

# 委員会報告

## 鋼床版の疲労

### FATIGUE OF ORTHOTROPIC STEEL BRIDGE DECK

鋼構造委員会 鋼床版の疲労小委員会

By Subcommittee on Fatigue of Steel Orthotropic Deck

#### 1. 序 論

鋼道路橋の床版には、鉄筋コンクリート床版、鋼床版が一般に使用され、I型鋼格子床版、プレキャスト床版なども使用されることがある。これらのうちで鋼床版を除く他の床版はいずれもコンクリート構造であり、その重量は400~600 kg/m<sup>2</sup>となる。一方、鋼床版の重量はおよそ180 kg/m<sup>2</sup>であり他の床版に比べ重量が1/2~1/3となるため、死荷重の影響が大きい長大スパンの橋梁に対しては鋼床版は非常に有利な床構造である。さらに鋼床版橋は、橋梁架設後のコンクリート工事がないので、それだけ工期が短縮できることや桁高を低減してスレンダーな形状にすることができるため、美観の向上ばかりでなく、取付部の工費の低減に寄与するなどの多くの長所を有している。

鋼床版が橋床として使用され始めたのは1930年代で、ドイツのK. Schaechterleは並列する逆Tのビームと、これに直角に配置されたフラットバーから構成される格子の上面に、厚さ5 mmの鋼板を張った橋床についての研究を行っている<sup>1),2)</sup>。また、アメリカではAISCが自重軽減の試みとして鋼床版を導入し、“Battledeck floor”と名付けられた<sup>3)</sup>。これは、3/8~3/4 inch (9.2~18.4 mm)の鋼板を10~33 inch (245~809 mm)間隔に配置されたIビーム縦桁に溶接したもので、軽量で急速施工が可能なことから、可動橋や床版の補修に用いられた。これらの鋼床版はいずれも溶接構造であったが、当時の溶接技術が未熟なこともあって必ずしも経済的でなく、大々的に使用されるまでに至らなかった。

第二次大戦後、西ドイツにおいて戦災で失った橋梁の復旧に、鋼床版が大々的に使用された。これは溶接技術や解析技術の向上、高張力鋼の使用、現場継手の減少など、鋼床版を使用することによって、総合的に橋梁全体の鋼重を軽減できるためで、旧橋に比べ50%以上の鋼重減となった例もある<sup>4)</sup>。こうして西ドイツにおいて鋼床版に関する技術の目覚ましい発展がなされた。

わが国では、1954年に初めて東京都で中里跨線橋に鋼床版が使用され、1959年には本格的な鋼床版箱桁橋である城ヶ島大橋が架設されている。鋼床版橋梁の変遷については鋼構造委員会進歩調査小委員会でまとめられているが<sup>5)</sup>、その後道路事業の増大に伴い、多くの長大橋に鋼床版が適用された。特に都市内道路の高架橋では、スパンを大きくし、かつスレンダーにすることが必要となることが多く、そのような場合鋼床版箱桁橋が有利となり、多く使用されている。また、本州四国連絡橋のほとんどの長大橋梁に鋼床版が使用されている。表-1に鋼床版の使用実績の多い3公団について、昭和55年~63年度の国内での鋼床版施工橋面積を示す。

以上のように鋼床版は多くの長所を有する床構造であるが、比較的薄い鋼板を用いて溶接により組み立てた構造であるために、各部に生じる応力が複雑である、製作に手間がかかる、溶接による欠陥や変形が生じる可能性があるなどの問題をかかえている。さらに自動車荷重を直接に支え、それを主構造へと伝えていくために、道路橋各部のうちで疲労損傷の最も生じやすい部分といえる。したがって、道路橋示方書<sup>6)</sup>では橋の一般部については疲労設計は不要としながらも、鋼床版については疲労設計を行うことを要求している。

鋼床版の疲労損傷についてはイギリスのSevern橋、

表一 鋼床版橋面積

	55	56	57	58	59	60	61	62	63
首都高速 (概数)	32 000	4 000	22 000	4 000	6 000	11 000	22 000	18 000	164 000
阪神高速	12 004	28 113	12 586	17 408	20 666	29 573	30 620	40 237	未集計
本州四国 連絡橋	明石-鳴門ルート 63 500 (内 児島-坂出ルート 111 900 (内 尾道-今治ルート 41 900 (内				大鳴門 35 000) 南北備讃瀬戸 49 300) 因島大橋 17 800)				

Wye 橋などの事例がよく知られているが、わが国の道路橋でも、交通量の多い、しかも大型車混入率の高い路線の鋼床版で最近発見され始めている。疲労損傷は活荷重により生じる応力変動に起因する現象であり、構造ディテール局所の応力変動範囲とその繰返し回数が支配因子となる。

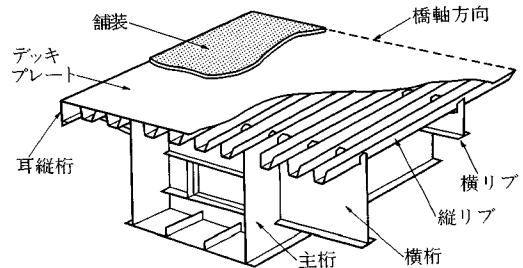
最近の交通荷重の調査によれば、高い割合の大型車が過積載であり、その軸重は 30t をこえることもある。そのような過積載車が連行しないかぎり主桁等の部材の応力は設計応力をこえることはないが、死荷重応力の割合が小さく、しかも車軸 1 つずつの通過が 1 回の応力繰返しを生じる鋼床版については、過積載車の通過はそのまま疲労被害の蓄積につながっているといえよう。したがって大型車の通行の多い路線の鋼床版については疲労損傷を対象とした適切なメンテナンスを行うことが必要と考えられる。また応力環境の厳しさと橋梁中での同一構造ディテールの数の多さを考えると、現行の疲労設計法の見直しや、構造ディテールの改善も必要であろう。

溶接構造の疲労強度に対しては、製作の程度も大きな影響因子である。同じディテールでも割れ、アンダーカット、融合不良、ブローホール、スラグ巻込みといった欠陥の存在やその大きさ、ビードの形状、溶接による変形などにより疲労強度は大きく異なってくる。このような疲労に関連する諸問題を正確に理解し、より良い構造ディテールの選択と、良い施工、良い品質管理のもとに建設されるならば、鋼床版の特長や利点が生かされ、より経済的な橋梁を期待することができる。

## 2. 鋼床版の構造詳細および疲労を考慮すべきディテール

### (1) 鋼床版の設計

鋼床版は図一に示すように、縦リブ、横リブ、デッキプレートから構成されており、輪荷重に抵抗するようにデッキプレートを縦リブ、横リブで補剛したものである。また、本四連絡橋の吊橋での鋼床版構造を除けば、橋床としてだけでなく、主桁としても働くよう合成構造とするのが一般的である。その場合、鋼床版の設計においては、主桁構造の一部として作用した場合に生じる応力と床組み作用として生じる応力についてそれぞれ安全



