長の影響

現規定 80mmとの比較を考え、他の規定で多い 50mm、さらに 30mmも加え、この 3レベルを主体とした。また一部 100mm、10mmも実施した。

### 4) 試験体拘束方法の影響

現規定 80mmの根拠は、木原らの非拘束型のヒール・クラック試験の結果にあると考えられるので、この試験方法を主体に検討した。

しかし、実構造物では必ずしもヒール・クラック試験体のような角変形が自由に起こる非拘束状態は考え難いので、一部拘束型の試験も実施した。この場合の拘束は現実的な状態に近いと考えられる試験ビードの裏側に事前に拘束ビードを置いた。

### 5) 試験体のギャップの影響

ヒール・クラック試験の従来の結果ではフランジとウェブのギャップが0.6mm～1.0mmの場合に割れやすいことより、標準試験体では 0.6mmとされている。ここでは道示の最大許容量である 1.0mmを主体とした。また一部0.6mmも実施した。

### 6) 脚長の影響

標準ヒール・クラック試験では、脚長は 6mm(入熱17kJ/cm)であるが、道示では 4mm以上と規定されているので 4mmを主体とし、一部 6mmも実施した。

### 7) 溶接方法の影響

低水素系の被覆アーク溶接(SMAW)を主体に、一部CO<sub>2</sub>溶接も実施した。

### 8) 環境条件

気温 15～25℃(目標 20℃)を主体に、一部冬期の気温の低下も考え 5～8℃(目標 5℃)も実施した。なお、湿度は管理が困難であり、35～75%程度の広い範囲を許容して実施した。

### 3. 試験方法

#### 3.1 供試鋼材

供試鋼材の化学成分および割れ試験の組合せを表4に示す。分析値はミルシートからのレードル値と、改めて試験体から切り出して分析したチェック値の両方を示しているが、チェック値にてデータ整理をはかっている。また、割れ試験の組合せは、各試験体についてフランジとウェブの炭素当量(Ceq: WES式)をほぼ揃えている。

Ceq レベルについては、割れ試験の担当会社A, B, C, D, I, Jは0.42-0.44%, G, Sは0.40%, そしてE, Fは0.36%である。なお、当初C, Dは目標Ceqを0.40%として選定したが、チェック値が0.42%と高く、高Ceqレベルのグループに入れてデータ整理することとした。

各鋼材の機械的性質を表5に示す。

#### 3.2 割れ試験方法

試験体形状を図3に示す。非拘束型(拘束なし)と拘束型(試験ビードの裏側に事前に拘束ビードを置く)の2種類の試験体としている。

非拘束型はいわゆるヒール・クラック試験方法に準じた試験体である。

試験体の組立てについては、ギャップ量を一定に設定することが重要であり、図4に示すようにウェブの端面を機械加工して組立精度を保持するようにした。

なお、試験溶接部近傍は組立て前に軽くグラウンド処理してプライマを除去した。

#### 3.3 溶接方法

溶接方法は低水素系溶接棒による被覆アーク溶接(SMAW)を主体に一部CO<sub>2</sub>溶接も実施した。

SMAWの場合、溶接棒は試験溶接前に350℃×1時間の乾燥を行なった。拡散性水素量のレベルは溶材メーカーデータによると約3-4cc/100gであった。

溶接条件を表6に示す。SMAWについては脚長を4mm主体に一部6mmも実施した。

### 3.4 割れの検査方法

各試験条件について4体繰り返し試験し、1体は割れの性状を調べるためにマクロ試片を切り出し、3体は標準ヒール・クラック試験でも適用されているのと同じく、ビードをルート部から破断して割れ長さを求めた。

各条件の割れ感受性を精度良く検査するには破断面の割れ長さを計測することが割れを見逃さない点で間違いないと考えられるので、割れ感受性としてはこの3体の平均割れ率を次式で示した。

$$\frac{(\text{各試験体の割れ長さの和})}{(\text{試験溶接長}) \times 3} \times 100 (\%)$$

マクロ試験片の採取位置と加工手順を図5及び図6に示し、破面試験片の加工手順を図7に示す。

### 3.5 硬さ試験

各マクロ試験片の溶接線中央部の試片に対して、溶接部の硬さ分布を図8に示す要領にて計測した。

写真1～8には、試験の概要、破面、マクロ断面の典型例を示した。

## 4. 試験結果と考察

試験結果の一覧を、非拘束型と拘束型試験体に分けて表7および表8に示す

### 4.1 割れの性状

非拘束型および拘束型試験体のいずれも $C_{eq} \geq 0.42\%$ にて割れが発生している。割れの典型例を写真9および写真10に示す。非拘束型試験体のSMAWでは従来から言われているヒール・クラックが発生しているが、拘束型のSMAWでは、微小なルート・クラック(ウェブ側)が発生している。

また、非拘束型試験体の $CO_2$ 溶接では、写真11に示すように割れはヒール・クラックではなく、微小なルート・クラック(ウェブ側)が発生している。



## 4.2 割れ発生におよぼす各種要因の影響

### (1) SMAWにおける $C_{eq}$ 、ギャップの影響

非拘束型試験体での $C_{eq}$ 、ギャップの影響を図9に示す。 $C_{eq} \geq 0.42\%$ にてヒール・クラックが発生しており、仮付長が長くなると、従来言われているとおり、平均割れ率は低くなる。またギャップの影響は仮付長の短い50mm以下では0.6mmと1.0mmの差はなく、80mmでは0.6mmの方が1.0mmよりやや割れ率は高いが、全般的には差がほとんどないと考えて良さそうである。

しかし、割れ発生の有無に関して言えば、今回の試験では溶接長100mmでも割れは発生しており、今回のヒール・クラック試験の条件は厳しかったといえる。

### (2) SMAWにおける脚長の影響

さらに脚長の影響を図10に示す。脚長4mmの方が6mmより割れ率が高い傾向を示すが、仮付長80mm以上では差は小さい。

### (3) SMAWにおける拘束状態の影響

次に、拘束型試験体での割れ感受性を非拘束型試験体と比較して図11に示す。拘束型試験体の場合も $C_{eq} \geq 0.42\%$ にて割れが発生するが、割れの発生位置は写真9にも示したようにルート部のウェブ側HAZであり、また割れの大きさも微小である。

尚、仮付溶接長との関係も認められない。

非拘束型試験体との割れ発生位置の相違は、すでに知られているように、<sup>5)</sup>角変形が拘束されることにより残留塑性ひずみ量がウェブ側ルート部の方がフランジ側ルート部より大きいためと考えられる。

### (4) SMAWにおける環境温度の影響

非拘束型試験体に対して、気温が低下した場合の影響を検討した。気温が20℃と5~8℃の比較を図12に示す。いずれの気温でも $C_{eq} \geq 0.42\%$ で割れは発生するが、ほぼ同じ割れ感受性を示しており、5℃程度までの気温の低下に対しては割れ発生に対する影響はない。

## (5) CO<sub>2</sub>溶接の効果

CO<sub>2</sub>溶接は極低水素量の溶接法であり、低温割れ感受性はかなり低いことが期待される。そこで、CO<sub>2</sub>溶接の効果を検討するため、非拘束型試験体を用いて、ギャップを0.6と1.0mmに変化して試験した。結果を図13に示す。ギャップ0.6mmではCeq $\geq$ 0.42%でも割れは発生しないが、ギャップ1.0mmになると割れが発生している。また仮付溶接長に関係ないようである。しかし、割れの大きさは、写真11に示したようにウェブ側HAZへの微小な割れに過ぎない。

尚、SMAWとの割れ発生位置が相違する理由は、図14に示すように、ルート部の溶込み形状がCO<sub>2</sub>溶接の場合は、SMAWと相違しており、割れ発生に関与するウェブ側ルート部の切欠き形状がCO<sub>2</sub>溶接の方がSMAWの場合よりも鋭いためと考えられる。

### 4.3 溶接部冷却速度の影響

一部の試験条件(SMAW, 脚長4mm)に対して、溶接部の冷却速度を計測した。測定方法は溶接中に溶融池にサーモカップルを挿入してペンレコーダーにて自動記録した。結果を表9に示す。

溶接部の硬化(Max. HAZ硬さ)と良く対応する800~500℃の冷却時間( $\Delta t_{8/5}$ )は、仮付溶接長30~80mmの範囲では2.2~3.2sであり、この冷却時間はかなり短いと言える。この $\Delta t_{8/5}$ の範囲での冷却速度の差ではHAZの硬化組織に差をもたらすことはないと考えられる。

### 4.4 溶接部硬さの影響

溶接部の硬さ試験の結果として、フランジおよびウェブのMax. HAZ硬さを代表的な条件について図15に示し、結果を一括して表10に示す。

HAZ最高硬さとCeqの関係は、脚長4mmの場合、Ceq=0.42%でHv=350~440, Ceq=0.40%でHv=340~350, そしてCeq=0.36%でHv=290~350となっている。

フランジ側のHAZ最高硬さはSMAWの場合のヒール・クラックの感受性と対応していると考えられる。即ち低温割れに特有の、硬化すると割れやすくなるという傾向を示し、今回の試験ではHv $\geq$ 350にて割れが発生している。通常、低温割れと硬さの関係については、Hv $\geq$ 400にて割れやすくなるとされており<sup>6)</sup>、この点今回実施した非拘束型試験体はかなり厳しい状態にて割れを再現していた

と考えることができる。

次に、HAZ最高硬さと仮付溶接長の関係を図16に示す。仮付溶接長に関係なく、 $C_{eq}$ 量で層別される一定の硬さを示すが、これは今回の溶接条件がかなり厳しい(速い)冷却速度( $\Delta t/5$ )であったため、HAZ組織はいずれの溶接長の場合も完全な硬化組織となっていたからと思われる。参考のため、JISに規定される最高硬さ試験による溶接長の影響を図17に示すがほぼ同様な傾向を示している。6)

但し、図16においてSMAWの場合、脚長4mmと6mmを比較すると6mmの方が低い硬化性を示しており、これが6mmの方が4mmより割れにくい理由の一つと考えることができる。

さらに、鋼材の $C_{eq}$ と硬さの関係を図18に示す。この図には併せて、従来データ<sup>1)</sup>も示した。ヒール・クラック30%以上を割れ感受性が大きいと考えると、 $C_{eq} \geq 0.42\%$ で割れやすく、従来データとも一致している。

但し、脚長4mmと6mmでは許容硬さが相違しており、脚長4mmでは $Hv \geq 360$ 、6mmでは $Hv \geq 380$ で割れやすくなるようである。

また、 $CO_2$ 溶接の場合、 $Hv > 400$ であってもヒール・クラックは発生しておらず、極低水素溶接法の効果を示されている。尚、 $CO_2$ 溶接において一部ウェブ側に微小な割れが認められたが、この部分のHAZ最高硬さは280~340と低く、硬化性とは一義的に関係しない、応力集中によるひずみ量に関係する割れと考えられる。

## 5. 結果のまとめ

橋梁の仮付け溶接において一般的な50キロ級高張力鋼部材として、ウェブとフランジのすみ肉溶接を対象とし、溶接割れにおよぼす仮付長の影響を検討するため、鋼材の炭素当量、板厚、試験体の拘束方法、ギャップ、脚長、溶接方法、環境温度などを因子として割れ試験を実施した。

### 5.1 SMAWによる仮付溶接の場合

非拘束型、拘束型試験体ともに、 $C_{eq} \geq 0.42\%$ にて割れの発生することがある。 $C_{eq} \leq 0.40\%$ では割れは発生せず、 $C_{eq}$ の影響が大きい。但し今回の実験では、 $C_{eq} = 0.40\%$ の試験板厚(フランジ)は12mm(他は36mm)と薄く、厚板での確認を要する。 $C_{eq} \geq 0.42\%$ の場合、非拘束型試験体では発生する割れは従来から言われているとおり、ヒール・クラックである。この場合仮付長が長くなると割れ感受性が低下する。とくに80mm以上の感受性が低いが、割れ発生の有無に関して言えば100mmでも一部割れが発生している。

ギャップ(0.6と1.0mmの比較)の影響はほとんどなく、脚長(4と6mmの比較)の影響は、6mmの方が割れ感受性は低い。また気温(20と5℃の比較)の影響はなく、5℃程度まで気温が低下しても割れ感受性に変化はない。

拘束型試験体では、発生する割れはヒール・クラックではなく、ルート部のウェブ側HAZであり、割れも微小である(1mm未満の深さ)。また、仮付長に関係ないようであった。

### 5.2 CO<sub>2</sub>溶接による仮付溶接の場合

非拘束試験体でギャップが1.0mmの場合、 $C_{eq} \geq 0.42\%$ にて、ルート部ウェブ側HAZに微小な割れ(1mm未満の深さ)が認められた。また仮付け溶接長に関係ないようであった。ギャップを0.6mmにすると割れは全く発生しておらず、CO<sub>2</sub>溶接法は割れ防止に効果的と考えられる。

### 5.3 適正仮付溶接長の提案

以上の S 6 1 年度の試験の結果から、ヒール・クラック試験の結果を前提とすると、仮付溶接長について次の提案はできると考えられる。

- ① 厚い方の板厚で12mmまでの継手の仮付溶接長 $\geq 50$ mm
- ② 鋼材の炭素当量 $\leq 0.38\%$ の仮付溶接長 $\geq 30$ mm
- ③ その他は現行通り

## 6. 今後の課題

### 6.1 試験方法の妥当性

非拘束型(ヒール・クラック)及び拘束型試験体では、割れの発生傾向が相違し、まだ十分な検討はしていないがヒール・クラック試験体のみでの評価では仮付長の制限に対する妥当な結論は引き出しにくいと考えられた。

すなわち、道示 S 4 8 年の改訂はあまり適切といえないデータに基づいて行なわれたものといえる。

したがって、実際の橋梁での拘束状態も勘案した試験体により検討する必要がある。

### 6.2 割れ感受性に及ぼす影響因子

鋼材材質(Ceq), HAZ最高硬さ, 溶接条件, 仮付長さ, 冷却時間などと割れ感受性との関係をより明確にするため不足データの蒐集が必要と思われる。

## 参考文献

- 1) 木原 ほか, “50kg/mm<sup>2</sup>級高張力鋼隅肉溶接部の割れについて - ヒール・クラックについて - ” 溶接学会誌, 第39巻(1970) 第3号 PP.156-166
- 2) 田中 ほか, “隅肉溶接割れに関する研究 - ヒール・クラックについて - ” 溶接学会誌, 第4巻(1972) 第8号 PP.915-924
- 3) 北田, “非調質鋼の溶接割れとその割れ防止のための鋼材および溶接施工条件の選定に関する研究”, 学位論文(大阪大学), 1980
- 4) 稲垣 ほか, “高張力鋼溶接の実際”, 日本溶接協会 監修, <溶接の実際シリーズ> 4, 1984
- 5) 上田 ほか, “初層隅肉溶接における残留応力と割れの形態について”, 溶接学会誌, 第44巻(1975) 第3号 PP.250-257
- 6) 日本造船研究協会 第193研究部会 “新製造法による50キロ級高張力鋼の有効利用に関する研究 - 総合報告書 - ”  
I S S N 0546-1480 日本造船研究協会報告第100号 S 60.5

