8．製作からみた構造ディテールの問題点と改善案

(1) 概　　要

疲労損傷の発生は溶接の品質にも大きく依存する．したがって良好な溶接が可能なすなわち欠陥等が発生しにくい構造ディテールを採用することは疲労損傷を防止するために重要である．構造ディテールによっては必然的に欠陥を含んだり，ビード形状が劣悪となったり，欠陥の検査が不可能となったりすることがある．

鋼床版は一般的に，他の鋼構造物より薄い鋼材から構成されており，溶接量は多く複雑な構造ディテールも多い．したがって鋼床版部材の製作にあたっては以下の事が重要となる．

① 溶接変形のコントロール
② 疲労による損傷等の問題が予想される部分の品質の確保
③ 自動化の推進による品質の均一化

変形のコントロールに関しては組立方法，溶接の順番等を十分吟味することが重要である．製作方法としては，各パネル(鋼床版，ウェブ，下フランジおよびダイヤフラム等)の補剛材等の取付け—溶接—ひずみ取りを行いパネルとして完成させた後，全体の組立を行うパネル工法と，ほとんどの部品を仮付けの状態で全体の組立を行う総組立工法とがある．前者は作業の効率上優れているが，組立前のひずみ取りや溶接による収縮の管理を充分に行う必要がある．また後者は溶接の変形のコントロールの点からは優れているが，全体組立後の溶接では狭あいな部分での作業や溶接姿勢の確保の面で十分な検討が必要となる．以下に疲労損傷の防止という観点から製作の現状と留意点について述べるが一般的には現在とられている製作方法においては問題は起こらないものと思われる．

本書の前章でも議論されているが，疲労による損傷等の問題が考えられる部分としては以下の部分が重要と思われ，実施工の品質管理を行う上での着目点となろう．

① デッキプレートとトラフリブの溶接
② 横リブとデッキプレートの溶接
③ 横リブとトラフリブの交差部（スカーラップ部）
④ 横リブとトラフリブ端部の溶接
⑤ トラフリブの突合せ溶接
⑥ コーナープレートの溶接
⑦ デッキプレートの突合せ溶接

上記の疲労損傷の発生に関しては前述の通り種々の実験が行われているが，実施工で考慮する際には構造物における荷重の状況等を吟味した上で慎重に取扱う必要がある．

自動化の推進は省力化とともに，品質の均一化という意義がある．例えば，横リブとトラフリブの交差部のスカーラップのNC切断，デッキプレートとトラフリブ等縦リブの自動溶接，および現場におけるデッキプレートの突合せ溶接の自動化等により鋼床版の製作精度や溶接品質が大きく向上していると思われる．また最近ではパネルの製作にロボットが導入される場合もある．