図一 鋼床版の構造

であること、およびそれらが同時に生じる場合の応力について安全であることを照査している。すなわち、疲労に対する配慮から溶接継手の許容応力度を一般部に比べて低減している。この低減した許容応力度は、疲労試験データから 200 万回程度の応力変動に対して疲労クラックが発生しないような応力変動幅に対応している。

鋼床版は、十分な強度、剛性を有することが必要であり、縦リブ、横リブが溶接によって取り付けられることから溶接によるひずみおよび施工性から必要最小限の板厚を確保しなければならない。道路橋示方書ではデッキプレート、縦リブの最小板厚を規定している。

### (2) 鋼床版の構造詳細

鋼床版の縦リブは、従来各種の形状があったが、現在多く使用されているのが、バルブプレートと台形断面閉断面リブである。閉断面リブは、横リブ間隔を長くできて経済性に優れることから近年多用されているが、構造的に閉断面リブが配置できない場合、曲線桁で縦リブを曲線加工しなければならない場合等では、バルブプレートあるいは平鋼も使用される例が見受けられる。

縦リブ、横リブ間隔は、あまり間隔が広がると鋼床版の剛性が低下し好ましくないことから、縦リブはほぼ 30~34 cm の間隔に配置され、横リブは、閉断面縦リブの場合で 1.3~3.0 m、閉断面リブの場合で 2.0~4.5 m の間隔に配置された施工例が多い<sup>7)~9)</sup>。板厚は、デッキプレートの板厚が 12 mm、閉断面縦リブの板厚が 6~8 mm と道路橋示方書の最小値を採用している例が多い。

縦リブと横リブの交差部は、縦リブからのせん断力を確実に横リブに伝えることができる構造としなければならない。この部分は溶接線が集中するため部材の組立精

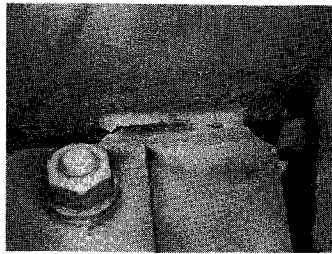
デッキプレート突き合わせ溶接部。工場溶接では施工性がよく溶接欠陥も発生しにくい。現場溶接の場合溶接欠陥が発生することがある。

縦リブの現場溶接部。溶接時の溶け込み不良、作業空間が狭いことによる施工不良が起りやすい箇所である。

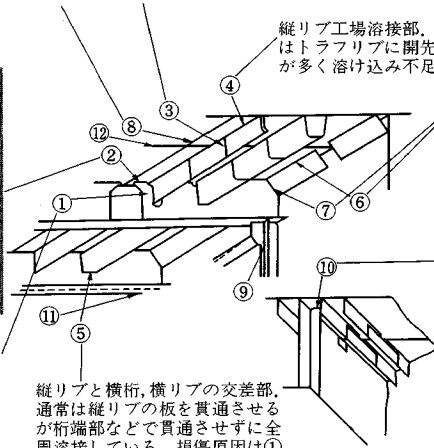
縦リブ工場溶接部。トラフリブの場合はトラフリブに開先加工をしないことが多く溶け込み不足を生じやすい。

施工性が悪く溶接欠陥が発生しやすい箇所である。

鉛直スティフナーとデッキプレートとの溶接部。輪荷重が通過することによる鋼床版の面外変形により発生すると考えられる。



縦リブと横リブ交差部、デッキプレートと横リブ溶接部。車輪が横リブ、横桁上を通過することにより鋼床版の剛性が少ないことから横リブ、横桁が面外方向に変形を受け、溶接部に応力集中が生じたため発生したクラックと思われる。溶接施工性が悪いため溶接部からクラックが発生しやすい。



縦リブと横桁、横リブの交差部。通常は縦リブの板を貫通させるが桁端部などで貫通させずに全周溶接している。損傷原因は①②と同様と考えられる。

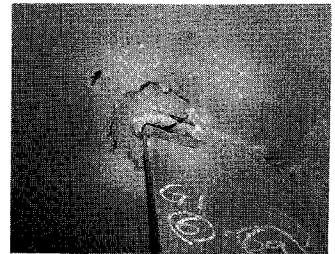
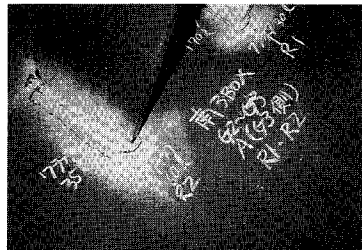
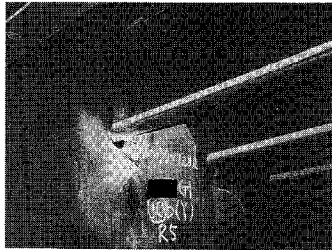


図-2 鋼床版の疲労損傷の起りやすいディテール

度の向上、スカーラップ形状、溶接順序、溶接サイズなどに留意して施工性を良くし、過大な溶接ひずみ、溶接欠陥が生じないように配慮しなければならない。

鋼床版の現場継手には、高力ボルト継手と現場溶接継手がある。横リブの継手は施工性から高力ボルト継手が多い。デッキプレートおよび縦リブの継手は、高力ボルト継手と溶接継手の両者が用いられるが、両者を比較すると施工性、精度管理の面では高力ボルト継手が有利であるが、鋼材重量、舗装に与える影響では溶接継手が有利<sup>1)</sup>であり、最近では溶接継手の施工が増加する傾向にある。

(3) 実橋における鋼床版の疲労損傷事例

実橋における疲労損傷の事例および今後疲労損傷が起ると考えられる箇所を図-2に示す。これらの疲労損傷が発生しても橋梁が落橋するような重大な状況にはすぐには結びつかないが、そのまま放置しておけば、舗装の損傷、平坦性の欠如、路面の陥没などの道路としての機能の低下が生じ、さらには橋梁の耐久性が低下すると考えられる。したがって、疲労環境の厳しい既設の鋼床版橋梁では、疲労損傷に対する点検をし、疲労損傷が見えれば早期に対策を講じなければならないし、今後

設計する鋼床版については、疲労損傷を受けにくい設計をする必要がある。

3. 荷重と応力

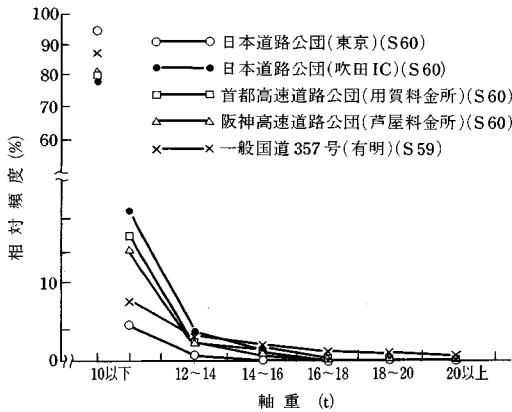
(1) 大型車両の軸重および交通量の実態

車両の軸重および交通量の実態については、建設省をはじめ各公団等で道路管理上の基礎データを得る目的で調査が実施されている。図-3は、建設省および3公団において実施された軸重の実態調査結果から大型車の軸重の頻度分布をまとめたものである。車両制限令に定められた10tをこえる軸重の占める割合は、路線により異なるが、8~25%程度含まれている。

