

鋼床版箱桁橋現場溶接施工

Execution of Field Welding for Box Girder Bridge with Steel Plate Deck

菅野啓行*
Yoshiyuki KANNO

1. まえがき

鋼床版形式の橋梁は鋼床版が主構としての役割と同時に、床版としての役割を果たすため、全体として死荷重を軽減できる特長があり、橋梁の長大化に伴い、ますます増加していく傾向にある。

さらに、この鋼床版の現場継手を溶接で施工した場合には、添接板、高力ボルトが不要となるため、

(1) 死荷重をより軽減できる。

(2) 舗装厚を低減できる。

等の利点を有することに加え、溶接技術の進歩により現場溶接に対する信頼性が、より高まってきたため、鋼床版形式の橋梁において、その現場継手を溶接で施工することが数多くみられるようになった。

本稿では「江戸川橋」の現場溶接施工を中心に、鋼床版の現場溶接施工についての現状と問題点等について紹介する。

2. 溶接施工

2-1 溶接方法

鋼床版の現場溶接方法としては

- (1) 鋼製裏あて金を用い、炭酸ガスアーク溶接で施工する方法
- (2) 鋼製裏あて金を用い、サブマージアーク溶接で施工する方法
- (3) 溶接後、取外しできる簡易裏あて材を用い、サブマージアーク溶接で施工する方法

等が考えられるが、(1)では炭酸ガスアーク溶接なので、現場溶接に用いた場合、耐風性の点で問題があり、(2)、(3)の場合に比較し、施工管理が難しいと、欠陥の発生率が高くなることが考えられる。また、(1)及び(2)では、溶接終了後、裏あて金が残り、橋の疲労強度が低下する。このため「江戸川橋」では、(3)の施工方法を用いることにした。

この方法は、鋼床版裏面に簡易裏あて材を取付け、表面からの溶接で裏波を形成させ、裏面から溶接すること

なしに完全溶込み溶接部を得ようとするもので、サブマージアーク溶接による片面自動溶接と言われるもの（以下、片面自動溶接と呼ぶ）で、その概略を図-1に示す。

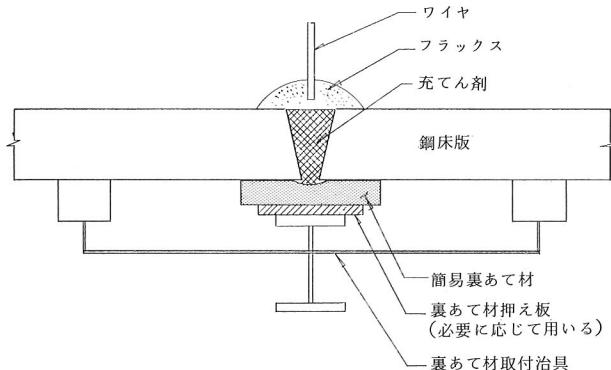


図-1 片面自動溶接の概略

2-2 溶接材料及び溶接施工条件

片面自動溶接が工場溶接に用いられることは、ほとんどないため、現場溶接に先立ち、検討及び試験を行ない使用する溶接材料（以下、溶材と呼ぶ）を選定し、溶接施工条件を決定した。

2-2-1 溶材の選定

片面自動溶接に用いる溶材は、ワイヤ、フラックスのほかに、裏あて材及び充てん剤が必要で、裏あて材は、鋼床版裏面に密着し、裏波を良好に形成させるために開先部の目違いに対する順応性が要求され、充てん剤は、溶接に先立ち開先内に散布するもので、溶着効率を向上し、裏あて材を保護するものである。

溶材の選定にあたっては

- (1) 取扱いが便利であること。
- (2) 軽量であること。
- (3) 作業性が良好なこと。
- (4) 裏あて材は、着脱が容易なこと。
- (5) 吸湿しにくいこと。

(6) 管理しやすいこと。

という点から検討し、表-1に示す溶材を用いることにした。

また、この溶材については、試験により作業性及び溶接部の機械的性質を確認した。

表-1 溶接材料

溶接方法	溶接材料	ワイヤ径又は粒度	メーカー	備考
片面自動溶接 (サブマージ アーカ溶接)	U S - 36	4.8 mm ϕ	神鋼	ワイヤ
	M F - 38	20 × D	"	フラックス
	F A B - 1	—	"	簡易裏あて材
	R R - 2	—	"	充てん剤