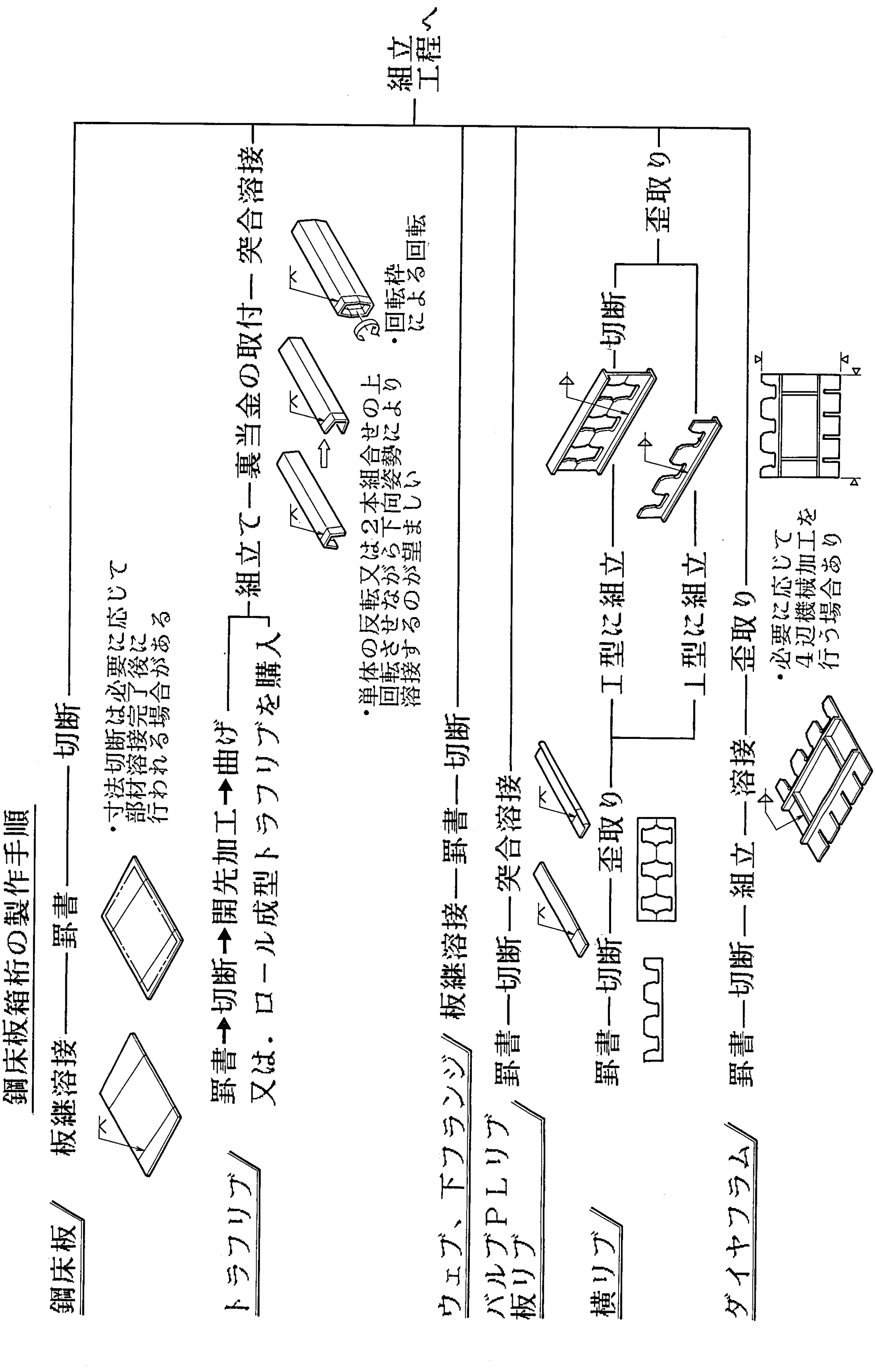


図8—1 鋼床版箱桁の製作手順

組立て工程

パネル工法の場合

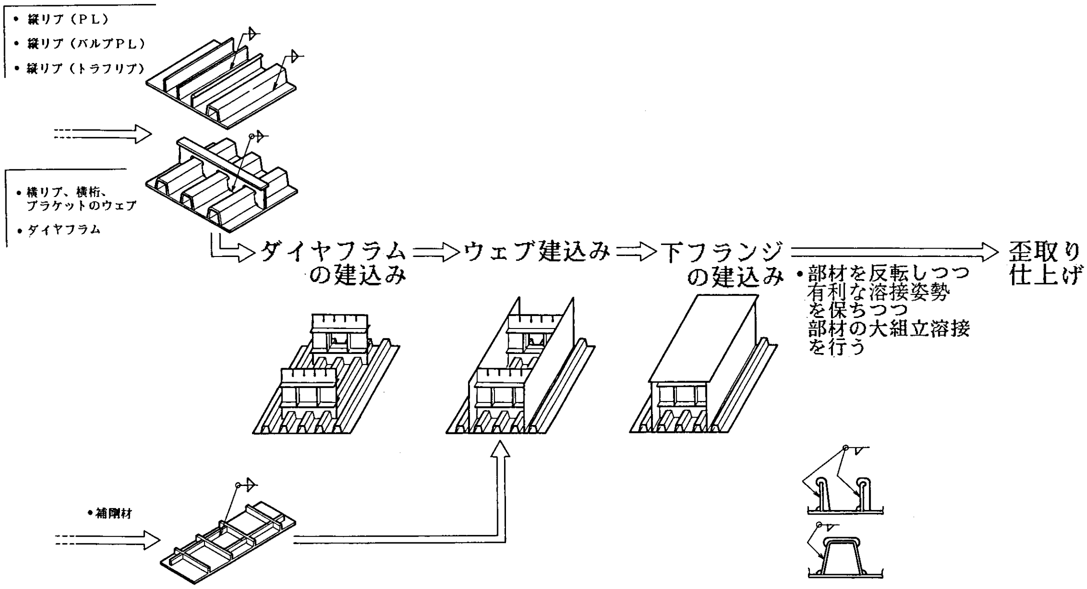
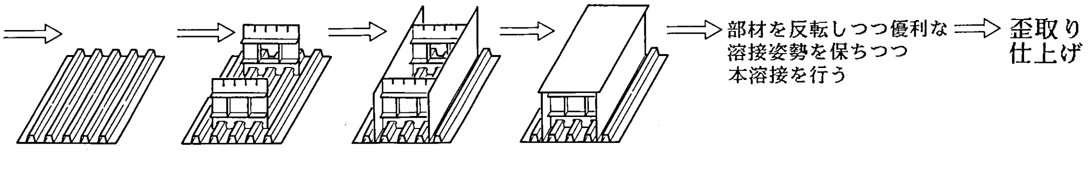


図 8—2　組立て工程（パネル工法の場合）

総組立工法の場合

下図の手順で仮付けによる組立を行う



主な溶接箇所

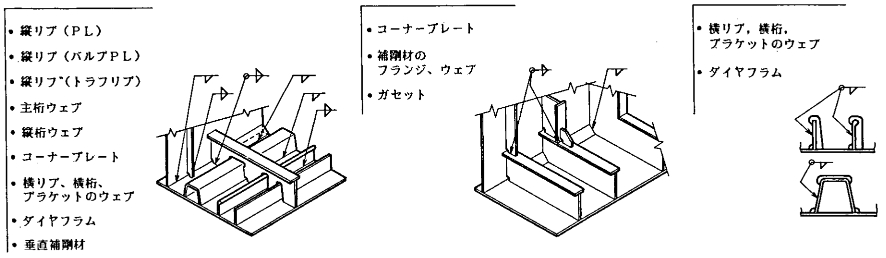


図 8—3　組立て工程（総組立工法の場合）

さて近年の構造物の大型化により鋼床版部材も工場の屋内の製作が可能な限度を超えた寸法で計画される場合がある．このように出荷ブロックが大きい場合，工場建屋内で完成された小ブロックを屋外で組立し，溶接接合等にて出荷ブロックにする方法がとられる．この溶接は通常ヤード溶接と呼ばれるが，品質管理上の取扱いは発注者により判断が異なるが，安全側に考え，現場溶接に準じて取り扱われる場合もある．

架設現場にて行われる溶接としては主に鋼床版突合せ溶接やトラフリブの突合せ溶接があり，特殊な例としては現場継手にまたがる部分のコーナープレートの溶接等がある．本章ではまず鋼床版部材の製作の手順および溶接方法について述べた後，以上に挙げた部分に関し，製作の現状と留意点を個々に検討する．

（2） 製作の手順

鋼床版を有する構造としては主に，鋼床版箱桁，鋼床版鈑桁およびトラス橋等に搭載される鋼床版桁等があるが，ここでは代表例として，鋼床版箱桁をとりあげ，パネル工法と総組立工法（**写真 8—1**）のそれぞれについての製作手順を図 8—1～8—3 に示す．

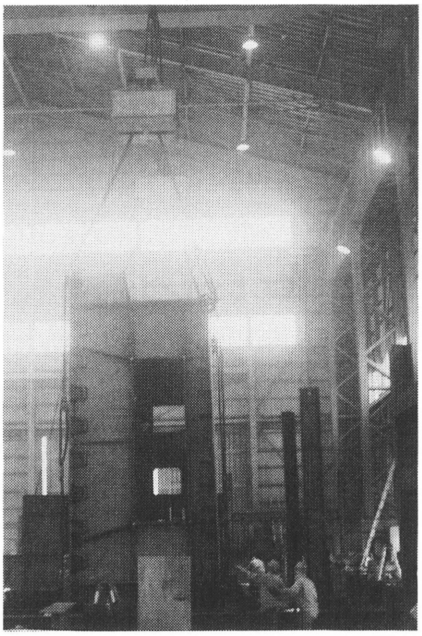


写真 8—1 総組立による製作
（全体組立後の溶接は部材を反転しつつ行う）

（3） 製作の現状と留意事項

組立や溶接施工上の問題，欠陥の種類や補修方法，検査方法等を施工上問題となる溶接箇所に対してまとめたものを**表 8—1** に示す．また，それぞれの詳細については以下に述べる．