表1 溶接割れの種類と形状 4)

| 分類    | 名称               | 割れ位置        | 割れの形状例 |
|-------|------------------|-------------|--------|
| 低温割れ  | ルート割れ            | HAZ<br>WM   |        |
|       | 止端割れ             | HAZ         |        |
|       | 縦割れ              | WM          |        |
|       | 横割れ              | WM<br>(HAZ) |        |
|       | ヒールクラック          | HAZ         |        |
|       | ラメラテア            | HAZ         |        |
| 高温度割れ | 梨の実形割れ<br>(凝固割れ) | WM          |        |
|       | マイクロ割れ           | HAZ<br>WM   |        |
|       | クレータ割れ           | WM          |        |

(注) HAZ : 溶接熱影響部, WM : 溶接金属

表2 初層すみ肉溶接における拘束状態と割れの発生位置 5)

| Degree of Restraint        | MODEL | Flange           |              | Web              |              |
|----------------------------|-------|------------------|--------------|------------------|--------------|
|                            |       | Toe or Underbead | Root or Heel | Toe or Underbead | Root or Heel |
| Large<br>↓<br>(Horizontal) | B-0   | ○                | ×            | ×                | ○            |
|                            | B-1   | ○                | ×            | ×                | ○            |
|                            | B-10  | ○                | ×            | ○                | ×            |
| Small<br>↓                 | T-F   | ○                | ○            | ×                | ×            |
|                            | T-130 | ○                | ×            | ○                | ○            |
| Large                      | T-40  | ○                | ×            | ○                | ⊗            |

× crack initiation; impossible  
○ crack initiation; possible  
⊗ crack initiation; probable

表3 試験内容一覧

表3

| 炭素当量 (%)          | 会社     | 材質     | フランジとウェブ (板厚)   | 溶接法             | ギャップ (mm) | 板寸長 (mm) |    |                  |                  | 脚長 (mm) | 拘 |                      | 環境条件  |
|-------------------|--------|--------|-----------------|-----------------|-----------|----------|----|------------------|------------------|---------|---|----------------------|-------|
|                   |        |        |                 |                 |           | 30       | 50 | 80               | その他              |         | 有 | 無                    |       |
| 0.42<br>↳<br>0.44 | A      | SM53B  | F (36)          | SMAW            | 1         |          | ○  | ○                | ○ <sub>100</sub> | 6       |   | ○                    | 18℃   |
|                   |        | SM50YA | W (9)           | CO <sub>2</sub> | 1         |          | ○  | ○                |                  | 4       |   | ○                    | (66%) |
|                   | B      | SM53B  | F (36)          | SMAW            | 1         | ○        | ○  | ○                |                  | 4       | ○ | ○                    | 17℃   |
|                   |        | SM50YA | W (9)           |                 |           |          |    |                  |                  |         |   |                      | (52%) |
|                   | C      | SM50B  | F (36)          | SMAW            | 1         | ○        | ○  | ○                | ○ <sub>100</sub> | 4       | ○ | ○                    | 19℃   |
|                   |        | SM50A  | W (9)           | CO <sub>2</sub> |           |          | ○  | ○                |                  | 4       |   | ○                    | (60%) |
| D                 | SM50B  | F (36) | SMAW            | 1               | ○         | ○        | ○  | ○ <sub>100</sub> | 4                | ○       | ○ | 14℃                  |       |
|                   | SM50A  | W (9)  | SMAW            | 1               |           | ○        | ○  |                  | 6                |         | ○ | (53%)                |       |
| I                 | SM53B  | F (36) | SMAW            | 0.6             | ○         | ○        | ○  |                  | 4                |         | ○ | 8℃                   |       |
|                   | SM50YA | W (9)  |                 |                 |           |          |    |                  |                  |         |   | (32%)                |       |
| J                 | SM50B  | F (36) | SMAW            | 0.6             | ○         | ○        | ○  |                  | 4                |         | ○ | 6℃                   |       |
|                   | SM50A  | W (9)  | CO <sub>2</sub> | 0.6             | ○         | ○        | ○  |                  | 4                |         | ○ | (55%)<br>4℃<br>(75%) |       |
| 0.39<br>↳<br>0.40 | G      | SM50YA | F (12)          | CO <sub>2</sub> | 1         | ○        | ○  | ○                |                  | 4       |   | ○                    | 5℃    |
|                   |        | SM50YA | W (12)          |                 |           |          |    |                  |                  |         |   |                      | (75%) |
| S                 | SM50YA | F (12) | SMAW            | 1               | ○         | ○        | ○  |                  | 4                |         | ○ | 8℃                   |       |
|                   | SM50YA | W (12) |                 |                 |           |          |    |                  |                  |         |   | (35%)                |       |
| 0.36              | E      | SM53B  | F (36)          | SMAW            | 1         | ○        | ○  | ○                |                  | 4       | ○ | ○                    | 25℃   |
|                   |        | SM50YB | W (9)           |                 |           |          |    |                  |                  |         |   |                      | (61%) |
| F                 | SM53B  | F (36) | SMAW            | 1               | ○         | ○        | ○  |                  | 4                | ○       | ○ | 20℃                  |       |
|                   | SM50YB | W (9)  |                 | 1               | ○         | ○        | ○  | ○ <sub>10</sub>  |                  |         | ○ | (60%)<br>5℃<br>(70%) |       |



表1 供試鋼材の化学成分および割れ試験の組合せ

| 炭素当量<br>Ceq | 割れ試験<br>相当会社 | 材質     | フランジ割<br>れ試験(割れ寸) | 分析    | 化 学 成 分 (%) |      |       |       |       |       |      |      |       |       |       | 炭素当量<br>(%)** |
|-------------|--------------|--------|-------------------|-------|-------------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|---------------|
|             |              |        |                   |       | C           | Si   | Mn    | P     | S     | Cu    | Ni   | Cr   | Mo    | V     | Nb    |               |
|             | A            | SM53B  | F                 | Ladle | 0.17        | 0.44 | 1.43  | 0.019 | 0.006 | -     | -    | -    | -     | -     | 0.02  | 0.43          |
|             |              |        | (36)              | check | 0.18        | 0.45 | 1.45  | 0.015 | 0.004 | Tr    | 0.02 | 0.02 | -     | Tr    | 0.02  | 0.44          |
|             |              | SM50YA | W                 | Ladle | 0.17        | 0.46 | 1.43  | 0.020 | 0.006 | -     | -    | -    | -     | -     | 0.02  | 0.43          |
|             |              |        |                   | (9)   | check       | 0.16 | 0.45  | 1.45  | 0.020 | 0.008 | Tr   | 0.02 | 0.03  | -     | 0.002 | 0.01          |
|             | B            | SM53B  | F                 | Ladle | 0.17        | 0.35 | 1.26  | 0.022 | 0.004 | 0.02  | 0.02 | -    | -     | -     | 0.03  | 0.42          |
|             |              |        | (36)              | check | 0.16        | 0.35 | 1.40  | 0.020 | 0.005 | Tr    | 0.03 | 0.04 | -     | 0.004 | 0.03  | 0.42          |
|             |              | SM50YA | W                 | Ladle | 0.17        | 0.46 | 1.43  | 0.020 | 0.006 | -     | -    | -    | -     | -     | 0.02  | 0.43          |
|             |              |        |                   | (9)   | check       | 0.16 | 0.44  | 1.45  | 0.019 | 0.008 | Tr   | 0.02 | 0.03  | -     | 0.002 | 0.01          |
|             | C, D         | SM50B  | F                 | Ladle | 0.15        | 0.35 | 1.43  | 0.019 | 0.004 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | 0.41          |
| 0.42        |              |        | (36)              | check | 0.16        | 0.35 | 1.42  | 0.017 | 0.004 | 0.01  | 0.02 | 0.03 | -     | 0.03  | Tr    | 0.42          |
| 0.44        |              | SM50A  | W                 | Ladle | 0.16        | 0.34 | 1.35  | 0.014 | 0.007 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | 0.41          |
|             |              |        | (9)               | check | 0.16        | 0.34 | 1.35  | 0.015 | 0.008 | 0.01  | 0.02 | 0.04 | -     | Tr    | Tr    | 0.41          |
|             | I            | SM53B  | F                 | Ladle | 0.17        | 0.40 | 1.41  | 0.015 | 0.001 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | 0.43          |
|             |              |        | (36)              | check | 0.16        | 0.40 | 1.43  | 0.013 | 0.002 | Tr    | 0.02 | 0.02 | -     | 0.03  | Tr    | 0.42          |
|             |              | SM50YA | W                 | Ladle | 0.17        | 0.44 | 1.43  | 0.021 | 0.003 | -     | 0.02 | 0.02 | -     | -     | 0.02  | 0.43          |
|             |              |        | (9)               | check | 0.15        | 0.45 | 1.44  | 0.018 | 0.004 | Tr    | 0.02 | 0.03 | -     | 0.006 | 0.01  | 0.42          |
|             | J            | SM50B  | F                 | Ladle | 0.16        | 0.34 | 1.37  | 0.019 | 0.005 | -     | -    | -    | -     | -     | 0.02  | 0.40          |
|             |              |        | (36)              | check | 0.16        | 0.38 | 1.45  | 0.027 | 0.010 | 0.01  | 0.02 | 0.05 | -     | 0.004 | 0.03  | 0.43          |
|             |              | SM50A  | W                 | Ladle | 0.15        | 0.34 | 1.41  | 0.010 | 0.009 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | 0.40          |
|             |              |        | (9)               | check | 0.14        | 0.35 | 1.41  | 0.013 | 0.010 | 0.01  | 0.02 | 0.05 | -     | 0.003 | Tr    | 0.40          |
|             | G            | SM50YA | F, W              | Ladle | 0.17        | 0.35 | 1.42  | 0.019 | 0.006 | -     | -    | -    | -     | -     | 0.03  | 0.42          |
| 0.39        |              |        | (12)              | check | 0.14        | 0.34 | 1.40  | 0.019 | 0.005 | 0.01  | 0.02 | 0.03 | -     | 0.006 | 0.03  | 0.39          |
| 0.40        | S            | SM50YA | F, W              | Ladle | 0.17        | 0.45 | 1.36  | 0.017 | 0.004 | -     | 0.02 | 0.02 | -     | -     | -     | 0.42          |
|             |              | (12)   | check             | 0.14  | 0.44        | 1.39 | 0.016 | 0.006 | 0.01  | 0.02  | 0.03 | -    | 0.038 | Tr    | 0.40  |               |
|             | E, F         | SM53B  | F                 | Ladle | 0.14        | 0.20 | 1.27  | 0.016 | 0.005 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | 0.36          |
| 0.36        |              |        | (36)              | check | 0.13        | 0.20 | 1.29  | 0.017 | 0.006 | Tr    | 0.02 | 0.02 | -     | 0.004 | Tr    | 0.36          |
|             |              | SM50YB | W                 | Ladle | 0.14        | 0.20 | 1.27  | 0.016 | 0.005 | -     | -    | -    | -     | -     | -     | 0.36          |
|             |              |        | (9)               | check | 0.15        | 0.21 | 1.35  | 0.019 | 0.007 | Tr    | 0.02 | 0.03 | -     | 0.004 | Tr    | 0.39          |

\*

\*\*炭素当量

$$W(7=7)$$

$$F(フランジ)$$

$$Ceq.(WES) = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$$

表5 供試鋼材の機械的性質

| Ceq.<br>(%)       | 担当<br>会社 | 材質     | 区別<br>(板厚) | Ceq. %<br>(42.17分析) | 引張試験                       |                            |        | 衝撃試験              |         | 備考 |
|-------------------|----------|--------|------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|--------|-------------------|---------|----|
|                   |          |        |            |                     | Y.P (kgf/mm <sup>2</sup> ) | T.S (kgf/mm <sup>2</sup> ) | EL (%) | 3個の平均値<br>(kgf.m) | 試験温度(℃) |    |
| 0.42<br>{<br>0.44 | A        | SM53B  | F(36)      | 0.44                | 42                         | 57                         | 27     | 23.2              | 0       |    |
|                   |          | SM50YA | W(9)       | 0.43                | 48                         | 62                         | 20     | -                 | -       |    |
|                   | B        | SM53B  | F(36)      | 0.41                | 47                         | 59                         | 26     | 19.7              | 0       |    |
|                   |          | SM50YA | W(9)       | 0.43                | 47                         | 60                         | 23     | -                 | -       |    |
|                   | C,D      | SM50B  | F(36)      | 0.42                | 37                         | 55                         | 25     | 22.0              | 0       |    |
|                   |          | SM50A  | W(9)       | 0.41                | 40                         | 55                         | 26     | -                 | -       |    |
|                   | I        | SM53B  | F(36)      | 0.42                | 42                         | 57                         | 27     | 23.2              | 0       |    |
|                   |          | SM50YA | W(9)       | 0.42                | 48                         | 62                         | 20     | -                 | -       |    |
|                   | J        | SM50B  | F(36)      | 0.43                | 41                         | 55                         | 25     | 15.9              | 0       |    |
|                   |          | SM50A  | W(9)       | 0.40                | 37                         | 53                         | 24     | -                 | -       |    |
| 0.40              | G        | SM50YA | F(12)      | 0.39                | 46                         | 60                         | 21     | -                 | -       |    |
|                   |          | SM50YA | W(12)      | 0.39                | 46                         | 60                         | 21     | -                 | -       |    |
|                   | S        | SM50YA | F(12)      | 0.40                | 40                         | 56                         | 20     | -                 | -       |    |
|                   |          | SM50YA | W(12)      | 0.40                | 40                         | 56                         | 20     | -                 | -       |    |
| 0.36              | E,F      | SM53B  | F(36)      | 0.36                | 43                         | 56                         | 26     | 27.4              | 0       |    |
|                   |          | SM50YB | W(9)       | 0.39                | 45                         | 55                         | 21     | -                 | -       |    |
|                   |          |        |            |                     |                            |                            |        |                   |         |    |

表 6 溶 接 条 件

| 溶接法  | 銘柄              | 溶接電流<br>(Amp) | 溶接電圧<br>(Volt) | 速度<br>(cm/分) | 入熱<br>(J/cm)   | 脚長<br>(mm) |
|------|-----------------|---------------|----------------|--------------|----------------|------------|
| SMAW | LB52T<br>(3.2φ) | 110~120       | 19~21          | 17           | 7400<br>8900   | 4          |
|      | LB52T<br>(5.0φ) | 210~215       | 25~26          | 20           | 15700<br>16800 | 6          |
|      | L55<br>(3.2φ)   | 120~130       | 23~24          | 18           | 9200<br>10400  | 4          |
| GMAW | M450T<br>(1.2φ) | 180~190       | 20~22          | 40           | 5400<br>6300   | 4          |