2-2-2 溶接施工条件の選定

片面自動溶接で良好な裏波を形成し、健全な溶接部を得るには、適正な開先形状と、その溶接条件を求める必要があり、施工試験を行なって、これらを決定するとともに併せて以下の事項についても調査した。

- (1) 開先形状の許容範囲
- (2) 溶材の適合性の確認
- (3) 裏あて材の取付方法
- (4) 片面自動溶接に生じる欠陥

この施工試験の結果、良好な裏波を形成する開先形状と、その溶接条件を得た。図-2に開先形状と許容範囲、表-2に溶接条件、写真-1に裏波ビードを示す。

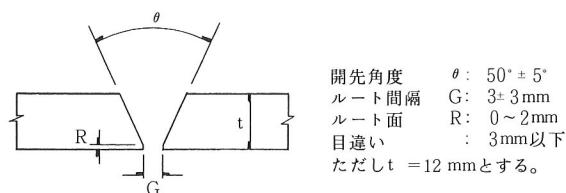


図-2 開先形状及び許容範囲

表-2 溶接条件

ルート間隔 (mm)	充てん剤 散布高さ (mm)	溶接条件		
		電流(A)	電圧(V)	速度(cm/min)
0 ~ 1.0	板厚と同程度 板厚 + 2 mm	8.50 ± 3.0	3.4 ± 2	2.8 ± 5
1.1 ~ 3.0		8.30 ± 3.0	3.4 ± 2	2.8 ± 5
3.1 ~ 6.0		8.00 ± 3.0	3.4 ± 2	2.8 ± 5

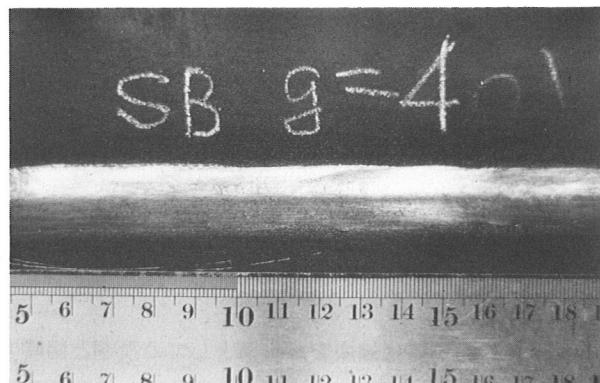


写真-1 裏波形状

また、この試験より以下のこともわかった。

- (1) 使用した溶材は、溶接部の強度が十分で、作業性も良好である。写真2～4に継手引張試験結果、裏曲げ試験結果、マクロ試験結果を示す。
- (2) 裏あて材の取付けにマグネットランプを用いると裏あて材の着脱が容易に行え、作業性も良く、マグネットランプの落下もなく、現場で用いるのに適している事。