図-4は全国423か所における交通量常時観測(建設省昭和60年度調査)の結果を、横軸に日大型車交通量、縦軸に調査地点数の頻度を整理して示したものである。今ここで橋梁の供用年数を50年、車線数を4車線と想定した場合、供用期間中の1車線当たり大型車総走行台数は、日大型車交通量9000台(累積頻度が90%に対応する地点)の調査地点では単純に計算すると、

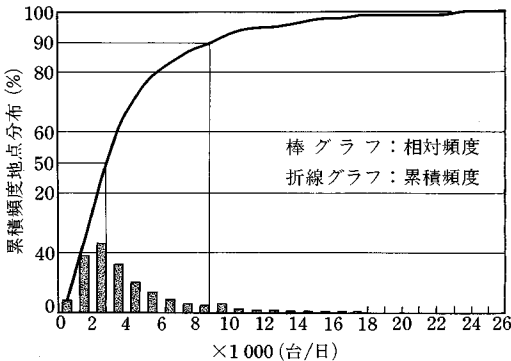
$$9000 \times 365 \times 50 \div 4 = 4.1 \times 10^7 \text{ (台)}$$

となる。鋼床版の部材では影響線長が短く、大型車1台



- 注1) 交通量は調査時間帯(延8時間)における交通量である。  
 2) 大型車とは車両総重量18t以上、最大積載量5t以上、または乗車定員30人以上の自動車および大型特殊車という。  
 3) 軸重区分の対象とする軸重は、1台の車両の中での最大軸重とする。  
 4) 建設省データについては、車両総重量18t未満の車両も含む。

図-3 大型車の軸重分布



- 注) 基本観測地点445か所のうち大型車交通量のわかる423か所を対象  
 昭和60年交通量常時観測調査(建設省)より作成

図-4 大型車交通量の実態

の通過により輪軸ごとに応力の変動を受ける。したがって大型車1台の通過により少なくとも後輪軸により1回の応力の変動を受けるとしても、大型車交通量の多い路線では10tをこえる軸重のみ考えるにしても繰返し数は相当数に達するものと考えられる。

以上のような橋上を通過する大型車両の軸重分布および交通量は、部材に生じる応力変動とその繰返し回数に関係し、疲労を考慮する際に重要なファクターとなるものである。

(2) 鋼床版部材に生じる応力の実態

図-5は実橋の鋼床版の縦リブおよび横リブにおける応力度測定結果の一例を示したものである。この図は3軸の試験車(総重量:21.6t, 軸重:5.9+7.9+7.8t)を縦リブ直上を走行させた場合の各部位の応力度の時間変化を示している。図中の(M)および(N)は横リブの裏表両面に貼付されたゲージにより計測された応力度の面外曲げ応力成分と面内応力成分を示している。横リブに作用する応力度は面内力成分(N)が卓越しているが、設計時には考慮されない面外曲げ成分(M)もかなり生じており、この成分も疲労損傷の発生に影響するものと考えられる。また縦リブおよび横リブともに、影響線長が短いことから輪軸ごとに1回の応力度の振幅が生じていることがわかる。なお、部材の溶接部には高い引張残留応力が存在しているため、その位置に作用する応力は引張、圧縮にかかわらず疲労損傷の原因となり得るものである。図に示す応力波形からレインフロー法等<sup>10)</sup>により求められる応力変動範囲の繰返し数が疲労損傷に寄与すると考えるべきであろう。

図-6は鋼床版縦リブの実測応力に対してレインフロー法を適用して求められた応力変動範囲の頻度分布(24時間測定結果)の一例を示したものである。このような部材に生じる応力変動範囲の頻度分布がわかれば、マイナーの累積被害則を適用することにより、疲労寿命のおおよその目安を知ることができる。このような

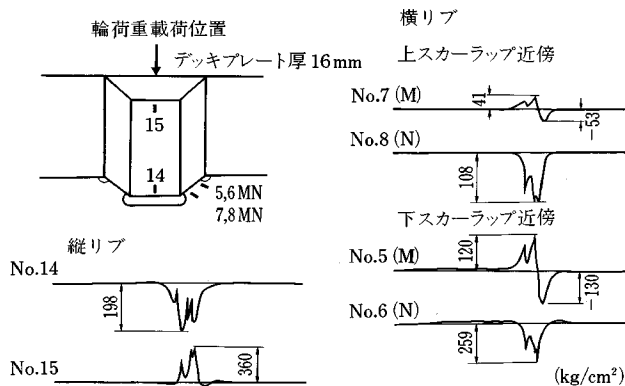


図-5 応力測定結果の例

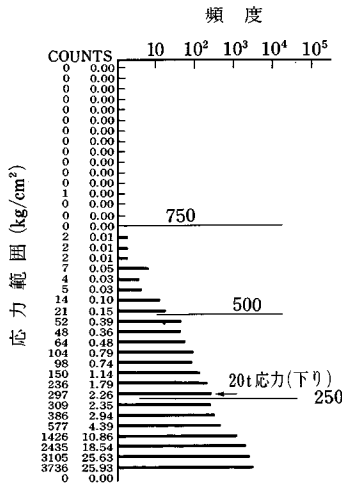


図-6 応力頻度測定結果の例

供用下における橋梁の応力実態と前述の交通条件との関係を把握しておくことが今後の疲労設計を考えていくうえで重要と考えられる。

#### 4. 疲労設計

疲労設計の基本は橋梁の各部位が供用期間中に受ける応力変動とその繰返しに対して、重大な疲労損傷が生じないように設計することである。設計時に応力を計算する部位については想定される繰返し数に対する疲労許容応力度に対して照査することが疲労設計となる。一方、設計時には応力を計算しない、いわゆる二次応力が支配的となる部位別については細部構造を工夫することが疲労設計となる。

図-2 に示した疲労損傷の起こりやすい溶接部において、疲労設計の立場から考えるべき応力成分をまとめると次のとおりとなる。

- 1) 縦リブと横リブの溶接部 ①  
縦リブ方向の応力度に対して  
横リブ方向の応力度に対して
- 2) デッキプレートと横リブ、縦リブの溶接部 ②④  
橋軸方向の応力に対して  
橋軸直角方向の応力に対して
- 3) 縦リブどうしの突合せ溶接部 ③
- 4) 縦リブと端横桁の溶接部 ⑤
- 5) コーナプレート溶接部 ⑥⑦
- 6) デッキプレート突合せ溶接部 ⑧  
溶接線と直角方向の応力に対して  
溶接線と同方向の応力に対して
- 7) 垂直補剛材とデッキプレートの溶接部 ⑩