表7 試験結果《非拘束型試験体》

| (目録<br>Co.)    | 組号<br>会社 | 73%<br>OCg.<br>(CHECK) | 溶接法   | 径寸<br>(mm) | 厚<br>(mm) | 環径<br>(%) | 拘束<br>の有無 | 径寸長 (mm) |                                |  |  |        | 備考  |   |
|----------------|----------|------------------------|-------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|--------------------------------|--|--|--------|-----|---|
|                |          |                        |       |            |           |           |           | 10       | 30                             | 50   | 80   | 100    |     |   |
|                |          |                        |       |            |           |           |           | 破面 270   | 破面 270                         | 破面 270                                     | 破面 270                                       | 破面 270 |     |   |
| 0.42<br>}      | A        | 0.44                   | SMATW | 1          | 6         | 18        | 無         |          |                                | ○ ○  | ○ ○  | ○ ○    | ○ ○ | ● ..... ヒール 73%<br>▲ ..... ルー 73%<br>○ ..... 割れなし                         |
|                |          |                        | CO2   | 1          | 4         | 18        | 、         |          |                                | ▲ 24 ○<br>▲ 29 ○                           | ○ ○  | ○ ○    | ○ ○ |   |
|                | B        | 0.42                   | SMATW | 1          | 4         | 17        | 、         |          | ● 30<br>● 30 ● 4.2<br>● 30     | ● 42 ● 3.4<br>● 50 ● 3.2<br>● 50 ○         | ● 70 ○<br>● 71 ● 4.7<br>● 67 ○               |        |     |   |
|                |          |                        | SMATW | 1          | 4         | 19        | 、         |          | ● 28 ○                         | ● 35 ○<br>● 47 ○                           | ○ ○  | ○ ○    | ○ ○ | (追加) 厚さ 4mm 50% 拘束なし<br>SMATW<br>径寸長 80mm<br>破面 270<br>○ 72<br>○ ○<br>○ ○ |
|                | C        | 0.42                   | SMATW | 1          | 6         | 18        | 、         |          |                                | ○ ○  | ○ ○  | ○ ○    |     |   |
|                |          |                        | CO2   | 1          | 4         | 19        | 、         |          |                                | ○ ○  | ○ ○  | ○ ○    |     |   |
|                | D        | 0.42                   | SMATW | 1          | 4         | 14        | 、         |          | ● 26.5<br>● 30 ● 3.6<br>● 27.5 | ● 44.5 ● 1.5<br>● 44 ● 1.1<br>● 43 ● 2.9   | ○ ○  | ○ ○    | ○ ○ | ● 89 ● 3.4<br>○ ○ ● 3.5<br>● 76 ● 4.5                                     |
|                |          |                        | SMATW | 1          | 6         | 14        | 、         |          |                                | ● 49 ● 0.8<br>● 47 ○                       | ○ ○  | ○ ○    | ○ ○ |   |
|                | I        | 0.42                   | SMATW | 0.6        | 4         | 8         | 、         |          | ● 11.5<br>● 15 ○<br>● 5        | ● 32 ○<br>● 22 ○<br>● 6 ○                  | ● 28 ● 4<br>● 8 ● 4.5<br>● 16.5 ● 4.5        |        |     |   |
|                | J        | 0.43                   | SMATW | 0.6        | 4         | 6         | 、         |          | ● 30 ○<br>● 30 ○<br>● 30 ○     | ● 44.5 ● 3.6<br>● 43.5 ● 4.5<br>● 31 ● 3.4 | ● 64.5 ● 4.6<br>● 69.0 ● 4.8<br>● 68.5 ● 7.8 |        |     |   |
| CO2            |          |                        | 0.6   | 4          | 4         | 、         |           |          | ○ ○                            | ○ ○  | ○ ○  |        |     |   |
| 0.39<br>}      | G        | 0.39                   | CO2   | 1          | 4         | 5         | 、         |          | ○ ○                            | ○ ○  | ○ ○  | ○ ○    |     |   |
|                | S        | 0.40                   | SMATW | 1          | 4         | 8         | 、         |          | ○ ○                            | ○ ○  | ○ ○  | ○ ○    |     |   |
| 0.36<br>(TMCP) | E        | 0.36                   | SMATW | 1          | 4         | 25        | 、         |          | ○ ○                            | ○ ○  | ○ ○  | ○ ○    |     |   |
|                | F        | 0.36                   | SMATW | 1          | 4         | 20        | 、         |          | ○ ○                            | ○ ○  | ○ ○  | ○ ○    |     |   |
| SMATW          |          |                        | 1     | 4          | 5         | 、         |           | ○ ○      | ○ ○                            |  |  |        |     |   |

注1. 割れ発生試験体の数字は割れ長さ(mm) 目示す

表8 試験結果《拘束型試験体》

| (目標<br>Ceq.)   | 担当<br>会社 | T <sub>975</sub><br>°C<br>(CHECK) | 溶接法   | 板厚<br>(mm) | 板長<br>(mm) | 環状<br>(%) | 拘束<br>の有無 | 破 行 長 (mm) |                  |        |                  |                  | 備 考         |  |  |
|----------------|----------|-----------------------------------|-------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------------|--------|------------------|------------------|-------------|--|--|
|                |          |                                   |       |            |            |           |           | 10         | 30               | 50     | 80               | 100              |             |  |  |
|                |          |                                   |       |            |            |           |           | 破面 270     | 破面 270           | 破面 270 | 破面 270           | 破面 270           |             |  |  |
| 0.42<br>0.44   | A        | 0.44                              | SMATW | 1          | 6          | 18        | 有         |            |                  |        |                  |                  |             | ●.....ヒルグネ-7<br>▲.....ルトグネ-7<br>○.....割れなし |  |
|                |          |                                   | CO2   | 1          | 4          | 18        | 〃         |            |                  |        |                  |                  |             |  |  |
|                | B        | 0.42                              | SMATW | 1          | 4          | 17        | 〃         |            | ○<br>○<br>○      | ○      | ○<br>○<br>○      | ○<br>○<br>○      |             |  |  |
|                |          |                                   | CO2   | 1          | 4          | 19        | 〃         |            | ○<br>○<br>○      | ○      | ○<br>○<br>○      | ○<br>○<br>○      |             |  |  |
|                | C        | 0.42                              | SMATW | 1          | 4          | 19        | 〃         |            | ○<br>○<br>○      | ○      | ○<br>○<br>○      | ○<br>○<br>○      |             |  |  |
|                |          |                                   | CO2   | 1          | 4          | 19        | 〃         |            |                  |        |                  | ▲3               | ○           |  |  |
|                | D        | 0.42                              | SMATW | 1          | 4          | 14        | 〃         |            | ○<br>○<br>▲35    | ○      | ▲45<br>▲9        | ▲09<br>○<br>○    | ○<br>○<br>○ |  |  |
|                |          |                                   | SMATW | 1          | 6          | 14        | 〃         |            |                  |        |                  |                  |             |  |  |
|                | I        | 0.42                              | SMATW | 0.6        | 4          | 8         | 〃         |            |                  |        |                  |                  |             |  |  |
|                | J        | 0.43                              | SMATW | 0.6        | 4          | 6         | 〃         |            |                  |        |                  |                  |             |  |  |
| CO2            |          |                                   | 0.6   | 4          | 4          | 〃         |           |            |                  |        |                  |                  |             |  |  |
| 0.39<br>0.40   | G        | 0.39                              | CO2   | 1          | 4          | 5         | 〃         |            |                  |        |                  |                  |             |  |  |
|                | S        | 0.40                              | SMATW | 1          | 4          | 8         | 〃         |            |                  |        |                  |                  |             |  |  |
| 0.36<br>(TMCP) | E        | 0.36                              | SMATW | 1          | 4          | 25        | 〃         |            | ○<br>○<br>○<br>○ | ○      | ○<br>○<br>○<br>○ | ○<br>○<br>○<br>○ |             |  |  |
|                | F        | 0.36                              | SMATW | 1          | 4          | 20        | 〃         |            | ○<br>○<br>○<br>○ | ○      | ○<br>○<br>○<br>○ | ○<br>○<br>○<br>○ |             |  |  |
|                |          |                                   | SMATW | 1          | 4          | 5         | 〃         |            |                  |        |                  |                  |             |  |  |

表 9 溶接部の冷却速度測定結果

| 板厚長<br>(mm) | $\Delta t_{8/5}$<br>(SEC.) | $t_{100}$<br>(SEC.) | 備考 |
|-------------|----------------------------|---------------------|----|
| 30          | 2.2                        | 21                  |    |
| 50          | 2.6                        | 27.8                |    |
| 80          | 3.2                        | 36.4                |    |

溶接法 SMAW , 脚長 4 mm

- \*1. 溶接部の温度が 800°C から 500°C 以下要する時間
- \*2. 溶接部の最高到達温度から 100°C 以下要する時間

表 10 HAZの最高硬さ

| 担当<br>会社 | 溶接法             | 脚長<br>(mm) | 環境<br>温度<br>(℃) | フランジ側       |            |      | ウェブ側 |             |            |      |      |
|----------|-----------------|------------|-----------------|-------------|------------|------|------|-------------|------------|------|------|
|          |                 |            |                 | Ceq.<br>(%) | 硬 付 長 (mm) |      |      | Ceq.<br>(%) | 硬 付 長 (mm) |      |      |
|          |                 |            |                 |             | 30         | 50   | 80   |             | 30         | 50   | 80   |
| A        | SMAW            | 6          | 18              | 0.44        | —          | 390  | 390  | 0.43        | —          | 350  | 320  |
|          | CO <sub>2</sub> | 4          | 18              | 0.44        | —          | 400  | 410  | 0.43        | —          | 380  | 385  |
| B        | SMAW            | 4          | 17              | 0.42        | 420*       | 430* | 440* | 0.43        | 400        | 390  | 420  |
| C        | SMAW            | 4          | 19              | 0.42        | 350*       | 380* | 380  | 0.41        | 350        | 390  | 370  |
|          |                 | 6          | 18              | 0.42        | —          | 350* | 350* | 0.41        | —          | 320  | 300  |
|          | CO <sub>2</sub> | 4          | 19              | 0.42        | —          | 360  | 350  | 0.41        | —          | 340* | 280* |
| D        | SMAW            | 4          | 14              | 0.42        | 430*       | 420* | 420  | 0.41        | 400        | 425  | 390  |
|          |                 | 6          | 14              | 0.42        | —          | 420* | 395  | 0.41        | —          | 400  | 390  |
| I        | SMAW            | 4          | 8               | 0.42        | 370*       | 390* | 380* | 0.42        | 340        | 390  | 390  |
| J        | SMAW            | 4          | 6               | 0.43        | 390*       | 420* | 420* | 0.40        | 360        | 370  | 400  |
|          | CO <sub>2</sub> | 4          | 4               | 0.43        | 410        | 405  | 420  | 0.40        | 360        | 380  | 410  |
| G        | CO <sub>2</sub> | 4          | 5               | 0.39        | 390        | 400  | 390  | 0.39        | 400        | 400  | 395  |
| S        | SMAW            | 4          | 8               | 0.40        | 350        | 340  | 340  | 0.40        | 355        | 330  | 340  |
| E        | SMAW            | 4          | 25              | 0.36        | 340        | 340  | 350  | 0.39        | 340        | 330  | 330  |
| F        | SMAW            | 4          | 20              | 0.36        | 320        | 340  | 330  | 0.39        | 330        | 320  | 325  |
|          |                 | 4          | 5               | 0.36        | 290        | —    | —    | 0.39        | 280        | —    | —    |