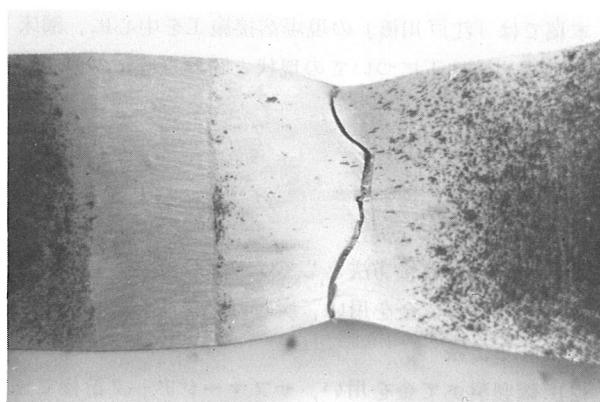


写真-2 継手引張試験結果

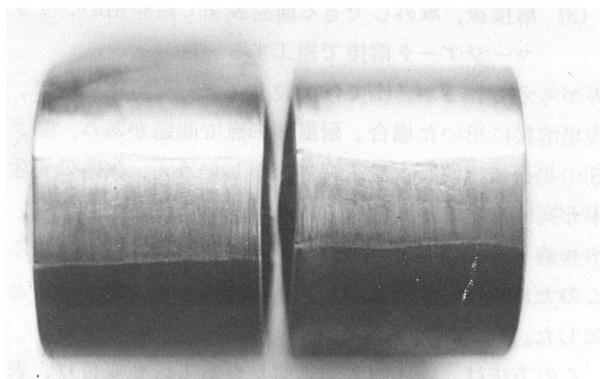


写真-3 裏曲げ試験結果

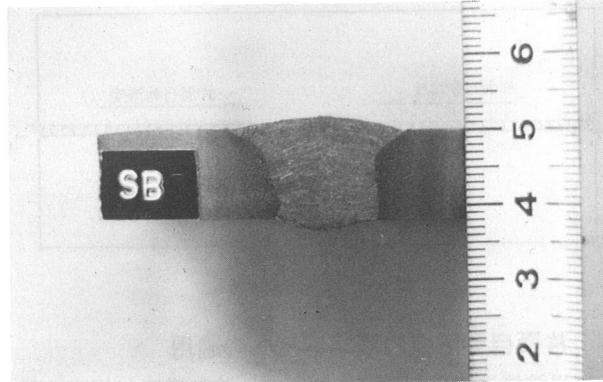


写真-4 マクロ試験結果

- (3) 終端割れという片面自動溶接特有の割れが生じる可能性がある事。
- (4) 終端割れのほかに、パイピング、裏波ビード不揃い、溶落ち、スラグ巻込み等の欠陥が生じやすい事。
- (4)の欠陥は、溶接部の清掃の撤底、溶材の乾燥、適正溶接条件の選定、ワイヤねらい位置の修正等、施工管理を十分行えば防止できると考えるが、割れは鋼構造物にとって非常に重大な欠陥で発生させてはならない。そこで、終端割れについてさらに検討した。

2-3 終端割れの発生機構及びその防止対策

2-3-1 終端割れの発生機構

一般に、突合せ溶接では溶接速度の変化により、溶接継手部に図-3に示すような曲げモーメントが働く。

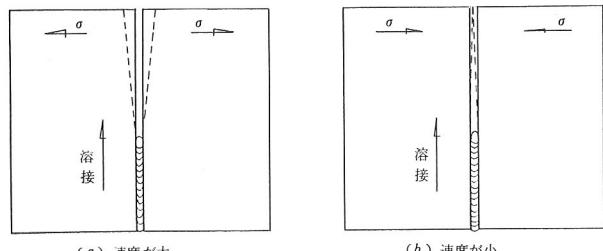


図-3 溶接継手に働く曲げモーメント

溶接速度が大きい場合は、溶接の進行に伴い、継手が開こうとする力が作用し、逆に遅い場合には、開先を縮めようとする力が働く。片面自動溶接では、溶接の進行に伴い図-3の(a)に示すようなモーメントが働く。

ここで、片面自動溶接が継手終端部まで進行した場合を考えてみると、図-4に示すようになる。

片面自動溶接によって継手端部の仮付ビードが溶かされると、それまで仮付ビードによって拘束されていた曲

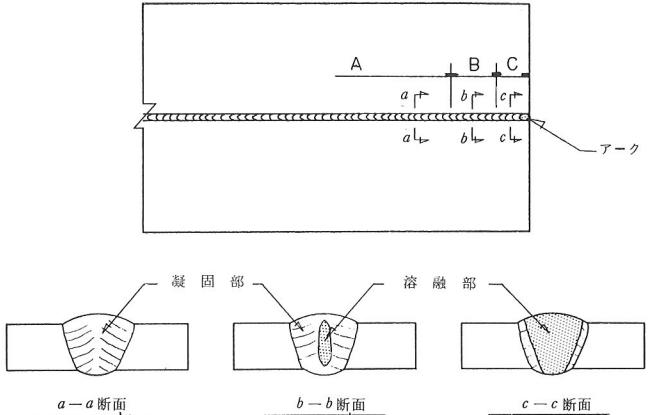


図-4 片面自動溶接の進行

げモーメントが開放されて継手に作用し、開先が開こうとする。この時、A部では既に凝固が完了しているので大きく変形することはないが、B、C部においては、大きく変形する。B部では、凝固が完全に終了しておらず、図-4のb-b断面に示すように、まだ、液状の部分が存在しているため、この部分が変形に対して即応できず割れが発生する。一方、C部では、ほとんど溶融状態にあるので割れは起こらない。¹⁾