1）デッキプレートとトラフリブの溶接

① 製作の現状

トラフリブは閉断面であるために，デッキプレートとトラフリブの溶接は必然的に片面溶接となる．また，トラフリブの開先形状は図 8—4 に示すように各種の形状が有り，各国異なった方法にて使用されている．わが国では，6 mm のトラフリブでは開先加工を行わず，自然開先のまますみ肉溶接を行う方法が一般的である（**写真 8—2**）．

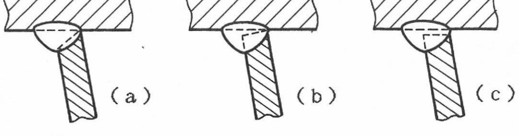


図 8—4 トラフリブとデッキプレートの開先形状[1)]

溶接は水平溶接で行われる．溶接方法は，組立方法と関連しており，デッキプレートにトラフリブのみ仮付けされた状態で先行溶接される場合は多電極の CO_2 自動溶接，トラフリブと横リブが同時に仮付けされる場合は，手溶接または CO_2 半自動溶接に

て行われるのが一般的で，横リブを自動的に避けながら溶接を行うNC自動溶接機も一部では実用化されている．デッキプレートの剛性が単体では小さいためにトラフリブとの組立精度は比較的良好でギャップは小さいと思われる．

② 疲労上の留意点

国内ではこの接合部の疲労亀裂の発生の報告例は現在までは伝えられていない．この接合部では溶接のルート部に大きな不溶着部を残さないこと，および必要のど厚の確保が最も重要である．Severn橋ではこのディテールでの疲労損傷が発生しており，そのため解析や実験により多くの検討が行われている．トラフリブの寸法や間隔がわが国と異なるため，ただちにわが国でも同様な疲労損傷が生じるとは考えられないが，今後注意をはらう必要があるだろう[1)~5)]．

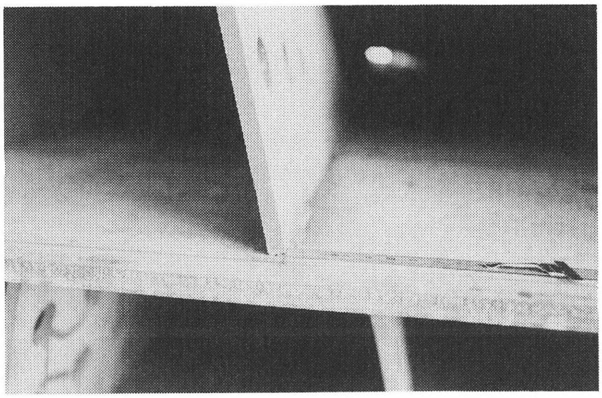


写真 8—2　トラフリブとデッキプレートの組立状況

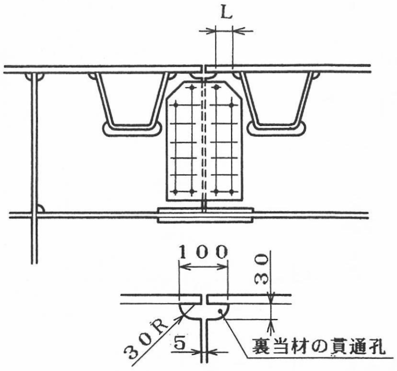


図 8—5　横リブ溶接のビードが短い部分[17)]

2）横リブとデッキプレートの溶接

① 製作の現状

わが国においては，ほとんどが縦リブ貫通型であり，諸外国で時々見られる横リブ貫通型はほとんどみられない．縦リブ貫通型では構造上，横リブとデッキプレートの溶接が縦リブにより分断される．したがって製作方法は，デッキプレートと縦リブを仮付けまたは本溶接した後に，Tセクションに組まれた横リブを取付けるのが一般的である（**写真 8—3**）．