\* 破面おおよそマクロ試験片で割れが発生した

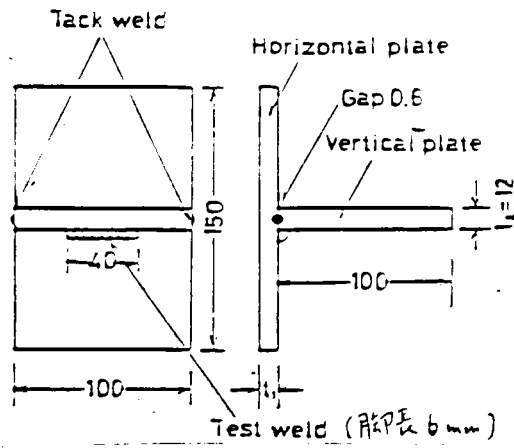


図1 非拘束T型すみ肉溶接割れ試験体

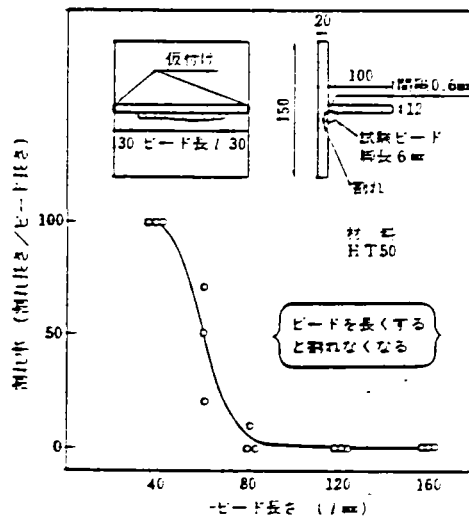


図2 ヒール・クラックとビード長さの関係



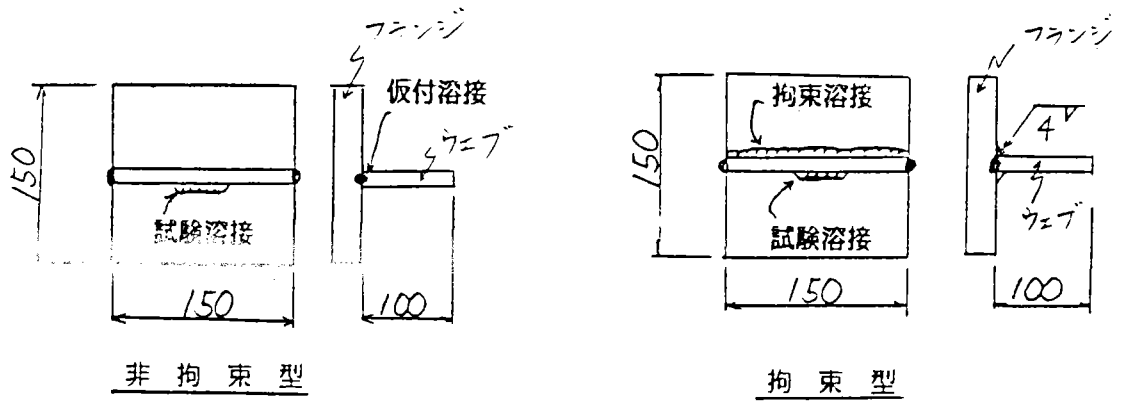


図 3 試験体形状

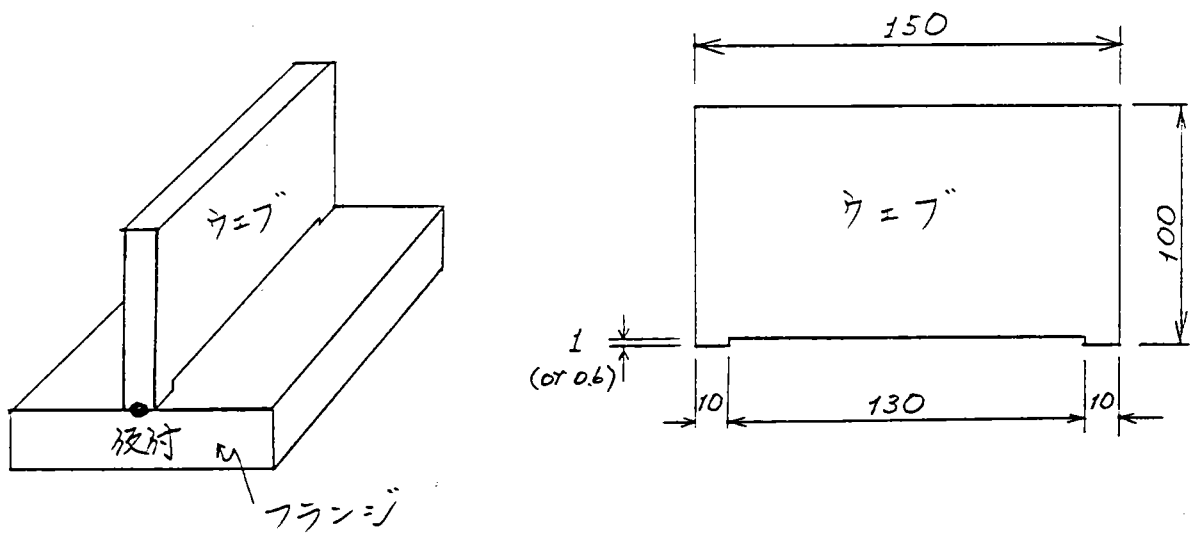
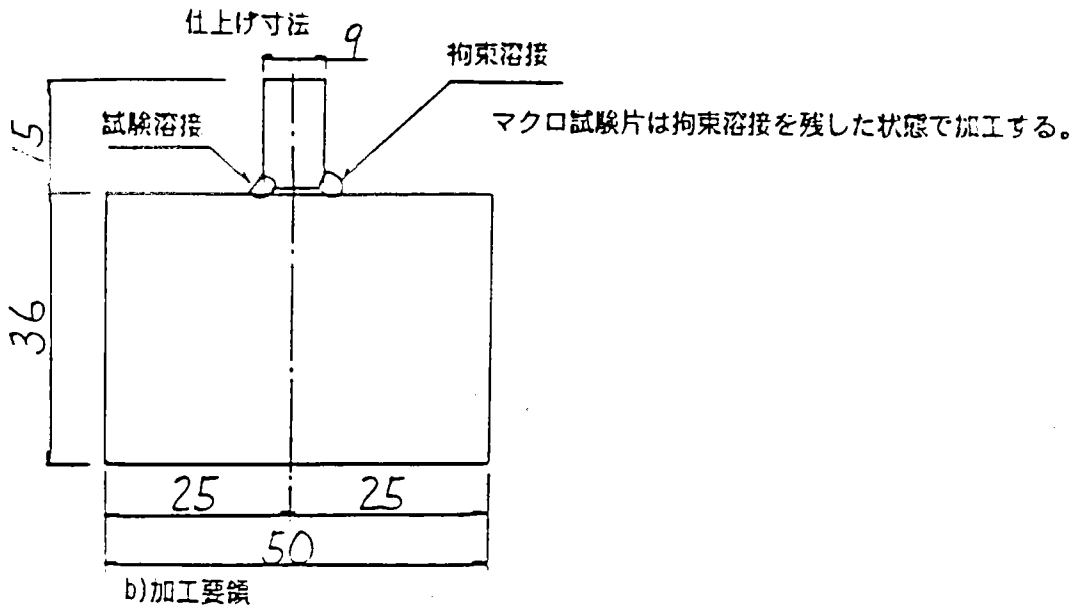


図 4 試験体の組立精度

a) マクロ試験片の寸法



b) 加工要領

①採取位置

試験溶接を完了して48時間以降経過後にマクロ試験片を作製する事。1試験体から3個 (l = 30のみ1個) のマクロ試験片を採取する。

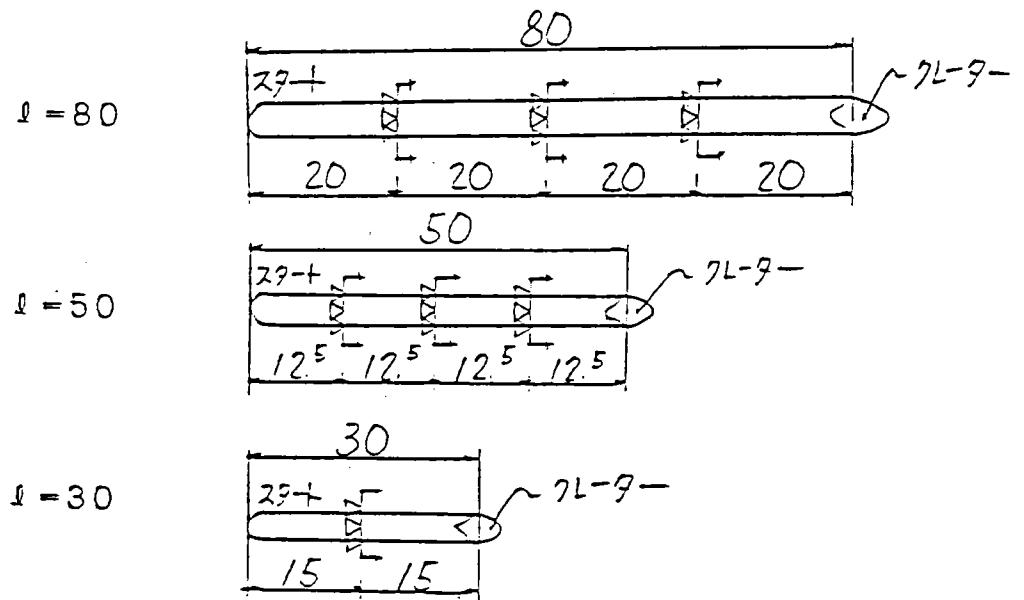
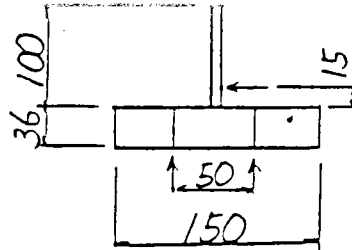


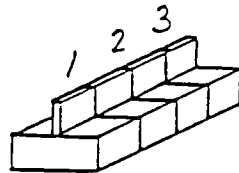
図5 マクロ試験片の採取位置

c)加工手順

①ガス切断

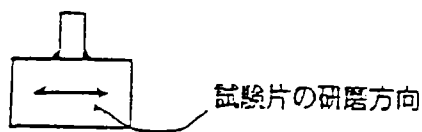


②バンドソー切断 (又はコンターマシンで切断)



③ベルトサンダーで研磨

180#~240#で仕上げる



④マクロエッチング

一般マクロ用腐蝕液 (硝酸20%,メタノール80%) にて行う。

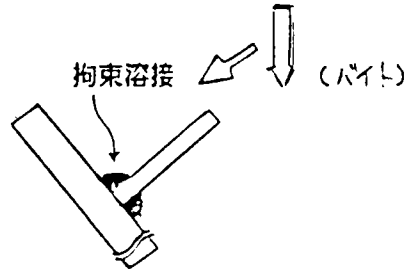
図 6 マクロ試験片の加工手順

b)加工手順

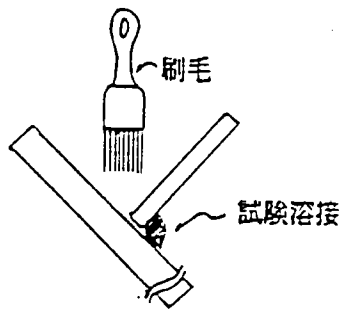
①試験溶接完了後最低48時間放置する。

②両端仮付部、拘束溶接部を削除する。

拘束溶接部の削除はシェーパー（機械加工）などで加工すること。

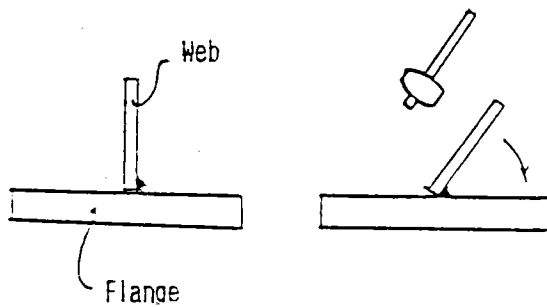


③刷毛塗りでナイトール液を浸透させる。



20% のナイトールを使用  
(硝酸20%, 水80%) 浸透後  
3時間放置

④破 断



ハンマーで打刻する場合4~5回  
に分散した方が良い  
(1回で破断しないこと。)

⑤破面撮影

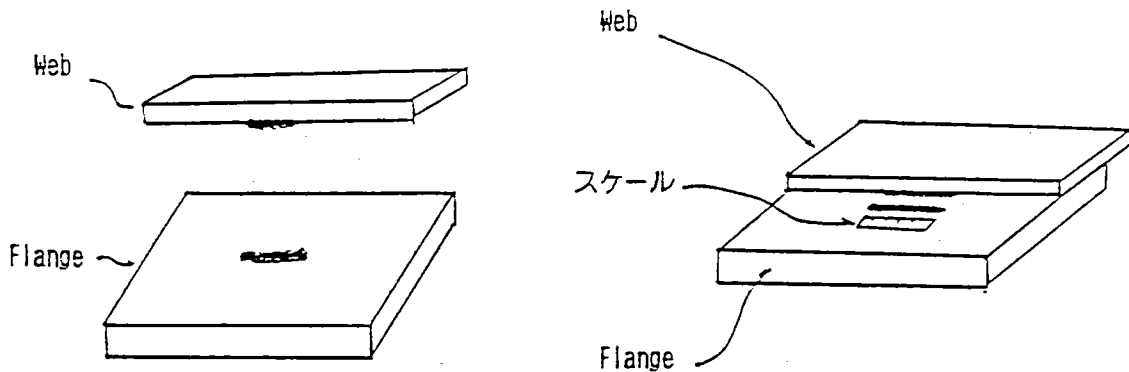
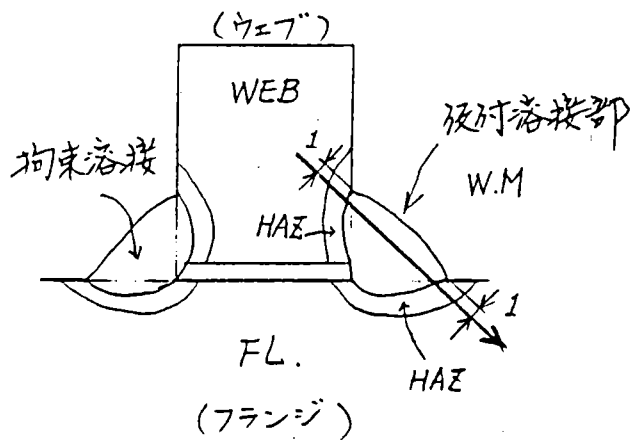


図 7 破面試験片の加工手順

後付溶接部の硬さを WEB (ウェブ) 側から HAZ → W.M  
 → HAZ → FL (フランジ) 側に向って自動測定を行なった。



硬さ測定深さ ; W.M 表層部より 1 mm 深さ

硬さ測定ピッチ ; 0.5 mm

硬さ測定方向 ; WEB (9 mm t) から FL (36 mm t) に向う。

硬さ測定荷重 ; HV = 10 Kg

図 8 硬さ測定要領

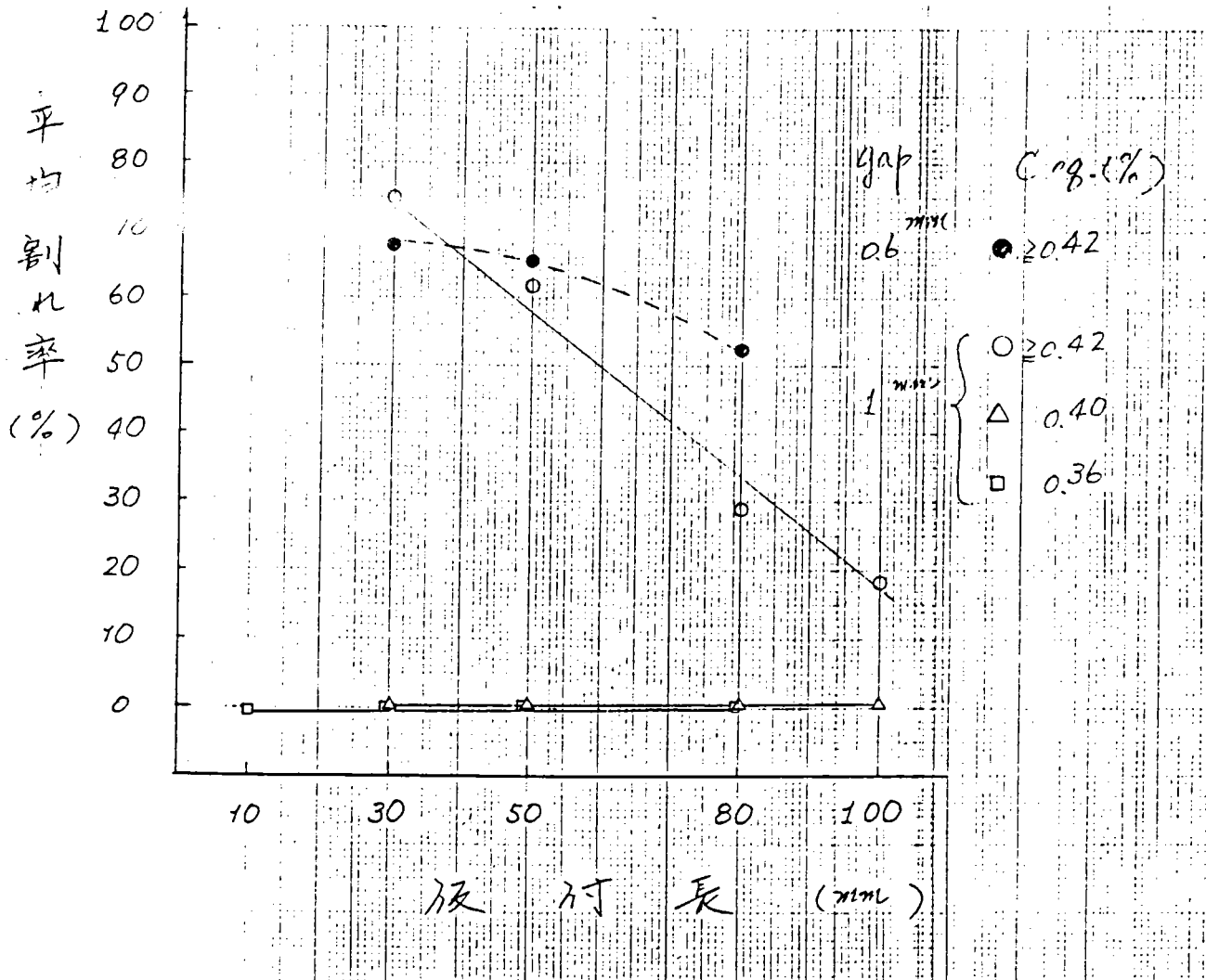


図9 非拘束型試験体での Ceq. ギャップの影響 (SMAW)