このため、片面自動溶接の終端割れは、図-5に示すように、継手終端部よりすこし手前で起こる。

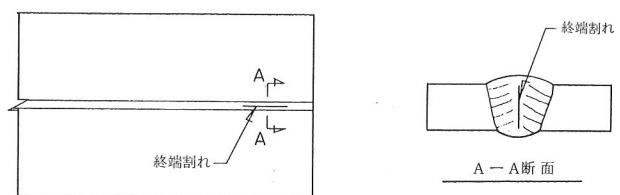


図-5 終端割れ

2-3-2 終端割れの防止対策

終端割れは、上述したように、継手終端部の仮付ビードを溶融させた際に開放される曲げモーメントによって生じるのであるから、片面自動溶接による裏波を終端部で形成させなければ、割れは起こらないはずであり、実施工上では、以下のようないくつかの防止対策が考えられる。

1) シーリングビード法

シーリングビード法は、溶接継手終端部にあらかじめ図-6に示すように被覆アーチ溶接で拘束溶接を行っておき、この部分では、片面自動溶接の裏波を出さないことにより、曲げモーメントによる変形を起こさないようにする方法である。

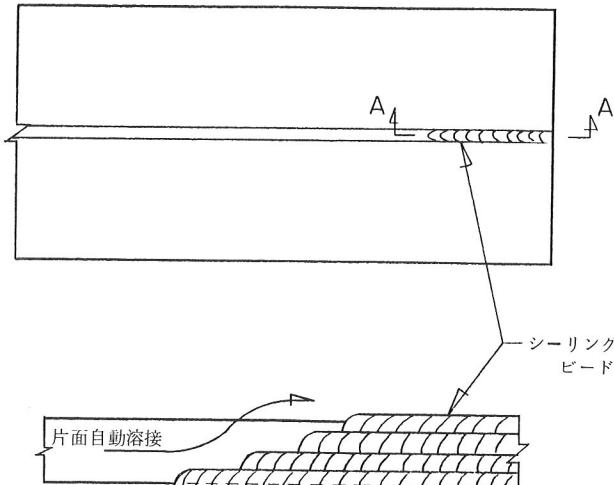


図-6 シーリングビード

2) ビード会合法

ビード会合法は、図-7に示すように片面自動溶接を継手両端から始め、互いの溶接を継手中央で会合させ、片面自動溶接の終りを継手端部に持てこないようする方法である。

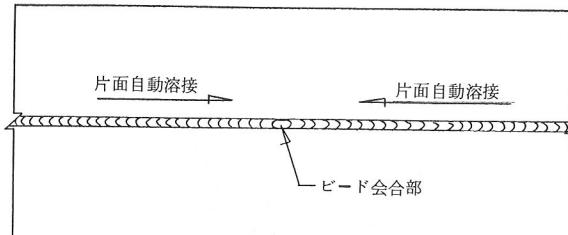


図-7 ビード会合法

3. 片面自動溶接の現場溶接への適用

現場溶接は工場溶接に比較して、溶接環境が極端に不利となる場合が多く、溶接部の品質の確保が難しい。

このため「江戸川橋」の現場溶接に際しては、上述したようなことに加え、現場での状況を考慮し、以下のことがらについても十分な検討を行ってから実施工を行った。

- (1) 溶接変形による影響
- (2) 高力ボルトと溶接の施工順序
- (3) 溶接環境（主に天候）による溶接作業の可否
- (4) 終端割れの防止
- (5) ルート間隔の確保