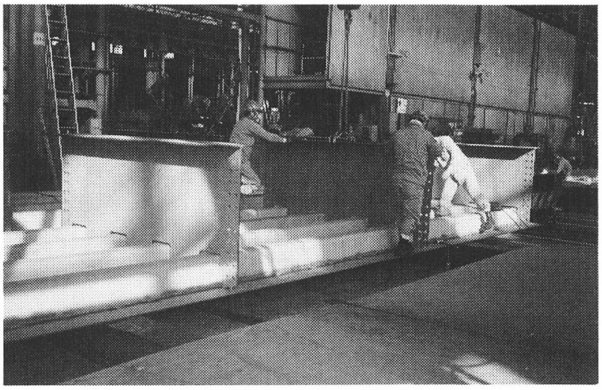


写真 8—3　横リブの組立

溶接は手溶接または半自動溶接で，水平すみ肉溶接で施工される．縦リブとのスカーラップ部の回し溶接は作業空間が狭いことはあるが，とくに困難なことはない．

② 疲労上の留意点

一般部のトラフリブとトラフリブの間では長さが340 mm前後であり，添接部においてはその約半分となり，溶接長が短くなることは構造上の問題である．

表 8—1　製作の現状と留意事項

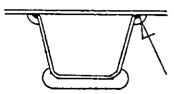
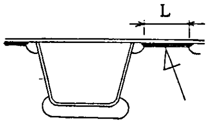
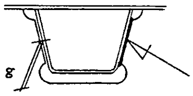
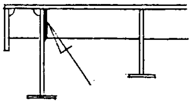
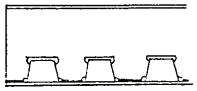
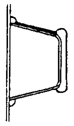
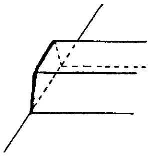
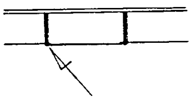
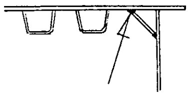
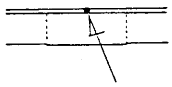
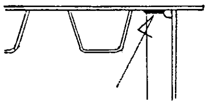
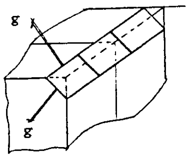
	①デッキプレートとトラフリブの溶接	②横リブとデッキプレートの溶接	③横リブとトラフリブの交差部の溶接	④トラフリブ端部と横リブの溶接
溶接箇所				
a 溶接方法、姿勢、開先の有無、裏当材等	・自動溶接（サブマージ、CO_2）、手溶接、CO_2半自動 ・水平溶接 ・トラフの板厚が 6 mmの場合通常自然開先 8 mmの場合特にきまりはないが開先をとることもある。	・手溶接、CO_2半自動 ・水平すみ肉溶接 	・手溶接、CO_2半自動 イ）水平すみ肉溶接  ロ）上下進によるすみ肉溶接 	・手溶接、CO_2半自動 ・裏当材付き完全溶込み、部分溶込み、すみ肉溶接のいずれのケースもある。 ・水平、上下進 
b 組立精度上の問題	――――	――――	・トラフの製品精度等の影響により、ギャップの精度確保が難しい。	――――
c 溶接施工上の注意点	・ルート非融合部の形状	・スカラップ部回し溶接	・イ)の場合勾配は特に問題ないが、ロ)の場合溶接作業者の技量の影響大。 いずれもデッキプレート側の回し溶接が難しい。	・ビードが集まった部分の処理が難しい。 ・平面上のスキューの場合鋭角側の溶接が難しい。
d 発生し易い欠陥の種類	――――	・スカラップ回し部のアンダーカット ・ウェブ側のアンダーカット ・棒継ぎ部のクレータのへこみ	②に同じ。他に ・ビード不整 ・ギャップが大きい場合スラグ巻き込み	・ビード不整
e 欠陥の補修方法	――――	・グラインダ処理 ・肉盛り	・グラインダ処理 ・肉盛り	・グラインダ処理 ・肉盛り
f 検査方法	・外観検査	・外観検査	・外観検査	・外観検査
g 溶接歪・拘束の問題	・横リブを付けないで溶接を先行させた場合変形大	――――	――――	――――
h その他の問題	・ギャップの分布 ・デッキプレートが下側に増厚された場合の対応	・スカラップ形状の改良を提案した文献もある。(文献 6)) ・上図 L が短い場合の損傷例がある.	・ギャップの分布 ・ギャップ大の場合の処理	・伸縮装置との取合のため第 1 横桁まで板リブを使用することもある。

表 8—1　製作の現状と留意事項（つづき）

溶接箇所	⑤トラフリブの現場突合せ溶接 	⑥コーナープレートの溶接 	⑦デッキプレートの突合せ溶接 	⑧デッキプレートと垂直補剛材の溶接 
a 溶接方法、姿勢、開先の有無、裏当材等	・手溶接、CO_2半自動 ・裏当金は FBや平板の曲げ、ダイヤフラム兼用 ・開先はＩ、レ、Ｖ ・［工場の場合］下向き、上下進 ［現場の場合］上向き、上下進	・手溶接、CO_2半自動 ・自然開先 ・［工場の場合］水平 ［現場の場合］上向き  	・自動溶接（サブマージ、CO_2） ・下向き	・手溶接、CO_2半自動 ・ほとんど水平すみ肉溶接
b 組立精度上の問題	・ルートギャップの確保 ・裏当金との密着	・工場組立時にギャップが生じ易い。 ・現場継手部の開先精度の確保	・適正ルートギャップの確保 ・目違いの修正	――――
c 溶接施工上の注意点	・［現場の場合］作業条件が悪く、作業者の技量に左右され易い。	・狭あいなためデッキ側の溶接が難しい。 ・［現場の場合］上向き姿勢で作業条件が悪く、良好な溶接が難しい。	・片面溶接のため欠陥率が高い可能性がある。	・スカラップの回し溶接
d 発生し易い欠陥の種類	・溶込み不良 ・スラグ巻き込み ・ビード不整 ・ブローホール	・のど厚不足 ・ビード不整	・交差部のブローホール等	――――
e 欠陥の補修方法	・カウジング後再溶接 ・グラインダ処理	・カウジング後再溶接 ・グラインダ処理 ・肉盛り	・カウジング後再溶接 ・グラインダ処理	――――
f 検査方法	・外観検査 ・ＰＴ ・ＲＴ（工場のみ）	・外観検査	・外観検査 ・ＲＴ ・ＵＴ	・外観検査
g 溶接歪・拘束の問題	――――	・拘束大	――――	――――
h その他の問題	・ルートギャップの分布（現場）	・ディテールとしては好ましくない。 ・断面構成溶接をかくしてしまうため好ましくない。	――――	――――

特に，デッキプレート現場溶接時のX線検査のためスカーラップがある場合はさらに短くなる．疲労上の問題点の1つは，このような鋼床版の現場継手部（図8—5）のように溶接長さ(L)が短くなる場合があることであり，このデッキプレートと横リブの溶接部に亀裂が発生した例がある．これは，舗装・デッキプレートを介して直接輪荷重を受け局部的に高い応力の繰り返しを受けることが原因として考えられる．現在，設計上水平せん断に対する照査が行われている場合もあるが，上記クラックは水平せん断によるものとは発生機構が異なると思われる．この短い溶接線に関しては，リブ間隔との関連で今後検討する必要があろう．また，一般的には図8—6のようにトラフリブ貫通部のスカーラップの回し溶接部に疲労亀裂が発生することが考えられ，実験では疲労亀裂の発生も一部報告されているが[6]，現在一般的に使用されているスカーラップ形状を有する実橋の疲労亀裂の発生はほとんど報告されていない．

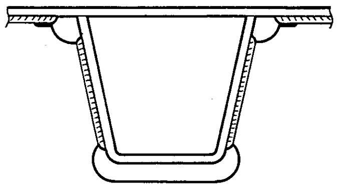


図8—6 トラフリブ貫通部スカーラップ回し溶接部の疲労亀裂発生予想箇所[6]

③ 製作上の留意点

溶接のほとんどが，水平すみ肉溶接であるため，回し部の溶接以外は溶接作業の困難さはさほどない．しかし，1溶接線が短く回し溶接があるために，溶接を自動化するのに適用が困難な場所である．

また，縦リブの溶接を先行して行う場合の溶接ひずみの矯正に多くの作業時間を費やしており，縦リブの溶接時に拘束しておき，拘束したまま横リブを取付けるなどの対策をとることも行われている．