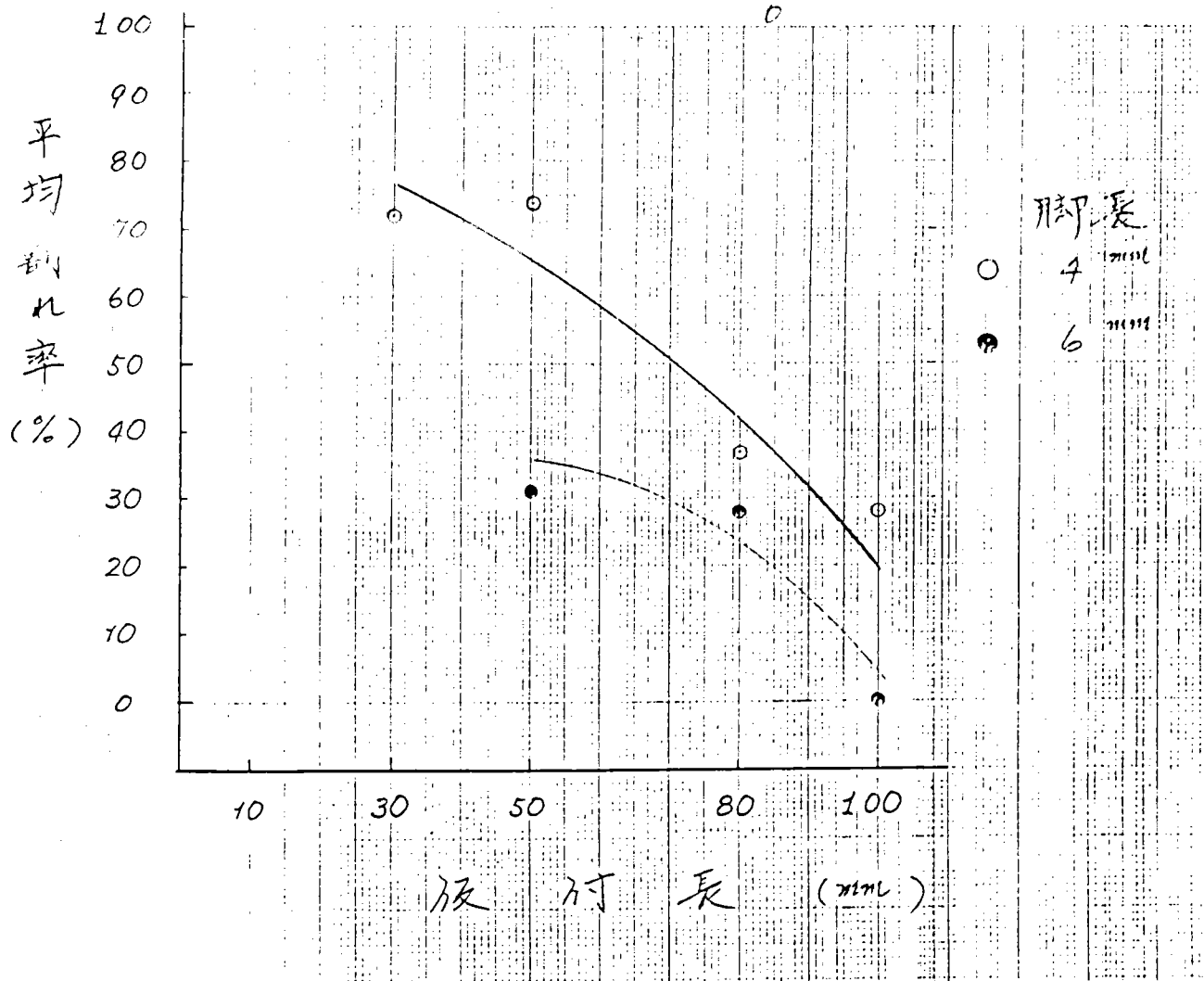


図10 非拘束型試験体での脚長の影響  
 (SMAW, Ceq. ≥ 0.42%, ギャップ 1.0mm)

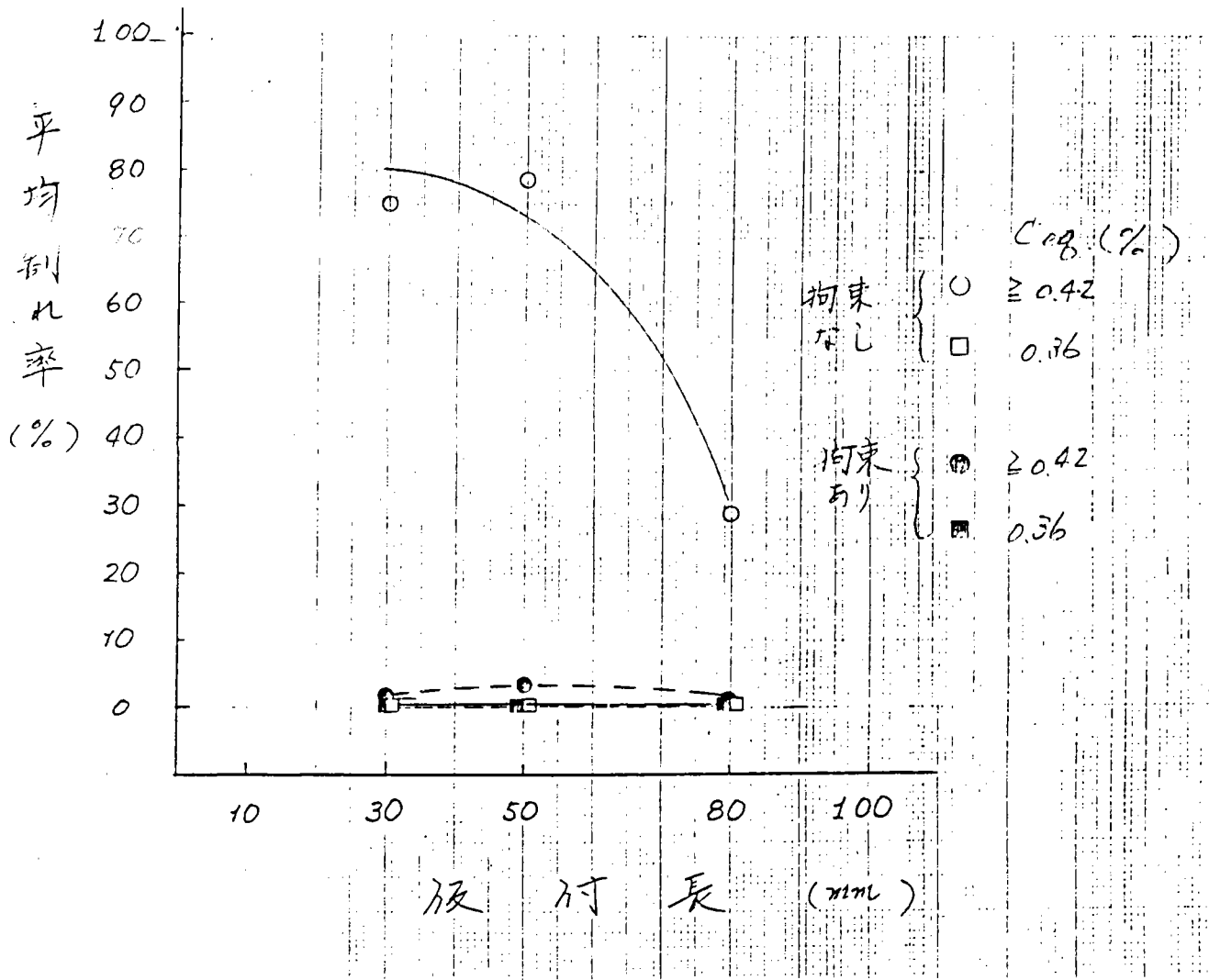


図11 非拘束型と拘束型試験体の比較  
(SMAW, ギャップ 1mm, 脚長 4mm, 気温 20°C)



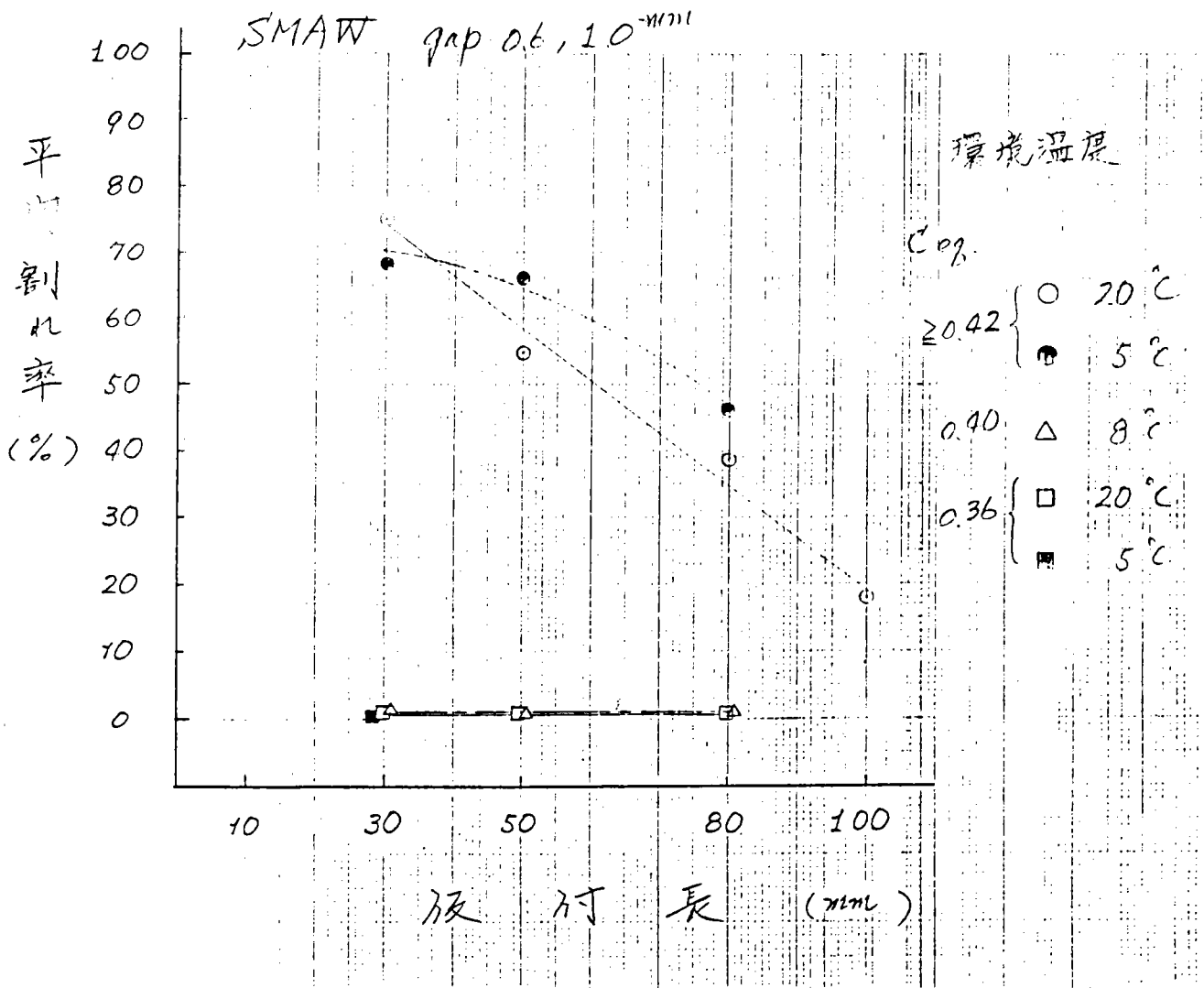


図 12 非拘束型試験体での環境温度の影響  
(SMAW, ギャップ 0.6 および 1.0mm)

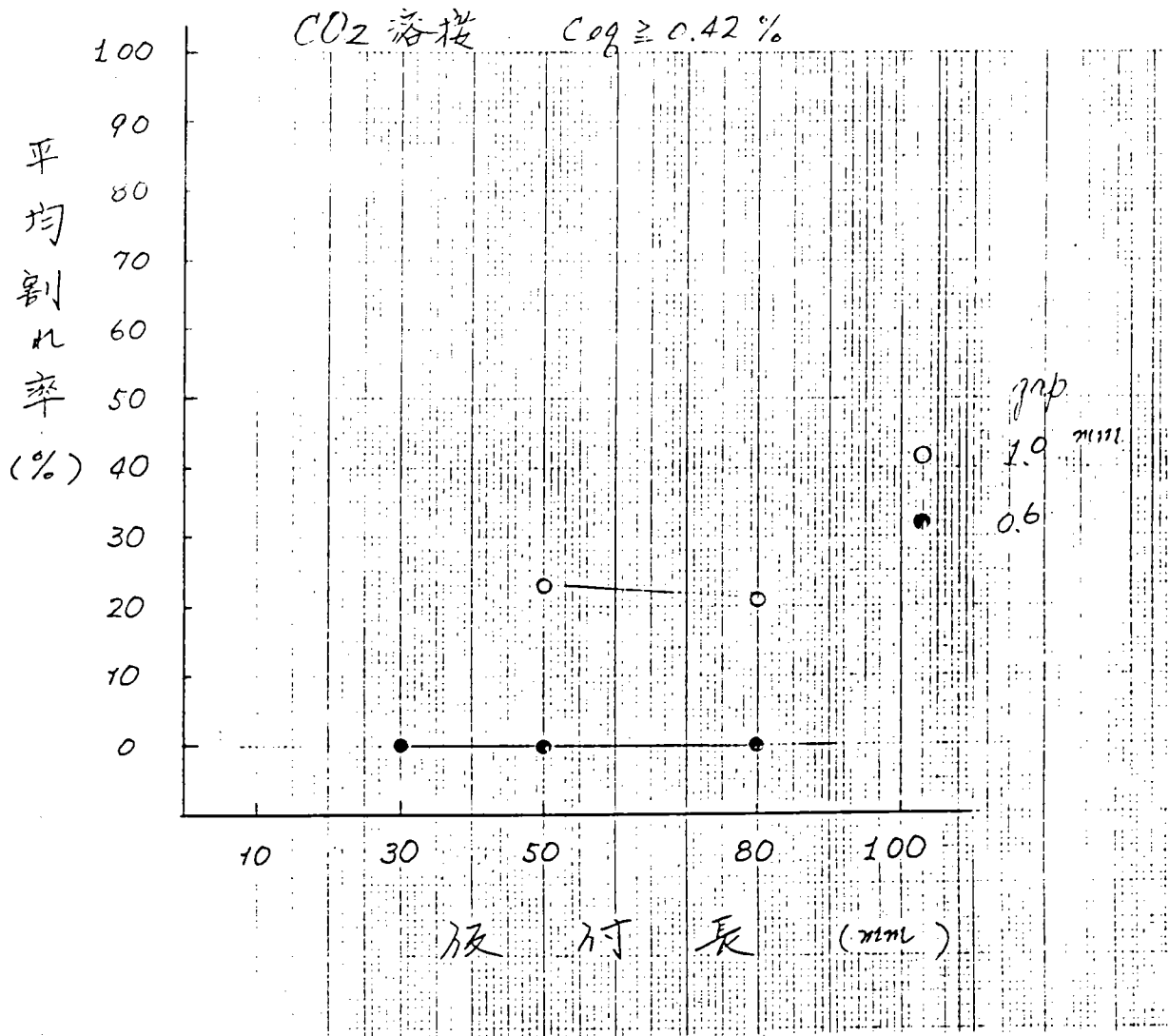


図 13 非拘束型試験体での CO<sub>2</sub> 溶接法の効果  
 (C<sub>eq</sub> ≥ 0.42% 脚長 4 mm, 気温 5°C および 20°C)