このうち1), 2), 3), 6) については通常設計時に応力が計算される。二次応力の影響が大きく疲労の問題が考

えられる部位については有限要素法などによる応力解析を行い疲労を照査することも考えられるが、基本的には応力集中の生じにくい、疲労に対して適切な細部構造の検討が必要と考えられる。ここでは設計計算で求められる応力が支配的である部位における疲労設計の方法を述べる。

簡略化した疲労設計としては、荷重が予想される活荷重に対する応力度を対象とする部位の疲労限以下の応力度になるように設計する方法である。現行の道路橋示方書の方法が、これに対応する。

鋼床版の疲労設計をより精度よく行うには、①車両の軸重分布、②車両のレーン内走行位置分布、③影響線の形状、④解析による計算応力度と実際に生じる応力度の差異等を考慮に入れていく必要がある。設計活荷重の荷重時の応力度を基本とした場合、設計軸重と実際に通過する車両の軸重分布から得られる等価軸重との差異による応力度の補正が必要である。また、車両の走行位置が縦リブ直上から幅員方向にずれるに従って、図-7 に示すように生じる応力度は小さくなることから、走行位置

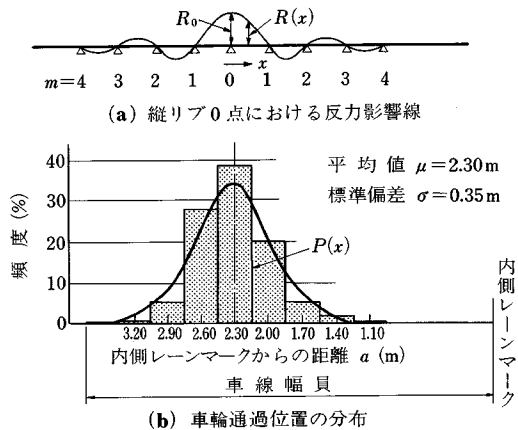


図-7 輪荷重通過位置と縦リブの影響線

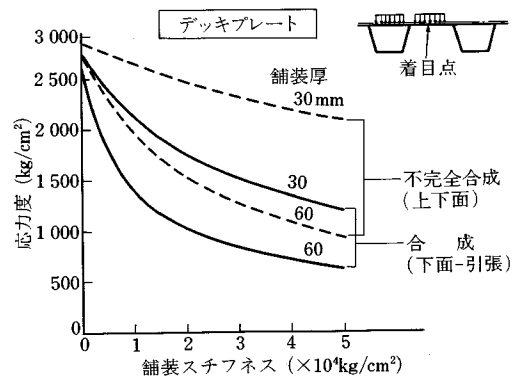


図-8 舗装厚とデッキプレートの曲げ応力度

の実態を踏まえて応力度を補正する必要がある。また、軸重の大きさや載荷位置がわかれば、理論解析により応力度は計算することができるが、通常計算応力度と実際に生じる応力度との間には解析上の種々の仮定による差異が生じることになる。その原因としては主に有効幅の仮定や舗装の効果等が考えられる。特に、舗装は、温度の影響を受ける等、物性およびその構造がきわめて複雑な特性を有する。図—8は、舗装とデッキプレートに生じる応力度との関係を示したものであるが、舗装の条件により、荷重の分散作用や鋼床版との合成作用による応力度の低減を期待できるものと考えられる。

イギリスにおける設計基準である BS 5400 (Part 10 : 1980年)<sup>11)</sup>では、疲労に対する設計法として、①対象とする橋梁の条件(設計寿命、年間交通量等の活荷重の載荷条件等)が規定に示される設計条件に従う場合について、近似的に標準車両1台の走行によって生じる最大応力範囲が許容範囲内に収まっているかを照査する方法、②①よりも正確な評価が必要かあるいは規定に示される条件と異なる条件で設計する場合について、標準

荷重を載荷しその応力履歴に基づきマイナー則を適用して評価する方法、③荷重もしくは応力スペクトルが既知である場合について、そのデータを利用しマイナー則を適用して評価する方法、の3種類の方法を示している。鋼床版については設計寿命120年に対して、繰返し回数を $7 \times 10^8$ 回まで考慮している。

アメリカの道路橋の設計基準である AASHTO (1983年)<sup>12)</sup>では、特に交通量や車両重量分布測定データによらない場合は、表—2に示すように一方向大型車交通量に応じたトラックの載荷もしくは車線載荷に対する繰返し回数に対応して各部位の許容疲労応力度が定められている。

一般の鋼構造物を対象とした JSSC 疲労設計指針(案)(1989年)<sup>13)</sup>では、8種の設計 $\Delta\sigma-N$ 線(図—9)を定めており、各種継手の等級はこれらの設計 $\Delta\sigma-N$ 線と数多くの継手の疲労試験結果との比較により定められている。

鋼床版構造中の各継手の等級は以下のとおりである。

- 1) 縦リブと横リブの溶接部①  
縦リブ方向の応力度に対して  
十字溶接継手(荷重非伝達) D, E
- 2) デッキプレートと横リブ、縦リブの溶接部②④  
橋軸方向

表—2 AASHTO における許容疲労応力範囲に関する規定

Transverse Members and Details Subjected to Wheel Loads			
Type of Road	Case	ADTT <sup>a</sup>	Truck Loading
Freeways, Expressways, Major Highways, and Streets	I	2 500 or more	over 2 000 000
Freeways, Expressways, Major Highways, and Streets	II	less than 2 500	2 000 000
Other Highways and Streets	III	—	500 000

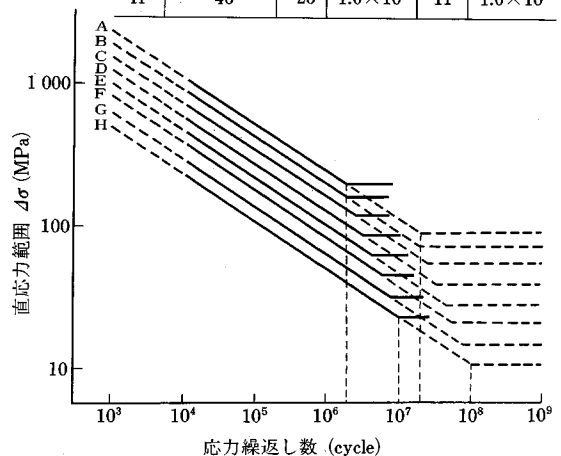
- a. Average Daily Truck Traffic (one direction).
- b. Longitudinal members should also be checked for truck loading.
- c. Members shall also be investigated for "over 2 million" stress cycles produced by placing a single truck on the bridge distributed to the girders as designated in Article 3.23.2 for one traffic lane loading.