3）横リブとトラフリブ交差部の溶接

① 製作の現状

阪神高速道路公団，名古屋高速道路公社においては，鋼床版の縦リブでは閉断面を用いることとなっており，曲率半径300m程度以下（長さ10mでライズ42mm）の製作加工不適当な場合以外閉リブを用いるのが原則となっている[19]．このように閉リブはその有効性が認められ，縦リブでは主流となっている．

また，トラフリブの製品規格は昭和55年にJSS規格（日本鋼構造協会標準：鋼床版用U形鋼）として寸法，形状などが統一され使用の便が図られている．当規格は昭和58年に改訂され現在に至っている．トラフリブの製造方法はプレス法およびロール成形法にて行われており，SM58Q材では原板がコイル状で熱処理ができないためプレス法のみが使用されている．ロール成形法はプレス法に比べ後述のように製品精度が良いため非熱処理のSM58材の製品化の検討も行われている．製作においては，トラフリブの単品精度と横リブ切り抜き形状の切断精度により，組立時のルートギャップが必然的に決まることになり製作上の問題点となっている．

溶接方法は，半自動溶接または手溶接にて行われ，溶接姿勢はデッキプレートを下側に置いて上下進溶接，またはデッキプレートを立てかけて水平溶接にて行われる．いずれの方法においても，デッキプレート側のスカーラップの溶接部は通常のスカーラップと同様回し溶接に注意して製作されている（写真8—4）．

② 疲労上の留意点

横リブのウェブ面に大きい切欠きがあることや，スカーラップの形状による応力集中と回し溶接を行う場合避けられない微小なアンダーカットが重なることなどで疲労上問題となりそうであることが予想できる．製作上デッキプレート側のスカーラップの回し溶接の施工や，接合部のギャップの確保が難しく，特に斜橋の場合ギャップを無くすることはさらに難しい．このように，トラフリブと横リブウェブの接合部のルートギャップが一般的に大きくなりがちであるが所定のサイズが確保されていればギャップは疲労上問題とならない[6)~9)]．

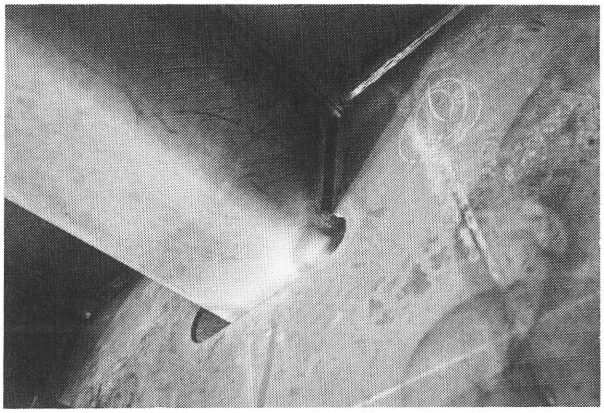


写真 8—4　トラフリブと横リブの交差部の溶接

③ 製作上の留意点

接合部のギャップの要因の１つであるトラフリブの精度に関して，JSS 規格の寸法許容誤差を**表 8—2** に，プレス製造法による製品の実測例およびロール成形の実測例を**図 8—7** に示す．また，ロール成形のトラフリブを使用し，２工場で製作中の橋梁のギャップをランダムに抽出した実測結果の例を**表 8—3** に示す．測定結果では，大きいところでは最大 3 mm 程度となっている．現行の道路橋示方書でルートギャップ 1 mm をこえる場合は 3 mm までは増盛を考慮したすみ肉溶接とすることが記述されている．この継手はのど厚が確保されていればルートギャップが大きいと疲労強度はかえって高くなることが実験で確かめられている．

表 8—2　JSS 規格の寸法許容誤差[16)]

単位 1 mm

区分		許容値
幅	A	±３．０
	B	±１．５
高さ	H_1，H_2	±２．０ ただし．$\|H_1-H_2\|\leqq 2.0$
長さ		＋０．５％ －０
曲がり		長さの０．２％以下
厚さ	t	ＪＩＳＧ３１９３による。 ただし橋りょう用等 特に要求ある場合は－５％迄とする

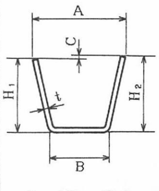
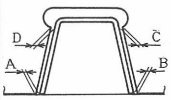


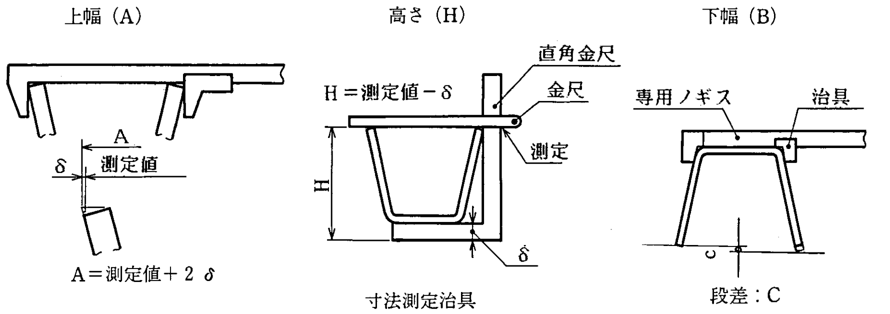
表 8—3　ギャップの実測結果の例

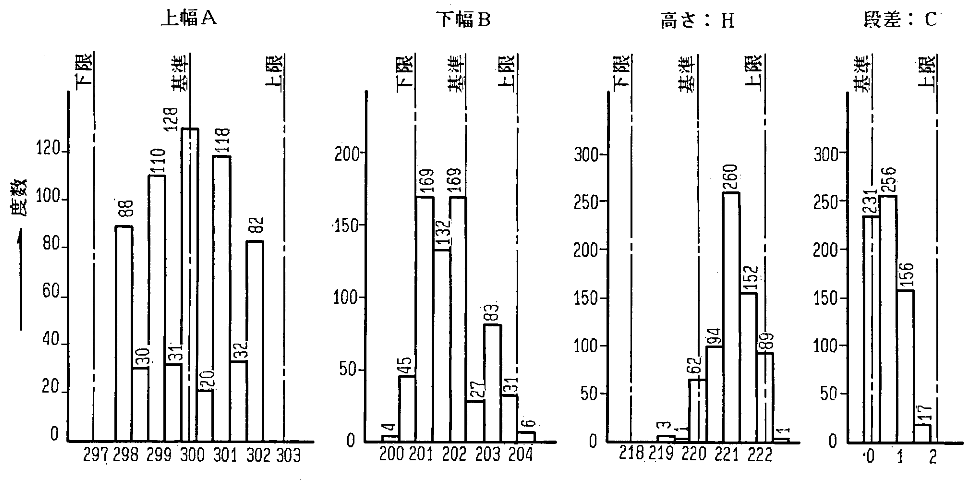
ギャップの値 単位 1 mm	A	B	C	D	A+B+C+D
0<g<1	24	19	25	22	90
1<g<2	14	16	13	12	55
2<g<3	2	4	1	4	11
3<g<4	0	1	1	2	4
	40	40	40	40	160