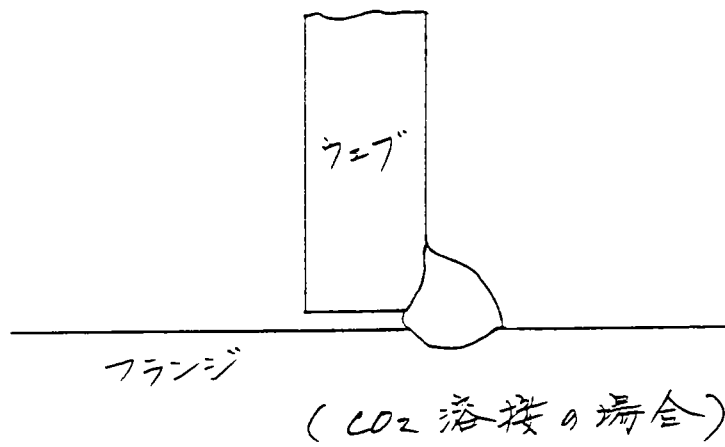
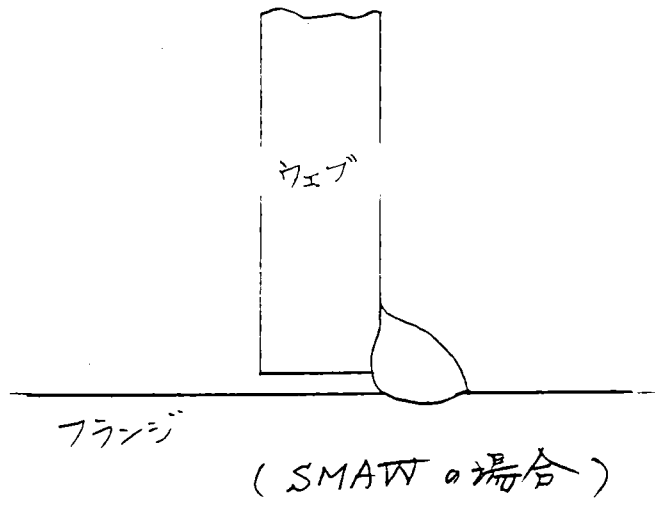
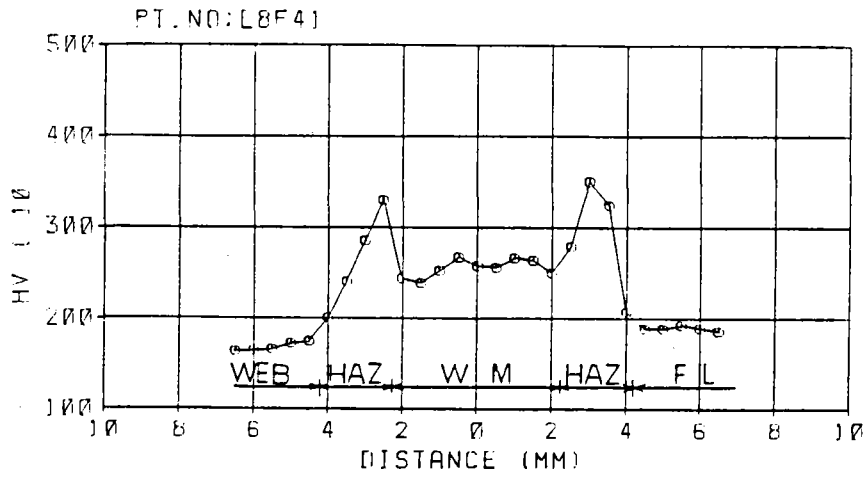
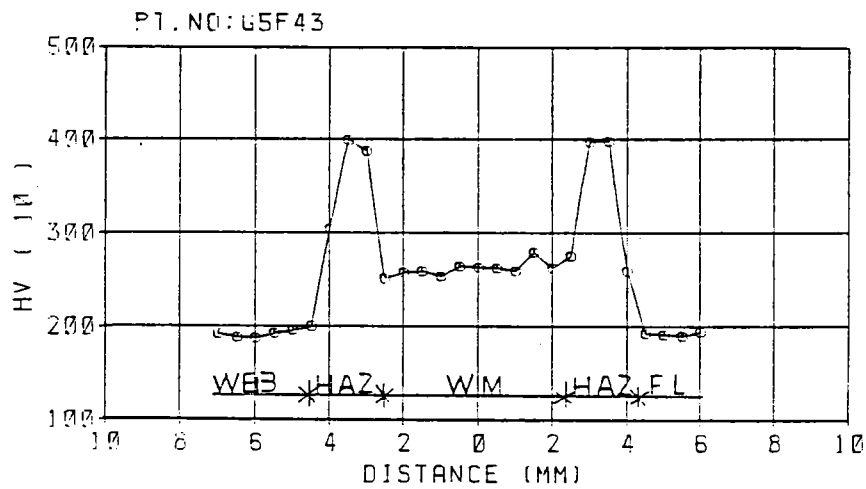


図14 ルート部への溶込み形状の相違  
(SMAW と CO<sub>2</sub>溶接)

$C_{eq} = 0.36\%$



$C_{eq} = 0.40\%$



$C_{eq} = 0.42 \sim 0.44\%$

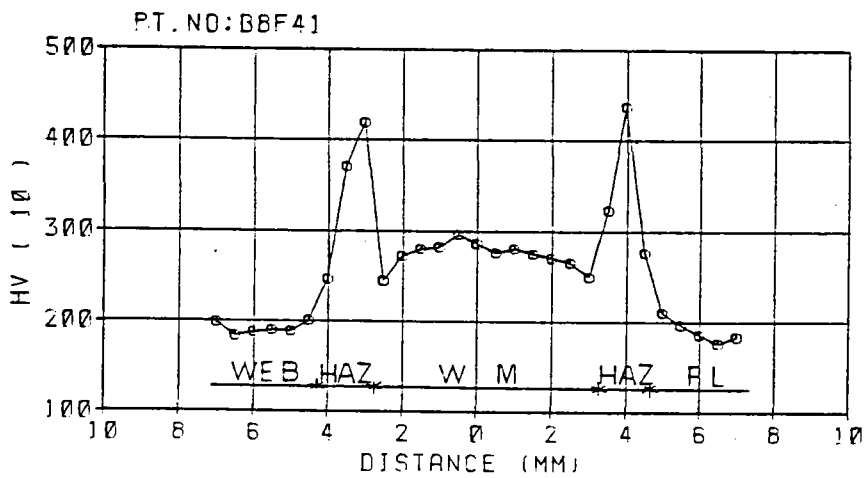
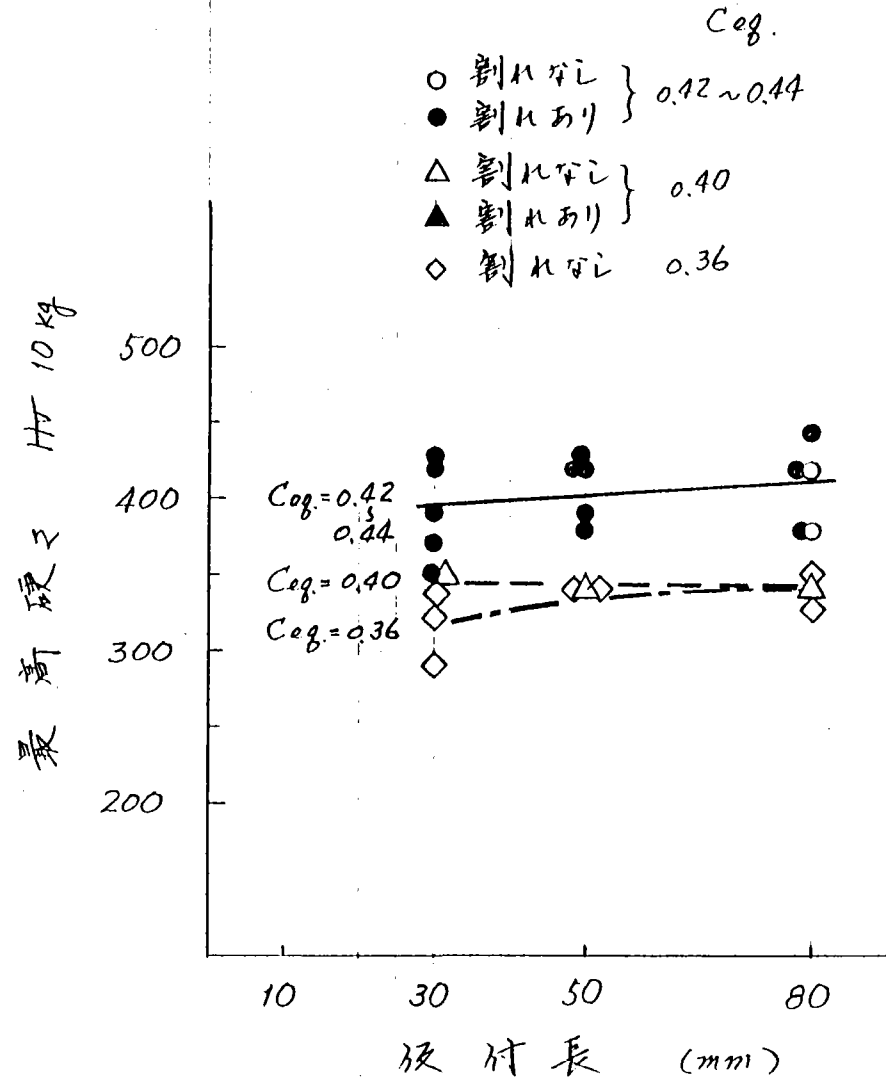
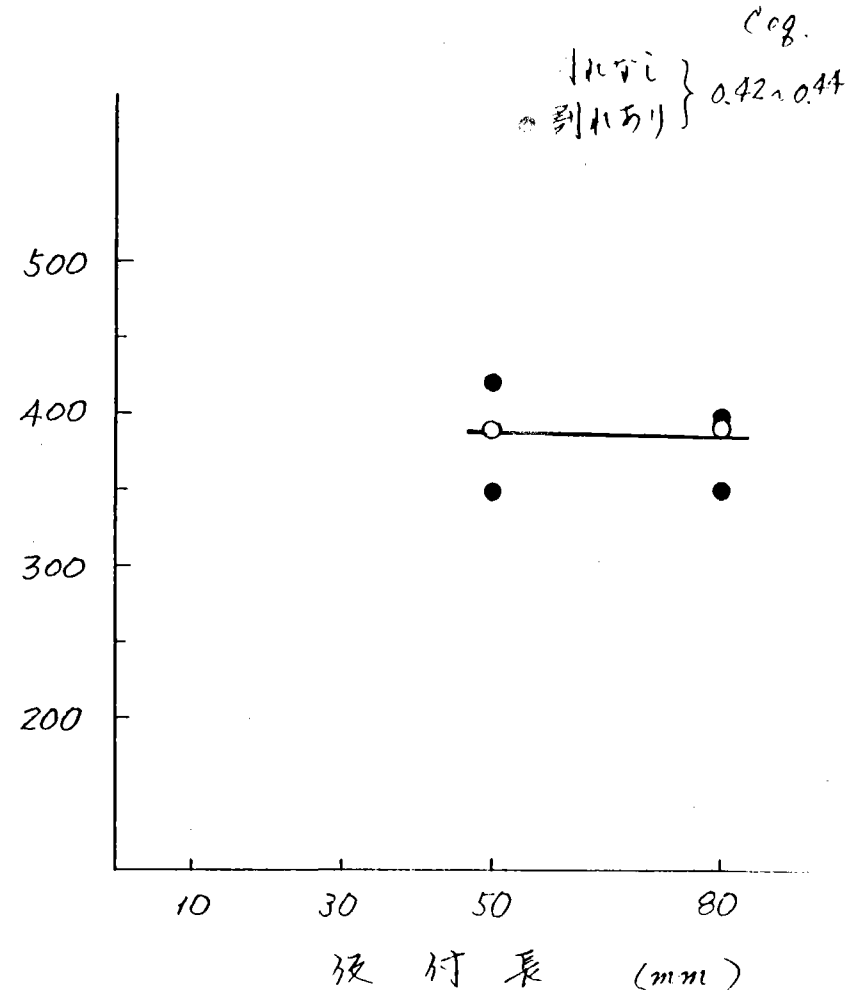


図15 溶接部の硬さ試験結果例



(a) 脚長 4mm



(b) 脚長 6mm

図16 非拘束型試験体における溶接長とHVAZ最高硬さとの関係(SMAW)