Redundant Load Path Structures\*

Category See Table 10.3.1B	Allowable Range of Stress, $F_s$ (ksi) <sup>a</sup>			
	For 100 000 Cycles	For 500 000 Cycles	For 2 000 000 Cycles	For over 2 000 000 Cycles
A	63	37	24	24
B	49	29	18	16
B	39	23	14.5	12
C	35.5	21	13	10 12 <sup>b</sup>
D	28	16	10	7
E	22	13	8	4.5
E'	16	9.2	5.8	2.6
F	15	12	9	8

設計疲労強度(直応力)

等級	2×10 <sup>6</sup> 設計疲労強度 $\Delta\sigma_r$ (MPa)	応力範囲の打切り限界			
		一定振幅応力 $\Delta\sigma_{cr}$	N	変動応力 $\Delta\sigma_{cr}$	N
A	190	190	$2.0 \times 10^6$	88	$2.0 \times 10^7$
B	155	155	$2.0 \times 10^6$	72	$2.0 \times 10^7$
C	125	115	$2.6 \times 10^6$	53	$2.6 \times 10^7$
D	100	84	$3.4 \times 10^6$	39	$3.4 \times 10^7$
E	80	62	$4.4 \times 10^6$	29	$4.4 \times 10^7$
F	65	46	$5.6 \times 10^6$	21	$5.6 \times 10^7$
G	50	32	$7.7 \times 10^6$	15	$7.7 \times 10^7$
H	40	23	$1.0 \times 10^7$	11	$1.0 \times 10^8$



図—9 設計 $\Delta\sigma-N$ 線

- 縦方向溶接継手 ③ C
- 橋軸直角方向
- 十字溶接継手 ① D, E
- 3) 縦リブの突合せ溶接部 ③ E
- 裏当て金付き溶接継手
- 6) デッキプレートの突合せ溶接部 ⑧ D
- 溶接線と直角方向の応力度に対して
- 横突合せ継手 (非仕上げ) D
- 溶接線と同方向の応力度に対して
- 縦方向溶接継手 (非仕上げ) C

5. 製作からみた構造ディテールの問題点と改善案

疲労損傷は溶接の程度にも大きく依存する。したがって良好な溶接が可能と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。

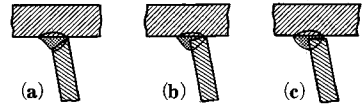
(1) デッキプレートと縦リブの溶接

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片面溶接となる。この継手部には図一10に示すような溶接ディテールがとられるが、わが国では6mmのトラフリブでは開先加工を行わず、自然開先のまま隅肉溶接を行う方法(図一10(b))が一般的である。溶接ルート部に大きな不溶着部を残さないこと、および必要な厚を確保することが重要である。Severn橋などではこのディテールでの疲労損傷が多発しており、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、今後注意を払う必要があるだろう。

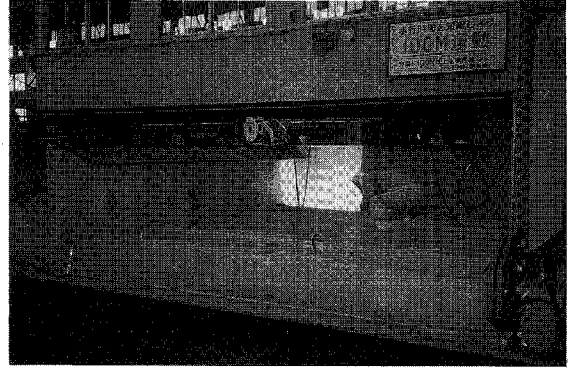
(2) 横リブとデッキプレートの溶接

わが国においては、ほとんどが縦リブ貫通型であり、横リブとデッキプレートの溶接は縦リブにより分断される。したがって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り付けるのが一般的である(写真一1)。ここでは1溶接線の長さが短くしかも多数の回し溶接がある。一般部のトラフリブ間では溶接長さが340mm前後であるが、添接部においてはその約半分となり、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(図一11)。この部分は疲労強度上の弱点となり、このデッキプレート横リブの溶接部に亀裂が発生した例がある。この短い溶接線に関しては道示のリブ間隔の規定との関連で今後検討されるべきである。

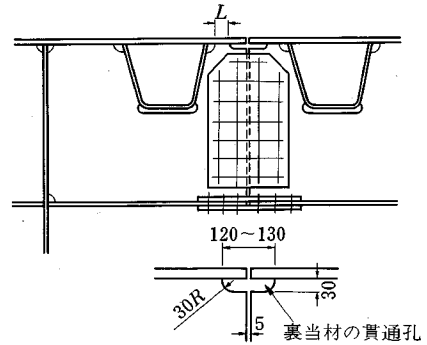
(3) 横リブとトラフリブの交差部の溶接



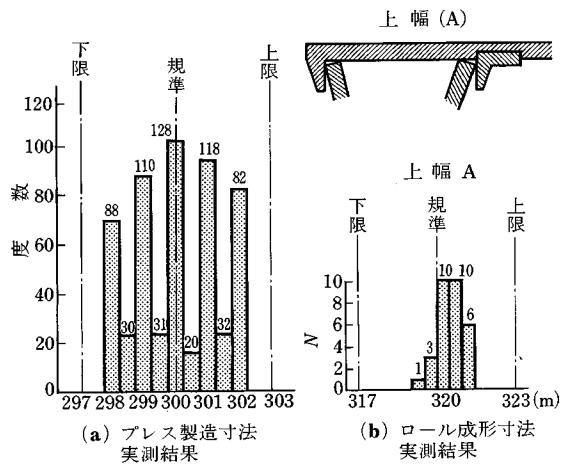
図一10 トラフリブとデッキプレート開先形状



写真一1 横リブの組立



図一11 横リブで溶接ビードが短い部分



図一12 トラフリブ寸法精度

トラフリブは昭和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ている。この規格は昭和58年に改訂され現在に至

ている。トラフリブの製造はプレス法およびロール成形法にて行われており、このリブの寸法精度が組立時のルートギャップに大きな影響を及ぼす。プレスおよびロール成形によるトラフリブの寸法の実測例を図-12に示す。プレス成形されたトラフリブの寸法精度はかなり悪く、またロール成形によっても2mm程度の誤差は生じている。

このようなリブを用いた場合、必然的にルートギャップが生じることになり、ロール成形のトラフリブを用いても最大3mm程度のルートギャップが生じる(表-3)。現行の道路橋示方書ではルートギャップ1mmをこえる場合は開先溶接とすように決められているが、その施工には手間がかかり、また溶接に伴う大きな変形を引き起こすことなど新たな問題の発生にもつながる。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おり<sup>14)</sup>、のど厚の確保を条件にルートギャップの規定をたとえば3mm程度まで緩和することが望ましい。

#### (4) トラフリブ端部と横リブの溶接

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挙げられる。

① 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いが問題となる。この場合、(a) 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-13)、あるいは、(b) 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端部の隅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。

② 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-14)。割り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。

③ 排水柵等の設置のため、部分的にリブの連続性が断たれる場合、①と同様の問題がある。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、隅肉溶接と橋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避けることのディテールの改善が必要である。