「江戸川橋」の現場溶接箇所の概略を図-8に示す。

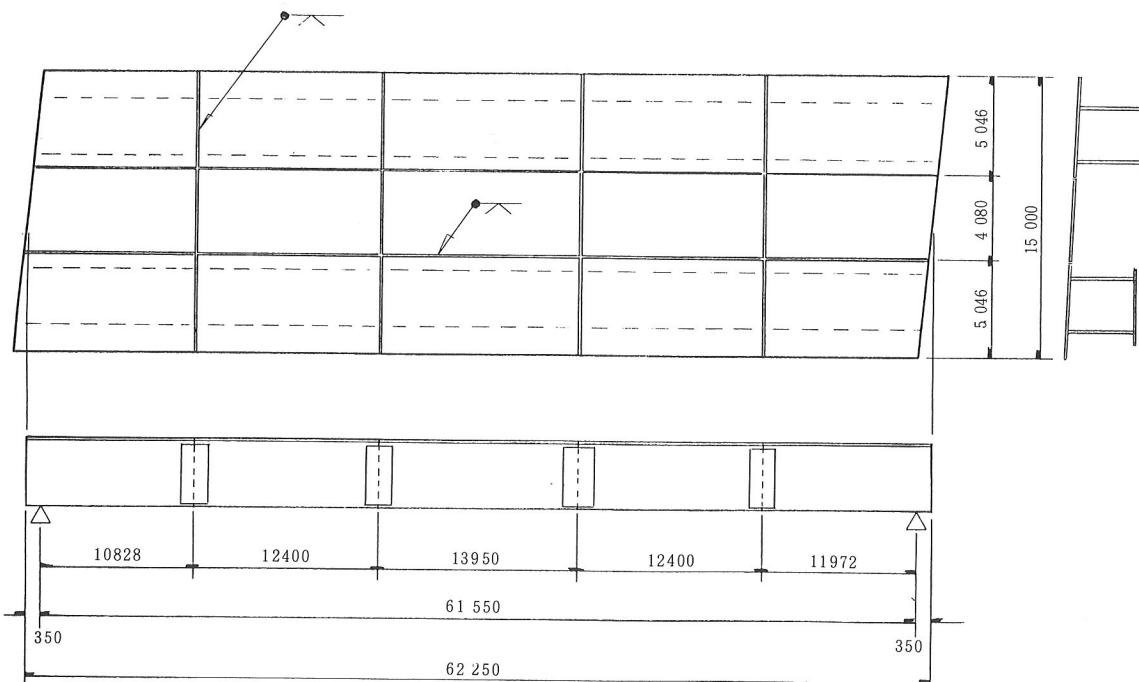


図-8 鋼床版の現場溶接箇所

3-1 溶接変形による影響

「江戸川橋」の現場継手では、鋼床版が溶接、ウェブ、下フランジが高力ボルトによる接合になっているため溶接後、鋼床版が収縮し、タワミが生じ、キャンバーが不足することが予想されるので施工前にこのタワミ量を想定し、この分だけキャンバーを上げ越しておくことにした。

鋼床版が溶接により Δl だけ収縮すると、図-9に示すようなタワミが桁に生じる。

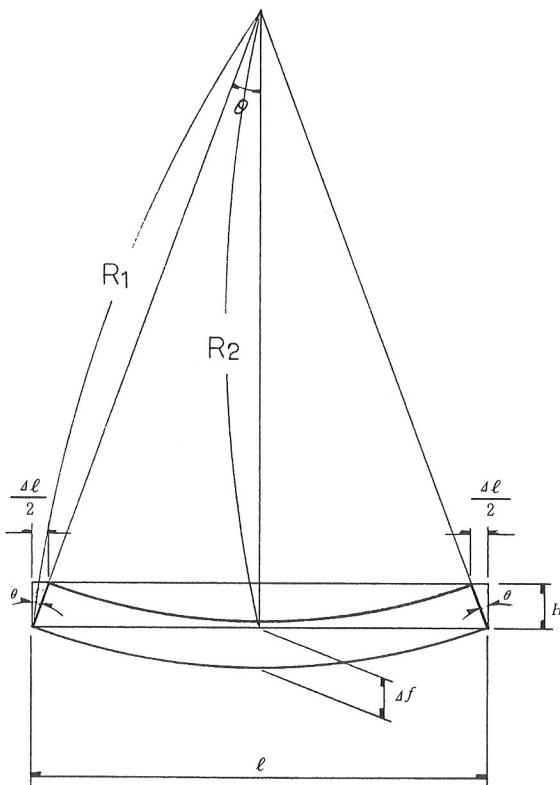


図-9 溶接収縮によるタワミ量

このタワミ量を Δf とすると、 Δf は

$$\begin{aligned} \Delta f &= R_1 - R_2 \\ R_2 &= R_1 \cos \theta \quad \text{より} \\ \Delta f &= R_1 (1 - \cos \theta) \end{aligned} \quad (1) \text{式}$$

また、図より

$$R_1 = \frac{l}{2 \sin \theta} \quad (2) \text{式}$$

$$\tan \theta = \frac{\Delta l}{2H} \quad (3) \text{式}$$

ここで Δl : 鋼床版の収縮量 (mm)

H : 桁高 (mm)

l : 支間長 (mm)

で表わされる。一方、溶接によって生じる収縮は実験式によって求められ、次式で表わされる。

$$\Delta l = (0.18 \times \frac{A_w}{t} + 0.05d) \times 0.5 \quad (4) \text{式}$$

Δl : 溶接による収縮量

A_w : 溶着断面積 (mm²)

t : 板厚 (mm)

d : ルート間隔 (mm)

実橋で計測の結果、次式で求めた値の方が、(4)式で求めた値より実際の収縮量に近い値が得られたという報告²⁾がある。

$$\Delta l = (0.18 \times \frac{A_w}{t} + 0.05d) \times 0.67 \quad (5) \text{式}$$