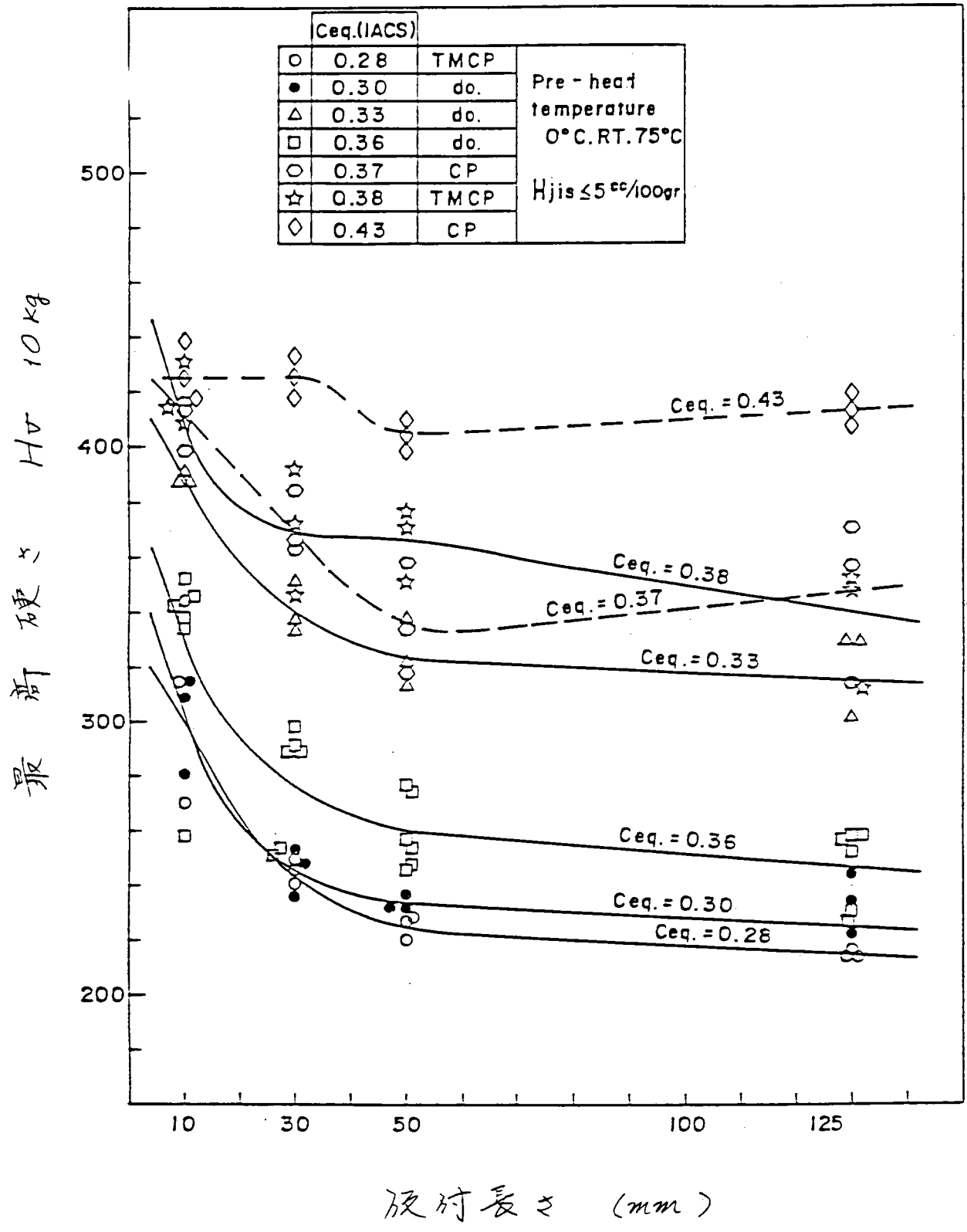
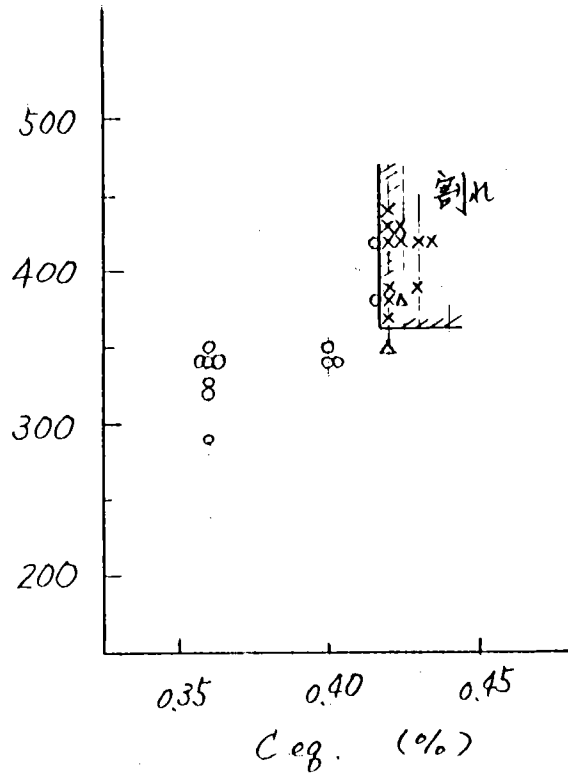
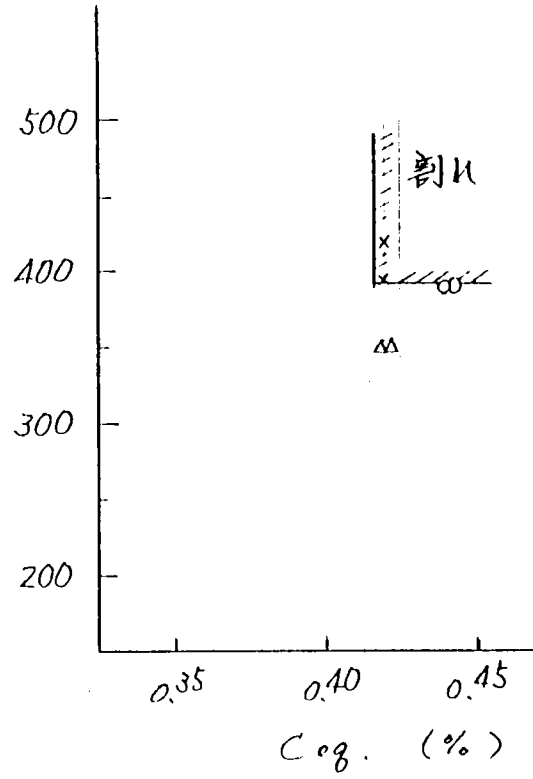


図17 仮付長さとHAZ最高硬さとの関係 6)

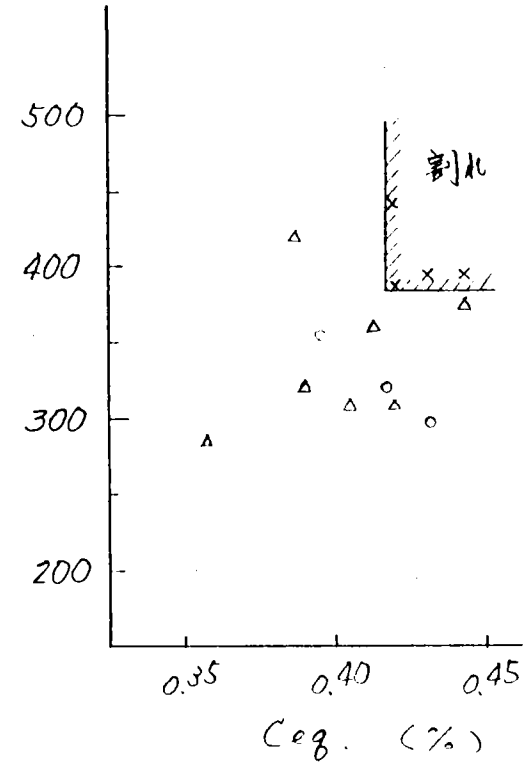
- 割れなし
- △ ヒールクラック (30%未満)
- × ヒールクラック (30%以上)



(a) 脚長 4 mm

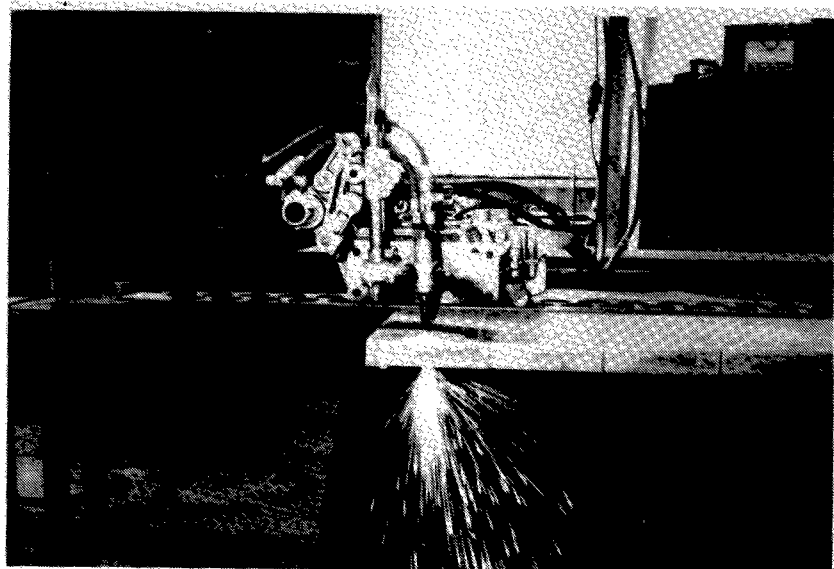


(b) 脚長 6 mm



(c) 従来データ\*  
(脚長 6 mm)

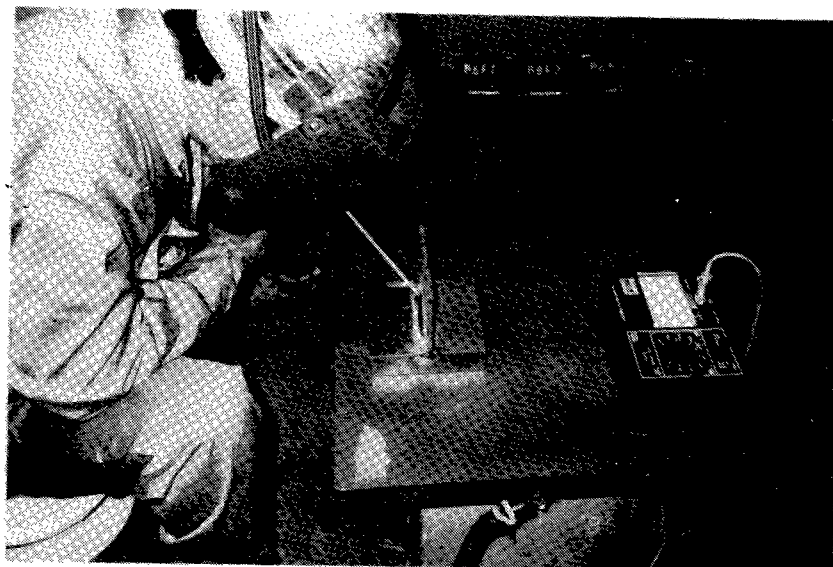
図18 ヒール・クラック感受性に及ぼす鋼材の炭素当量 およびH A Z最高硬さの影響(\* 木原ほか)<sup>1)</sup>



FUJICOLOR 87

(ToH 701001)

写真1 試験体切断中



FUJICOLOR 87

(ToH 701002)

写真2 仮付溶接(本溶接)直後

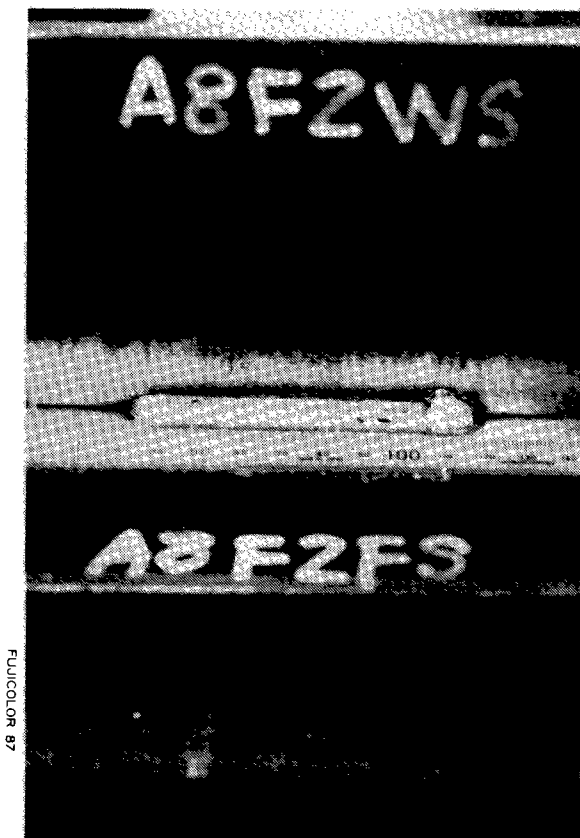




非拘束  
 ギャップ 1 mm  
 脚長 6 mm

(TOH 701003)

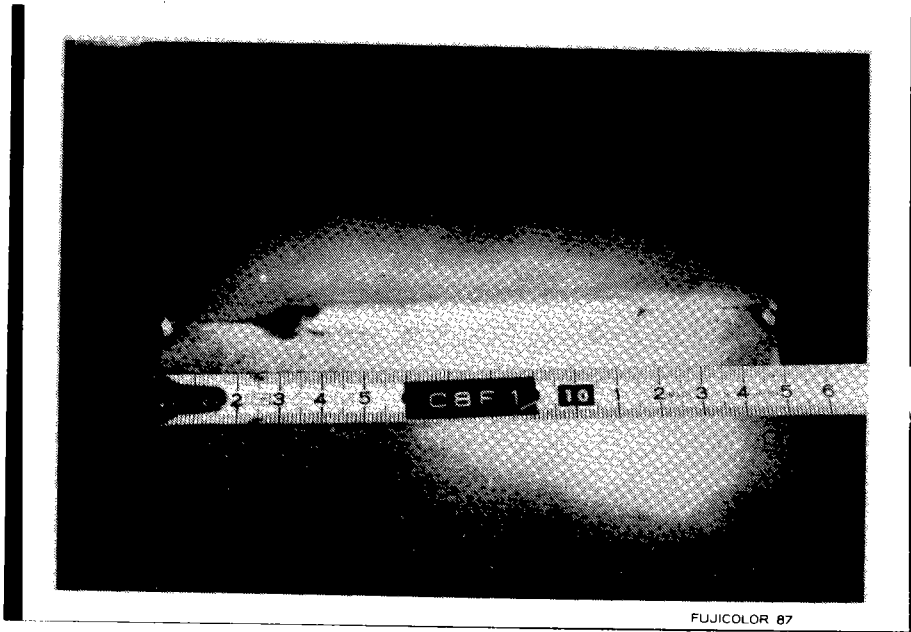
写真3 SMAWのビード外観の一例



非拘束  
 ギャップ 1 mm  
 脚長 4 mm

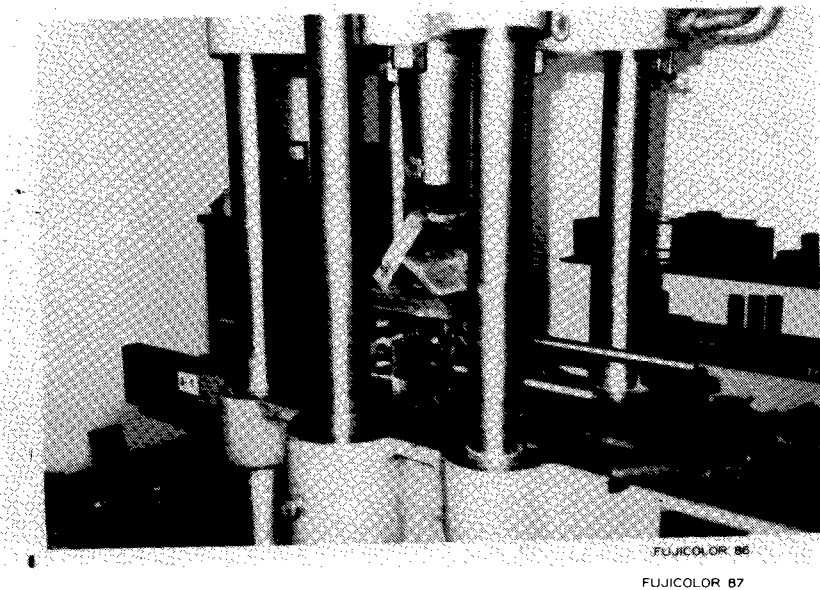
(TOH 701004)

写真4 CO<sub>2</sub> 溶接のビード外観の一例



(TOH701005)