#### (5) トラフリブの突合せ溶接

表-3 ギャップの実測結果の例

ギャップの値	A	B	C	D
$0 < g < 1\text{mm}$	24	19	25	22
$1 < g < 2\text{mm}$	14	16	13	12
$2 < g < 3\text{mm}$	2	4	1	4
$3 < g < 4\text{mm}$	0	1	1	2
	40	40	40	40

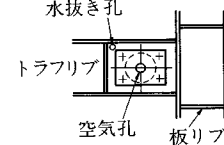
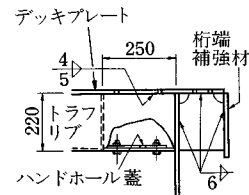
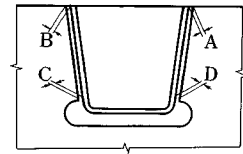


図-13 トラフリブ端部と横リブの溶接

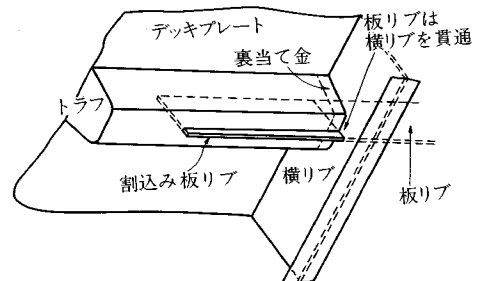


図-14 トラフリブと板リブの連結

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。工場製作でのトラフリブの突合せ溶接は、応力上断面の増加が必要な場合、および現場ボルト継手で防錆上密閉構造とならないために添接端部300~400mm程度、6mmの板厚を8mmに増加させる場合の2つの理由で行われている(図-15)。

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



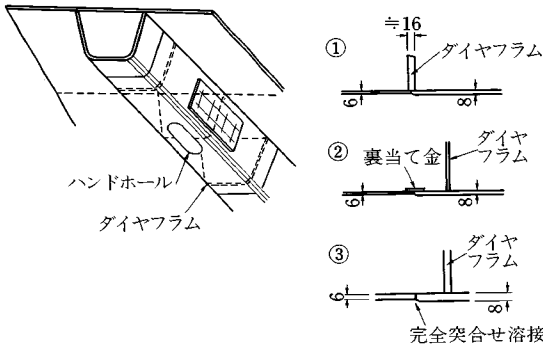


図-15 トラフリブの突合せ溶接

る。

現行の道路橋示方書ではトラフリブの添接は全強の75%以上となるようにすることとなっており、この条件を満足させようとするとはほぼ無条件にハンドホールおよびボルトの穴引きのために6mmのリップを8mm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、6mm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。

(6) コーナープレートの溶接

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-16のようなコーナープレートが取り付けられる場合がある。このコーナープレートとデッキプレートおよびウェブ間の溶接は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り付けられることになる。

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受け、組立時のギャップが大きくなりやすい。特に現場溶接部は上向き姿勢での溶接を余儀なくされる

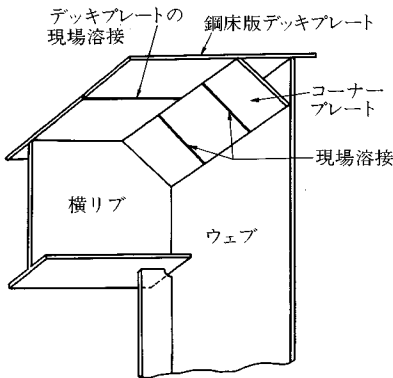


図-16 コーナープレート

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1つといえる。現場での精度（開先精度やルートギャップ）確保が難しいことや現場での溶接環境が悪いことに加えて、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づらいことなども問題である。

このように製作上、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、リップ間隔やリップ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。

6. 鋼床版溶接部の非破壊検査

鋼床版に限るわけではないが、鋼橋の製作上の留意点として溶接欠陥を生じさせないように配慮する必要がある。特に、疲労損傷は溶接の程度に大きく依存する。鋼床版は薄板を組み立てる構造であるため製作が煩雑であり、溶接欠陥が発生しやすいといえる。従来の疲労損傷事例の中でも、溶接品質に起因するものも多くある。

工場製作時の溶接部の検査は道路橋示方書に基づいて行われている。突合せ溶接継手の内部欠陥に対するものほかに、溶接ビードの外観および形状の検査がある。ビード外観および形状については適正な許容量を与え、客観的な判断が行えるような検査基準が設けられている。

一方、鋼床版デッキプレートの現場継手として溶接が用いられることが多く、一般的には片面サブマージアーク溶接法で行われている。現場溶接は工場溶接に比べて溶接欠陥が発生しやすい。この溶接工法での主な欠陥は、ブローホール、スラグ巻込みのほかに、梨形ビードに生ずる高温割れ、拘束による割れ、および終端割れである。疲労損傷を考えるうえで溶接割れ発生防止は特に重要である。また、裏ビードの不整、裏当て材の密着不良による溶接金属の溶け落ち、裏ビード表面に生ずるウォームホールはこの溶接法の特有な欠陥である。検査としては外観検査と内部検査が行われている。裏ビードの不整、溶け落ち、ウォームホールなどが外観検査の対象となる。内部検査は主に放射線透過試験により行われ、ブローホール、割れ、スラグ巻込みなどが対象となる。放射線透過検査要領は各公団で基準を設けており、通常抜き取りで行われ、橋軸直角方向の溶接部、外観ビードの不整部、溶接終端部、溶接交差部などを重点的に検査することになっている<sup>15)~17)</sup>。また、鋼床版の縦リップとしてトラフリブの使用が多くなり、現場継手としてはめ込み溶接が行われることがある。この溶接は上向きあるいは立向きの姿勢となり、特に縦桁、腹板の近傍では狭い場所

での溶接となり、欠陥が生ずる可能性がある。トラブリブの突合せ溶接部は構造的に放射線透過試験が行えないが、目視検査でも慎重に行えば割れなどの重要な欠陥の有無は十分に調べることが可能である。

### (1) 施工例における検査結果

現場溶接は工場溶接と異なり、種々の条件に左右される。たとえば、気象条件、横断勾配・縦断勾配の有無、開先精度、開先の清掃状態、裏当て材の取付け状態などである。溶接施工に関しても、溶接順序、溶接端部の拘束、仮付け溶接の有無が影響する。したがって、それぞれの現場での特徴があり、欠陥発生状態についてもひとまとめに考えるわけにはいかない。表-4に比較的欠陥発生率の高かったある鋼床版橋梁(1981年施工)の放射線透過試験結果を示す。検査は溶接線全線について行ったものであり、全体の欠陥発生率は7.3%と、工場突合せ溶接に比べて高くなっている。L方向とC方向の差は顕著ではないが、端部、交差部は一般部と比べて欠陥率が高く、割れの発生も多くなっていることがわかる。しかしながら、鋼床版現場溶接が採用されるようになってからすでに20年余り経過しており、その間の技術的改良により当初の溶接欠陥の多発を含む溶接関係のトラブルは少なくなっている。現在の技術では欠陥発生がほとんどないという実績まで到達しているといえる。