我々の過去の実績でも(5)式で求めた値の方が実測値に近い値が得られているので、溶接収縮量は(5)式で求ることにした。

(5)式により「江戸川橋」の1継手に生じる溶接収縮量を計算すると、

$$\Delta l = 3 \text{ mm}$$

現場継手が4箇所あるので、鋼床版全体の収縮量は12mmと考えられる。また「江戸川橋」では、桁高平均が302.8 mm、支間長が61550 mmなので、(1), (2), (3)式を用いてタワミ量を計算すると

$$\Delta f = 30.44 \text{ mm}$$

よって、溶接収縮により支間中央で30.44 mmのタワミが生じると考えられるので、キャンバーの上げ越し量を30.44 mmとした。

3-2 高力ボルトと溶接の施工順序

道路橋示方書³⁾では「溶接と高力ボルト摩擦接合とを併用する場合、溶接に対する拘束を少なくし、また、溶接に伴う変形によってすべり耐力が低下しないように、溶接後にボルト締めを行うのを原則とする」としている。一方、関西道路研究会では、ウェブの下から%と下フランジは溶接収縮による変化がないと報告⁴⁾している。そこで「江戸川橋」では、ウェブの下半分と下フランジを溶接前に本締めし、ウェブの上半分については溶接後本

締めした。

溶接後、上半分の仮締めボルトが抜けにくかった程度で特に問題はなかった。

3-3 溶接環境による溶接作業の可否

現場の施工時期によっても異なるが、気象条件により溶接作業の可否が左右され、工程に支障をきたすことが考えられるので、

- (1) 気象条件のよい日には、できるだけ工程を進める。
- (2) 風による影響を避けるため、防風用のシェルターを用いる。

等の対策を講じ、気象条件による影響を極力避けるようにした。

防風用のシェルターは現場で単管とシートを利用してつくり、このシェルターで溶接部を保護し溶接を行った。この時の溶接状況を写真-5に示す。シェルターは防風効果がよく、現場で簡単につくることができる所以現場溶接では有効な方法であった。



写真-5 防風用シェルター

3-4 終端割れの防止

終端割れの防止方法として、シーリングビード法を用いることにし、片面自動溶接に先立ち、継手始終端部及び継手交差部を行ったが、割れを完全に防止するにはいたらなかった。また、シーリングビードでプローホール、スラグ巻込み等の欠陥が生じた箇所があった。

この問題は鋼床版の現場溶接に付随する最大の課題であり、さらに検討を重ねなければならない。

3-5 開先間隔の確保

片面自動溶接では、開先間隔の大小により、溶接結果

が大きく影響を受けるので、所定の開先間隔を確保する必要があるが、現場においては開先間隔の確保が難しいと考えられるので、工場仮組時にあらかじめ図-10に示すような開先間隔保持治具を取付けておき、現場で開先間隔が容易に確保できるようにした。

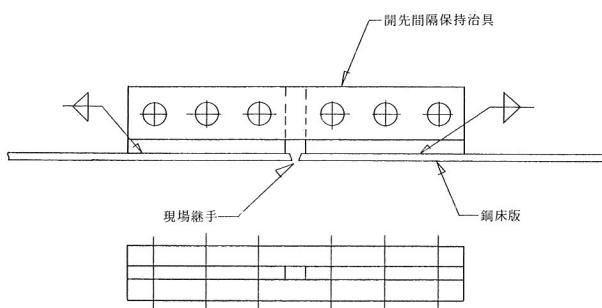


図-10 開先間隔保持治具

4. あとがき

鋼床版の現場溶接について、溶接方法、問題点、検討事項について述べたが、実施工に際しては、上述したこと以外にも大小さまざまな問題点が起き、かならずしも満足できる結果ばかりではなかった。

以上、本稿では「江戸川橋」の鋼床版の現場溶接を中心に一般事項も含め紹介した。

参考文献

- 1) 安藤・仲田・平野：片面自動溶接における終端割れの発生機構、溶接学会誌 Vol. 39 No. 8
- 2) 吉沢・山中・深津・池田：千鳥大橋鋼床版現場溶接、橋梁と基礎、昭和 52 年 2 月
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、昭和 55 年 2 月
- 4) 施工研究会：鋼床版の片面自動溶接に関する研究、溶接技術、1971 年 9 月