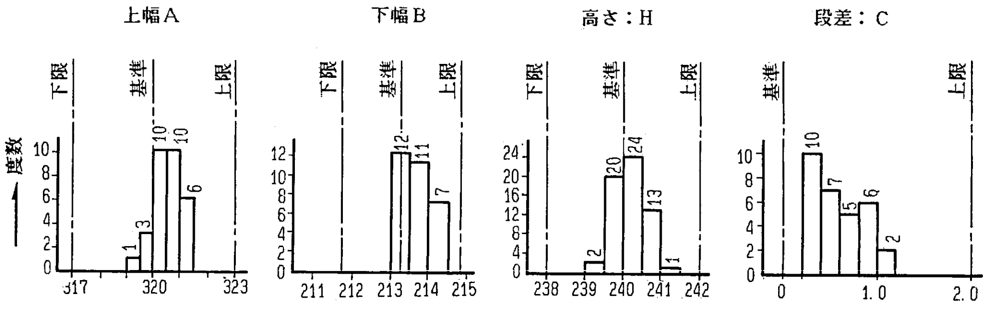
④ 製作上における簡素化への提案

トラフリブは曲線加工が難しいため曲線桁には一般的には使用されないが，断面性能に優れ鋼材を軽減できるために，曲線桁においてもまれに使用される場合がある．この場合トラフリブは加熱，水冷を行い曲線加工される．最小曲線半径 110 m（10 m 当たり偏心量 114 mm）の施工実績では，約 5 mm 程度の加工誤差が生じるのが現状である．





（a）プレス製造寸法実測結果[18]



(b) ロール成形寸法実測結果

図8—7 トラフリブ寸法の計測例

このため，横リブとトラフリブの交点部は通常のスカーラップでなく，図8—8に示すような変更スカーラップを採用せざるを得ない．この方法では，ギャップの精度にとらわれないですむために，製作上の自由度が大きくなる．しかし，回し溶接は逆に手間がかかること，および疲労強度は若干低くなるため使用にあたっては注意が必要である．

4）トラフリブ端部と横リブの溶接

① 疲労上の留意点

トラフリブ端部においては，一般部の交差部とは逆に横方向部材の横リブウェブが貫通している．以下のようなディテールが問題点としてあげられる．

(a) 桁端部におけるトラフリブの処理，主に伸縮装置との取合が問題となる．この場合，

i）桁端補剛材または支点上横リブまでトラフリブを延長する（図8—9）

ii）第1横リブまでトラフリブを使用し，桁端部は板リブを使用する（図8—10）

などのディテールがとられる．いずれの方法もトラフリブのすみ肉溶接で荷重を伝達させるようになっており，しかもその反対側には板がないため，面外変形も生じやすく，疲労強度はかなり低い．

(b) 幅員が変化するような構造においてリブ配置の都合上，トラフリブから板リブに変化することがある．この場合，トラフリブにスリットを付け板リブを割り込ませることがある(図8—11)．割込み部の溶接には欠陥が入りやすく，疲労強度の急激な低下を生じる可能性がある．

(c) 排水桝等の設置のため，部分的にリブの連続性が断たれる場合の処理(図8—12)では(a)と同様の問題がある．

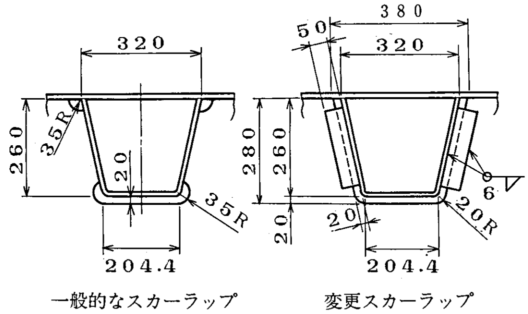


図8—8　変更スカーラップ形状[8)]