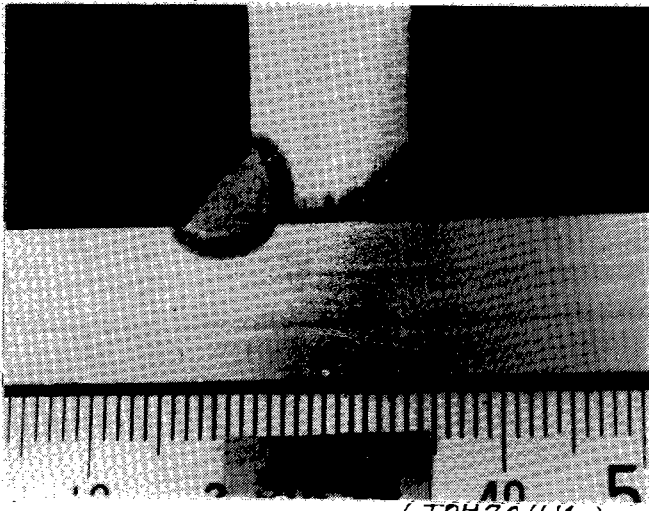
写真5 カラーチェック後の試験体の一例



(TOH701006)

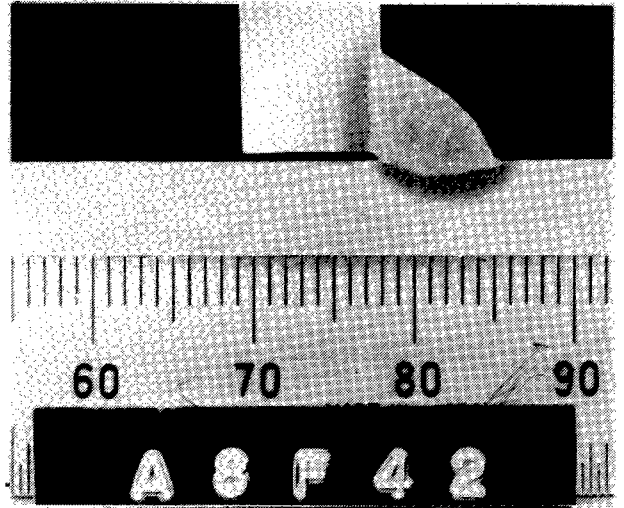
写真6 破断試験





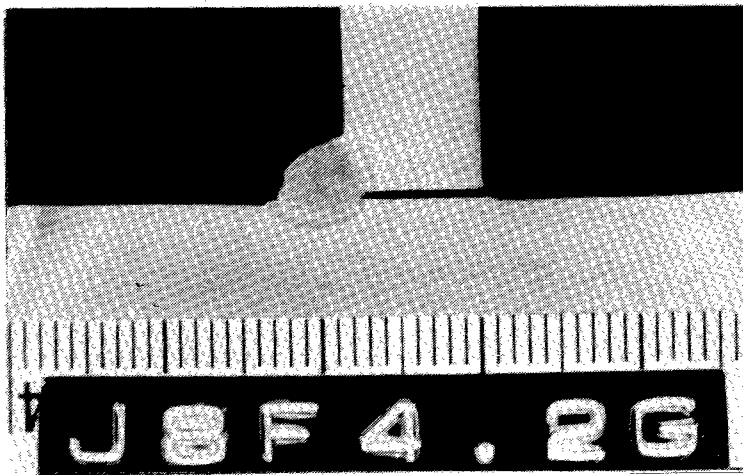
(TOH701111)

SMAW, 脚長 4mm  
ル-トギヤ7° 1mm, 非拘束



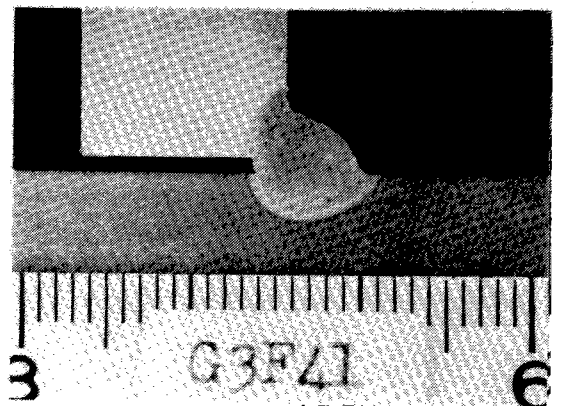
(TOH701112)

SMAW, 脚長 6mm  
ル-トギヤ7° 1mm, 非拘束



(TOH701113)

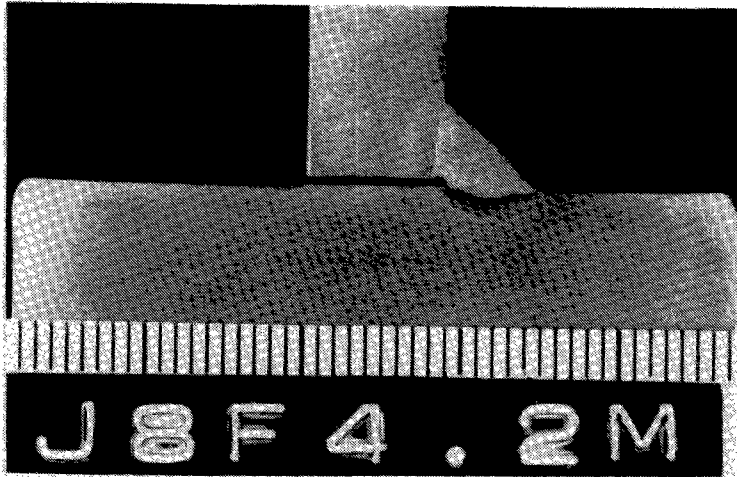
CO2 溶接, 脚長 4mm  
ル-トギヤ7° 0.6mm



(TOH701114)

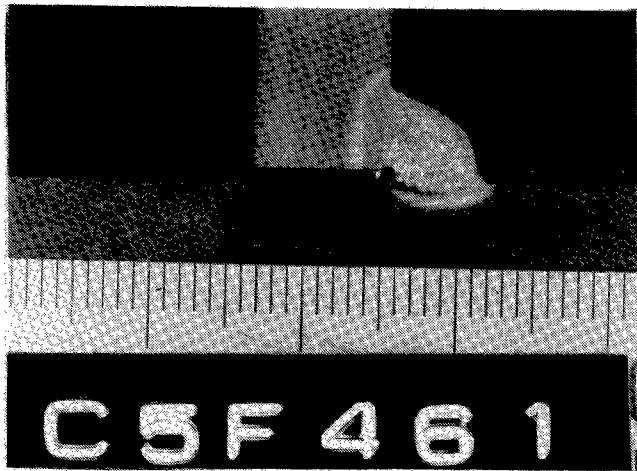
CO2 溶接, 脚長 4mm  
ル-トギヤ7° 1.0mm

写真8 割れなしのマクロ断面



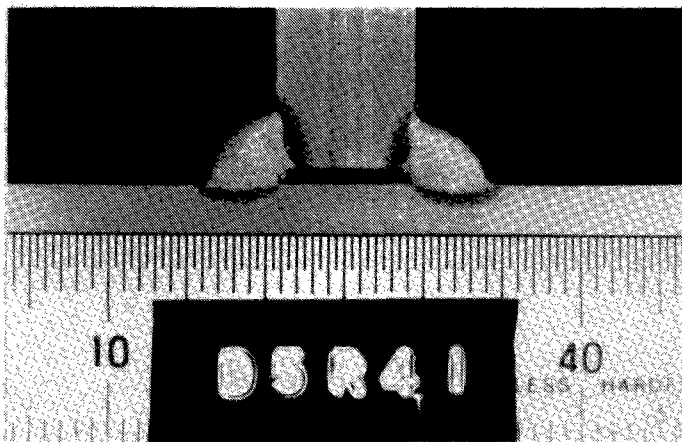
(TOH701115)

SMAW  
 非拘束型  
 ギャップ° 0.6 mm  
 脚長 4 mm  
 ヒールクラック



(TOH701116)

SMAW  
 非拘束型  
 ギャップ° 1.0 mm  
 脚長 6 mm  
 ヒールクラック



(TOH701117)

SMAW  
 拘束型  
 ギャップ° 1.0 mm  
 脚長 4 mm  
 ルークラック  
 (ウェブ側)に発生している)

写真9 発生した割れの典型的なマクロ断面

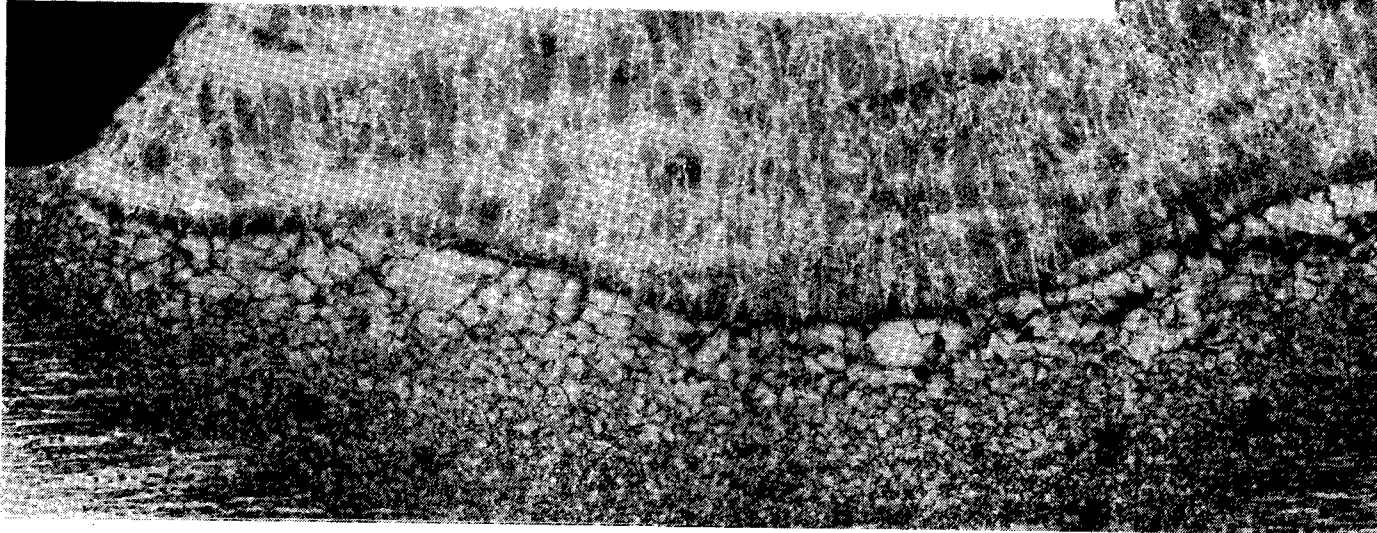
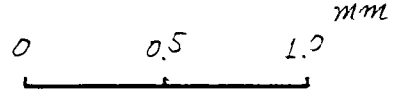
写 10



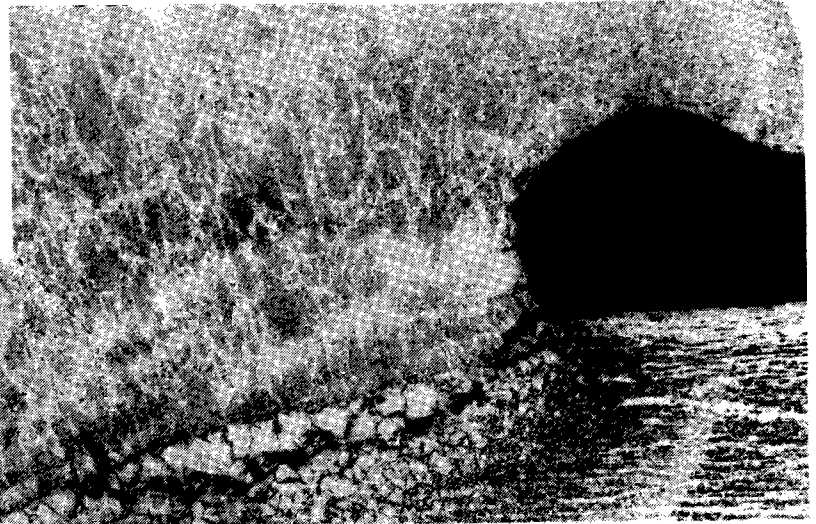
(TOH 701118)

↑  
拡大

SMAN  
脚長 4 mm  
ギャップ 0.6 mm  
非拘束型  
板厚 80 mm



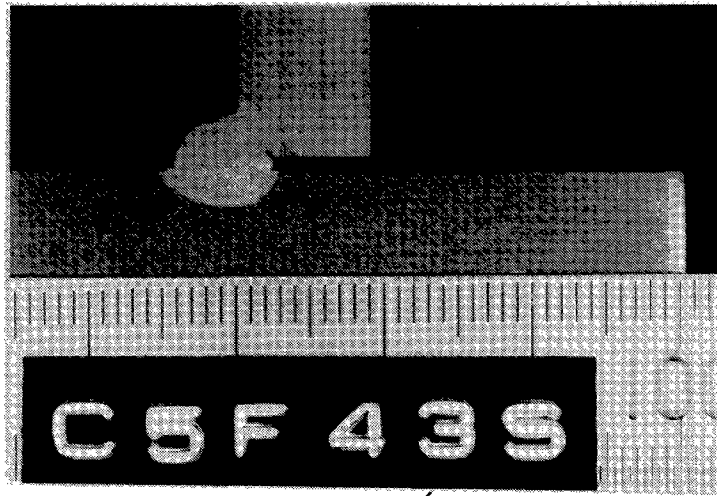
(TOH 700615)



(TOH 700613)

(TOH 700614)

写真 10 発生した割れのマイクロ写真(ヒール・クラック)

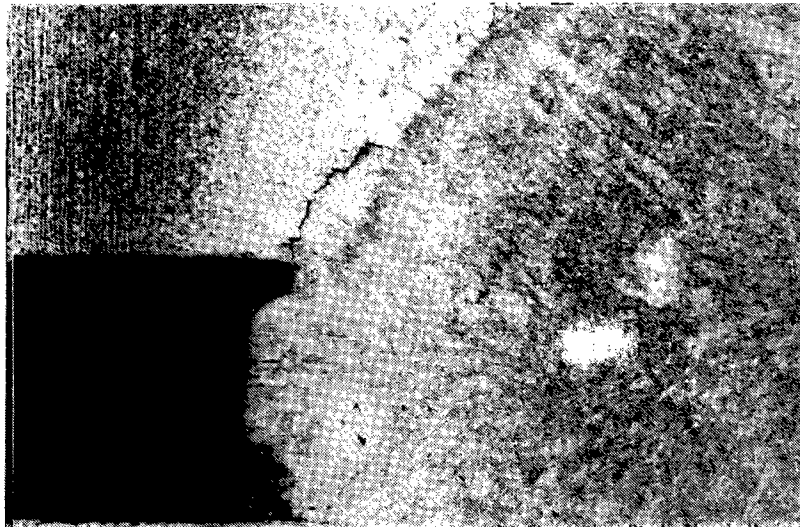


CO<sub>2</sub> 溶接  
脚長 4 mm  
ギャップ 10 mm  
非拘束型  
板厚 50 mm

(TOH701119)

拡大

0 0.5 1.0 mm



(TOH700602)

写真11 発生した割れのマイクロ写真(ルート・クラック)