### (2) 超音波探傷試験の適用

溶接継手部の非破壊検査方法として、超音波探傷試験は作業性、安全性、判定の即時性等優れた点があり、さらにその性格上割れなどの面状欠陥の検出に適していることから、鋼床版現場溶接継手へ適用する例も報告されてきている。従来の欠陥エコー高さ評価だけでなく、欠陥の側面像および平面像の画像化が可能な自動超音波探傷機の開発も大きく寄与している。放射線透過試験と超音波探傷試験の原理と欠陥検出の比較を表-5に示す。両者の探傷原理が本質的に異なるので、同一結果を得ることは必ずしも期待できない。放射線透過試験では板厚方向にX線を照射するため、フィルム上の欠陥形状は平面図形となる。母材と欠陥との透過X線の吸収差がフィルムに濃淡として撮影されるため、ブローホール等体積を有する欠陥検出に有効な検査方法である。一方、超音波探傷試験は欠陥を側面から捕らえた側面形状記録となり、超音波ビームに垂直な面をもつ欠陥、すなわち開先面の融合不良、スラグ巻込み等の面状欠陥に有効な検査方法である。ただし、溶接施工管理の立場では、溶接欠陥の種類を知ることは欠陥発生の原因を探り、対策を講ずるうえで重要であるが、超音波探傷試験では、CRT波形と欠陥種類との対応性にまだ問題が残っている。さらに、欠陥画像データと実際の欠陥との対応を検討する

表-4 放射線透過試験結果

継手区分	撮影位置	欠陥種別				合計
		ブローホール	スラグ巻込み	融合不良	割れ	
橋軸方向 L方向	端部交差部 200	7/200 3.5	4/200 2.0	1/200 0.5	42/200 21.0	54/200 27.0
	一般部 784	3/784 0.4	2/784 0.3	0/784 0	7/784 0.9	12/784 1.5
	小計 984	10/984 1.0	6/984 0.6	1/964 0.1	49/984 5.0	66/984 6.7
橋軸直角 方向 C方向	端部交差部 288	7/288 2.4	3/288 1.0	1/288 0.3	26/288 9.0	37/288 12.8
	一般部 614	22/614 3.6	3/614 0.5	0/614 0	10/614 1.6	35/614 5.7
	小計 902	29/902 3.2	6/902 0.7	1/902 0.1	36/902 4.0	72/902 8.0
合計 1886		39/1886 2.1	12/1886 0.6	2/1386 0.1	85/1886 4.5	138/1886 7.3

注 1) 引張側：3級、圧縮側：4級と判定されたフィルム枚数の合計である。

2) 上段は、“不合格フィルム枚数/撮影枚数”を表わす。

3) 下段は、上記の比率(%)である。

4) 抜き取り率は100%である。

余地がある。

### (3) 本四連絡橋の現場溶接継手検査

本四連絡橋の架設では鋼床版の現場溶接が工程のクリティカルとなるため、現場溶接検査方法として自動超音波探傷試験を採用した。自動超音波探傷機器は種々開発されてきており、まず、その実用性を検証するために模型試験体およびヤード地組立ての大ブロック桁の鋼床版を使って試験している<sup>18)</sup>。放射線透過試験(JIS Z 3104により等級分類)、超音波探傷試験(放射線透過試験に合わせて溶接継手を250mm区間に等分し、その区間ごとについてJIS Z 3060により等級分類)を行い、比較したが、両者の等級判定に若干の差があるものの、いずれとも2級以上を合格とした場合、合否の合致率が95%以上であった。現場的発想では、欠陥は補修するために種類の判定よりも合否判定が重要であり、自動超音波探傷は十分実用的であることがわかった。そこで、継手の合否を基本的には放射線透過試験と整合させるようにし、表-6に示す自動超音波探傷試験における判定基準を作成した。

自動超音波探傷試験の作業性については、樫石島橋の場合、面材架設1パネルの溶接延長約50mにつき放射線透過試験では検査に2日を要するが、自動超音波探傷では半日で済み、約1か月の工期短縮が達成された。特に橋軸直角方向の溶接検査が即時判定できたため縦リブ作業に手待ちがない利点が挙げられている。また、吊橋3橋の鋼床版現場溶接継手においても、溶接線延長4670m、検査速度は60cm/minであり、1日当たりの検査実績は約70~90mであった。

吊橋3橋の検査結果を表-7にまとめて示す。不合格

表—5 放射線透過試験と超音波探傷試験の原理と欠陥検出の比較

項 目		X 線 試 験 (直接撮影法)	超 音 波 探 傷 (手探傷)	超音波自動探傷 (AUT)
原 理	原 理 的 方 法	透 過 法	パルス反射法	パルス反射法
	物理的エネルギー	電 磁 波	弾 性 波	弾 性 波
	欠 陥 にお け る 現 象	健全部と欠陥部とは透過線量が異なる。その程度は健全部と欠陥部の材質および放射線透過する方向の欠陥寸法に関する。	健全部では反射波が生じないが、欠陥部では反射波が生じる。その程度は健全部と欠陥部の材質に関する。	同 左
	情 報 の 表 示	X 線フィルム	ブラウン管	・ブラウン管 ・チャート紙による記録
	表 示 の 内 容	健全部と欠陥部とは写真濃度が異なる。	欠陥エコー高さ、欠陥位置を数値で表示。	A, B, C スコープによる表示
欠 陥 の 検 出	割  れ	△ 放射線の透過する方向に対し、ほぼ平行方向の割れは検出できる。一般的に透過方向と15°以上傾くと検出が難しい。	○ 超音波の進行方向に平行に近い割れは検出できないことがあるがほとんど検出できる。	○ 同 左
	ブローホール	◎ 微小な物以外は検出できる。	△ 球状のため反射波が得にくく、検出しにくい。	△ 同 左
	パイプ	◎ 検出できる。	○ 欠陥の向きによっては検出できる。	○ 同 左
	融合不良	△ 放射線の透過する方向に対し、角度をもつ場合が多く検出しにくい。	◎ 面状欠陥のため、エコーが返りやすく、ほぼ検出できる。	◎ 同 左
	溶込み不良	○ 欠陥の方向によっては検出しえない場合もある。	◎ 同 左	◎ 同 左
	スラグ巻込み (その他異物の巻込み)	○	○ 微細なもの以外検出できる。	○ 同 左

表—6 鋼床版突合せ溶接の判定基準

合 否	等級	自動超音波探傷検査で推定した欠陥の種類			
		ブローホール	面状欠陥	溶込み不良	割  れ
合 格	1	基準レベル以下	長径 $l \leq 3\text{mm}$	長さに関 係なく不 合格	長さに関 係なく不 合格
	2	長径 $l \leq 3\text{mm}$	$3 < l \leq 4\text{mm}$		
不 合 格	3	$3 < l \leq 6\text{mm}$	$4 < l \leq 6\text{mm}$		
	4	$l > 6\text{mm}$	$l > 6\text{mm}$		