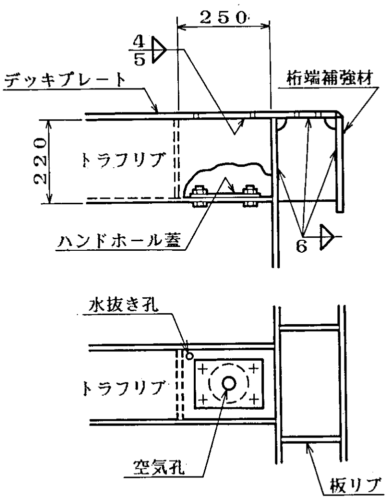


図8—9　桁端部リブの処理例

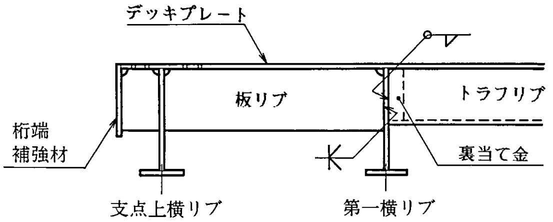


図8—10　桁端部リブの処理例

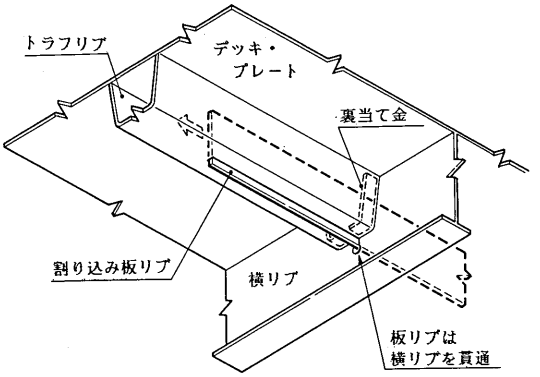


図 8—11 トラフリブと板リブの接合構造詳細例

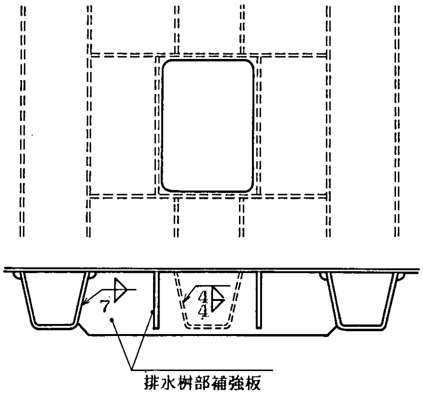


図 8—12 排水部でのリブの処理例

横リブウェブ貫通の場合の接合部の溶接は裏当て材付き完全溶け込み，部分溶け込み，すみ肉溶接と橋梁ごとにまちまちである．縦リブ方向の活荷重応力が高い場合注意すべきディテールであり，横リブウェブに面外変形ができるだけ小さくなるような工夫や，応力の高い部分に欠陥が生じやすい溶接をさけるディテールの改善が必要である[10)~13)]．

5）トラフリブの突合せ溶接

① 製作の現状

トラフリブの突合せ溶接には，工場および現場での溶接がある．トラフリブの工場突合せ溶接は，以下の理由により行われる．

(a) ハンドホール等の断面欠損があるため，応力上断面の増加が必要であり．トラフリブの板厚を 6 mm から 8 mm にする．

(b) 現場ボルト継手で密閉とならないことから防錆を考慮して板厚を 6 mm から 8 mm にする．

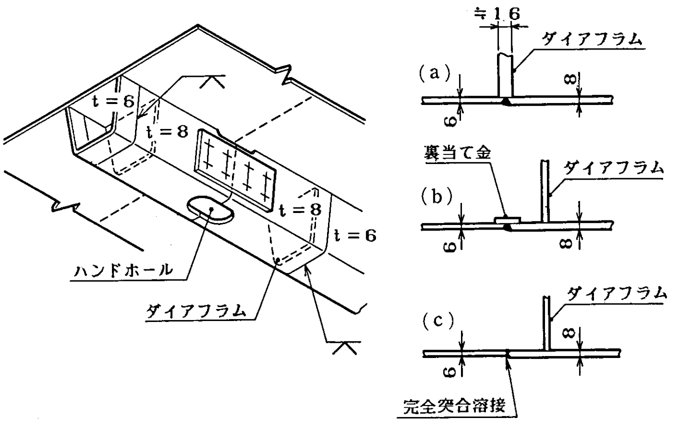


図 8—13 トラフリブ工場突合せ溶接詳細[8)]

工場での突き合せ溶接では以下の方法（図 8—13）がある．

(a) 密閉ダイヤフラム（t＝16 mm 程度）を裏当て材として使用し，外面から片面溶接を行う．

(b) FB の裏当て板を使用して外面から片面溶接を行う．

(c)　裏当て無し裏ガウジングの完全突合せ溶接で部材の反転が必要となる．

溶接方法は一般的に手溶接または半自動溶接行われている（**写真 8—5**）．

現場溶接では，デッキプレートの溶接が完了した後に，トラフリブの突合せ溶接が一般的に手溶接にて行われる．デッキプレートの溶接による収縮量の調整，ギャップ量の調整のため，はめ込みトラフリブの長さを実測して仕上げ切断される．溶接姿勢は上向き，上下進と施工条件が厳しいため，作業者には技量が要求されしかも高品質の溶接を得ることが非常に難しいディテールである．

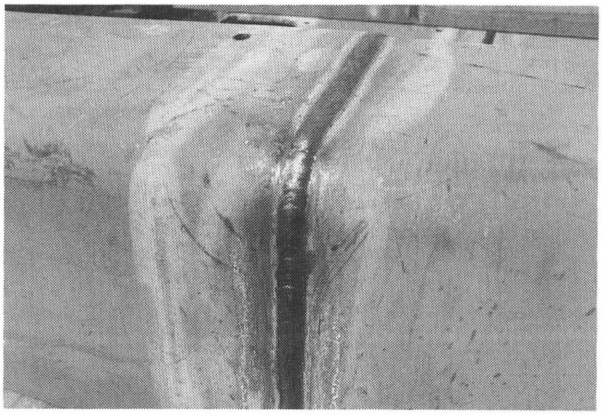


写真 8—5　トラフリブ工場突合せ溶接ビード外観

②　製作上における簡素化への提案

道路橋示方書では主要部材の連結は母材の全強の75％以上となるようにすることとなっている．この条件を満足させようとするとほぼ無条件にマンホールおよびボルトの穴引きのために 6 mm のリブを 8 mm に増厚される場合が多い．実応力で継手の計算を行うなどの対応により，むやみに疲労の弱点となる，溶接継手を設けることを避けることも考慮されてよいと思われる．なお，6 mm のトラフリブを非密閉構造部で使用する場合，防錆上の問題は別途検討の必要があろう[14)~15)]．

6）コーナープレートの溶接

①　製作の現状

主桁のウェブに隣接する部分は施工上トラフリブが使用できず，かつ輪荷重を支持するために図 **8—14** のようなコーナープレートが設計される場合がある．

溶接方法として，手溶接またはCO_2半自動溶接により行われる．前述の製作手順に示されるとおり，工場製作時は下向き姿勢により施工可能であるが，現場継手をまたぐ部分は現場で上向き姿勢で取付けられることになる（図 **8—14**）．

②　疲労上の留意点

供用中，直上に輪荷重をうけたコーナープレートの面外変形により図 **8—15** に示すように，(a)コーナープレートと垂直補剛材，または横リブウェブとの溶接部，(b)コーナープレートと鋼床版との溶接部に，亀裂が発生した事例がある．

③　製作上の留意点

コーナープレートとウェブや鋼床版は角度をもって線で接触することになり，かつウェブ，鋼床版の平坦度にも影響をうけ，組立時のギャップが大きくなり易い．特に現場溶接部は上向き姿勢（図 **8—14**）での溶接を余儀なくされることもあり，ビード不整が起きやすく，また所要のど厚が確保されていない部分ができやすく，この部分は製作上非常に難しい部分の一つといえる．このように問題点をまとめると，

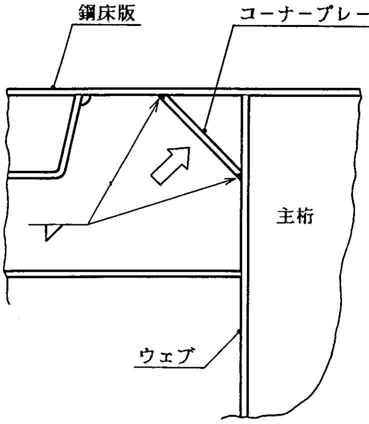


図 8—14　現場溶接の姿勢

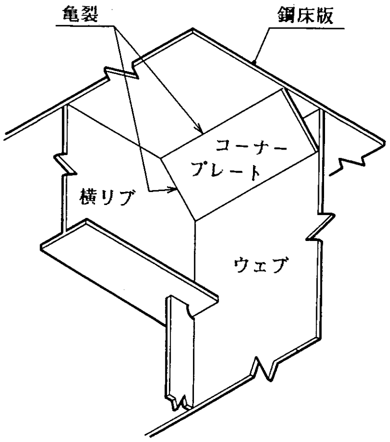


図 8—15　コーナープレートにおける亀裂発生位置

(a)　現場での精度（開先精度やルートギャップ）確保が難しい

(b)　現場での溶接環境が悪い

(c)　重要な接合部であるフランジ・ウェブの溶接部を覆いこの部分の検査がしずらい

以上のように製作上，疲労上問題の多いコーナープレートは極力採用しないことが望ましく，デッキプレートの板厚を厚くすることを含めて，リブ間隔やリブの配置方法の再検討など根本的なディテールの改善で対応すべきであると思われる.

7）デッキプレートの突合せ溶接

①　製作の現状

デッキプレートの溶接は一般に架設現場で行われるが，輸送が可能な場合には工場やヤードで行われることもある．溶接法としては，1パスによる溶接が可能なサブマージアーク溶接が一般的であるが，一部では CO_2 自動溶接も行われている.

②　疲労上の留意点

割れ等の欠陥が存在する場合には応力集中のために疲労上問題になることが考えられるが，現在までのところこのような疲労によるクラックの発生例や損傷例は報告されていない．他の溶接部に比べ非破壊検査による品質管理が十分行き届いているデッキプレートの突合せ溶接部では，疲労に関する限り特に問題はないといえる.

③　製作上の留意点

鋼床版の現場溶接に限らず現場溶接における欠陥の発生を少なくするために，これまで溶接施工を通じて調査・研究がなされている．ポイントとしては，

(a)　適正ルートギャップの確保

(b)　目違い量を小さくする

(c)　開先面の清掃を十分に行う

(d)　溶接施工時の拘束を少なくする

(e)　防風対策を十分に行う（特にCO_2溶接の場合）

が挙げられる．そのほか，製作・施工上の問題点としては，所定のキャンバー量を確保するための溶接変形量の把握の問題がある．

8）デッキプレートと垂直補剛材の溶接

1)から7)までの項目の他，鋼床版に関しては，デッキプレートと垂直補剛材の溶接部の疲労に着目した研究もなされている．この溶接部については，直接輪荷重が溶接部直下付近に載荷する場合に，疲労に対する検討が必要と考えられる．

参考文献

1) 鋼構造委員会鋼構造進歩調査小委員会，橋床構造の進歩調査分科会：鋼床版の発展と現状，土木学会誌，1982年9月号．
2) 亀井正博・山本正雄・鈴木智巳・神野藤斜保夫・山本崇賢：鋼床版Uトラフの局部強度，三菱重工技報，Vol.24，No.4，1987.7.
3) 牛尾正之・植田利夫・村田省三：トラフリブとデッキプレートとの接合部の疲労強度特性，関西道路研究会会報（日立造船の鉄構　橋梁—80)，1985.11.
4) M4 Severn Crossing-Structural Feasibility Study-Interim Report, Oct., 1982.
5) S.J. Maddox : The fatigue behaviour of trapezoidal stiffner to deck plate welds in orthotropic bridge decks, TRANSPORT and ROAD RESEARCH LABORATORY Department of the Environment SUPPLEMENTARY REPORT 96UC.
6) 国広昌史・迫田治行・公江茂樹・仁瓶寛太：閉断面縦リブを有する鋼床版の疲労実験，川崎重工技報，92号，1986年4月．
7) 日本鋼構造協会標準化委員会　Uリブ規格作成小委員会：鋼床版U形鋼のJSS規格—解説と適用法—，橋梁と基礎，80-7.
8) 日本鋼構造協会標準化委員会　Uリブ規格作成小委員会：鋼床版U形鋼のJSS規格改定—解説と適用法—，橋梁と基礎，83-7．
9) 三木千寿・范恒達・田中雅人：隅肉溶接部の疲労強度とルート部の欠陥について，構造工学論文集Vol.36 A，1990年3月．
10) 国広哲男・藤原稔・武田亘弘：鋼床版隅肉溶接部の疲労試験結果，土木技術資料，16-2，1974.
11) D.E. Nunn : An investigation into the fatigue of welds in an experimental orthotropic bridge deck panel, TRANSPORT and ROAD RESEARCH LABORATORY Department of the Environment, TRRL LABORATORY REPORT 629.
12) S.J. Maddox : Fatigue of welded joints loaded in bending, TRANSPORT and ROAD RESEARCH LABORATORY Department of the Environment, TRRL LABORATORY REPORT84UC 1982.
13) S.J. Maddox : The fatigue behaviour of trapezoidal stiffner to deck plate welds in orthotropic bridge decks, TRANSPORT and ROAD RESEARCH LABORATORY Department of the Environment SUPPLEMENTARY REPORT 96UC.

14) 佐伯彰一・西川和廣・滝沢晃・新田篤志：鋼床版縦リブ現場溶接継手の施工条件と疲労強度，土木技術資料，23-8，1981.
15) 佐伯彰一・西川和廣・滝沢晃：鋼床版Uリブ現場溶接継手の疲労試験，土木技術資料，25-3，1983.
16) 日本鋼構造協会：日本鋼構造協会規格・鋼床版用U形鋼，JSSC，昭和58年4月.
17) 日本橋梁建設協会：鋼橋構造詳細の手引き，1983.3.
18) 稲沢秀行：鋼床版用U型鋼の規格と製作方法，東骨技報，No.10，1980.10.
19) 阪神高速道路公団鋼構造検討委員会：鋼床版設計指針，平成元年2月.