- 注 1) 等級については、JIS Z 3104 に準じて分類した。  
 2) 基準レベル以下とは、記録されたエコー高さ、映像が基準レベル以下の場合には欠陥としない。  
 3)  $l$  は自動超音波探傷検査結果記録紙より測定した欠陥指示長さ。  
 4) 欠陥の種類が紛らわしい場合には、厳しい判定を行うものとする。  
 5) 継手の合否は継手を 250mm 間隔に分割し、各 250mm 間隔ごとに判定する。

表—7 吊橋 3 橋の自動超音波探傷検査結果

継手 方向	溶接長 (mm)	継手 数	溶接延長 (mm)	区 間		不合格 (区間数)	区間合格率 (%)
				数	総数		
橋 軸 方 向	11 410	1	11 410	47	47	0	100
	11 560	1	11 560	47	47	0	100
	50 630	4	202 520	204	816	0	100
	51 820	4	207 280	208	832	0	100
	52 190	4	208 760	212	848	1	99.9
	77 910	4	311 640	313	1 252	1	99.8
	78 360	8	626 880	318	2 544	7	99.7
	78 390	4	313 560	317	1 268	0	100
橋 軸 直 角 方 向	3 150	20	63 000	14	280	0	100
	4 350	12	52 200	19	228	1	99.8
	4 875	31	151 125	21	651	1	89.8
	7 345	26	190 970	31	806	4	89.5
	7 500	160	1 200 000	32	5 120	9	99.8
	11 750	64	752 000	49	3 136	4	99.9
	12 220	30	366 600	51	1 530	5	99.7
合 計	373	4 669 505		19 405	33	99.8	

欠陥は33個であり、1溶接線当たり0.08個と非常に少なかった。また、一部に継手について自動超音波探傷試験の信頼性を確認するため放射線透過試験との対比を行ったが、いずれも合否判定の差異はなかったことが確かめられている。

## 7. 結 語

本報告は鋼構造委員会鋼床版疲労小委員会の3年間の活動の成果をまとめたものである。さらに詳細な内容の報告は土木学会鋼構造シリーズとして出版する予定であるので参照していただきたい。

委員会をスタートした時点では“わが国で、本当に鋼床版の疲労が問題になるのか”といった感じもあったが、活動を進めていくうちにかなりの損傷事例が報告され、現在の鋼床版が必ずしも疲労に対して十分な安全性を有してはいることが確認された。委員会としての活動はこれで終わるが、ここでの成果が今後“疲労の心配のいない鋼床版”に向けて生かされれば幸いである。

本委員会の構成委員は以下のとおりである。

委員長	篠原 洋司	(建設省土木研究所)
委員	猪熊 康夫	(日本道路公団)
〃	大村外志男	(川田工業)
〃	鈴木 巖	(阪神高速道路公団)
〃	高木千太郎	(東京都建設局)
〃	田中 雅人	(東京鉄骨橋梁製作所)
〃	中島 拓	(首都高速道路公団)
〃	中野 正則	(建設省)
〃	成井 信	(本州四国連絡橋公団)
〃	平林 泰明	(首都高速道路公団)
〃	深沢 誠	(横河橋梁製作所)

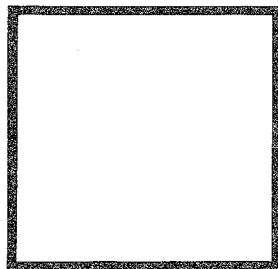
委員	榎田 賢一	(神戸製鋼所)
〃	松下 眞治	(松尾橋梁)
〃	三木 千寿	(東京工業大学)
〃	村越 潤	(建設省土木研究所)
〃	山田 勝彦	(本州四国連絡橋公団)

## 参 考 文 献

- 1) 平井 敦：鋼橋 1
- 2) Schaechterle, K. : Fahrbahnen der Straßenbrücken, Bautech, 1938.
- 3) 中村正平：鋼床版橋、橋梁と基礎, Oct. 1968.
- 4) Weitz, F. R. : Neuzeitliche Gesichtspunkte im Schweißenden Brückenbau, Der Stahlbau, 3/1974.
- 5) 鋼構造進歩調査小委員会：鋼床版の発展と現況, 土木学会誌, 1982. 9.
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 昭和55年2月.
- 7) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧, 昭和54年2月.
- 8) 本州四国連絡橋公団：鋼床版設計要領 (案), 昭和53年3月.
- 9) 阪神高速道路公団, 鋼構造検討委員会：鋼床版設計要領 (案), 昭和58年3月.
- 10) 岡本舜三編：鋼構造の研究, 1977. 6.
- 11) BS 5400 Part 10, Steel, Concrete and Composite Bridges, Code of Practice for Fatigue.
- 12) AASHTO, Standard Specification for Highway Bridges, 13th Edition, 1983.
- 13) 日本鋼構造協会, 疲労設計指針改訂委員会資料.
- 14) 日本造船研究協会 SR 111 : 溶接欠陥および工作誤差の船体強度に及ぼす影響, 1970. 3.
- 15) 本四公団：鋼床版現場溶接施工基準 (案), 1978. 3.
- 16) 首都高速道路公団工務部：現場溶接施工要領, 1988. 1.
- 17) 阪神高速道路公団：現場溶接施工マニュアル, 1985. 4.
- 18) 金沢：鋼床版現場溶接の自動超音波探傷検査, 本四技報, Vol. 11, No. 43, 1987. 7.

(1989. 7. 17・受付)

**STRUCTURAL  
ENGINEERING/  
EARTHQUAKE  
ENGINEERING**



**JAPAN  
SOCIETY  
OF  
CIVIL  
ENGINEERS**

**Vol.6, No.2, October 1989**

---

# STRUCTURAL ENGINEERING/EARTHQUAKE ENGINEERING

Vol.6, No.2, October 1989

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

---

## CONTENTS

• Papers •

- A Provision on Intermediate Diaphragm Spacing in Curved Steel-Plated Box-Bridge-Girders  
*By Tetsuya YABUKI and Yasunori ARIZUMI* 207s
- System Modal Identification Using Free Vibration Data  
*By N. C. MICKLEBOROUGH and Yong Lin PI* 217s
- Corrosion of Steel Bridges—Its Long-Term Prediction and Effect on the Safety  
*By Masaru MATSUMOTO, Naruhito SHIRAIISHI, Somkiat RUNGTHONGBAISUREE  
and Tamito KIKUTA* 229s
- A New Formula to Predict the Ultimate Shear Strength of a Plate Girder  
*By Shigeru KURANISHI, Masatoshi NAKAZAWA and Tetsuo IWAKUMA* 239s
- Nonlinear Waves and Dynamic Pressures in Rectangular Tuned Liquid Damper (TLD)  
—Simulation and Experimental Verification—  
*By Li Min SUN, Yozo FUJINO, Benito M. PACHECO and Masahiko ISOBE* 251s
- Dynamic Stability of an Annular Sector Plate Subjected to In-plane Dynamic Moments  
*By Kazuo TAKAHASHI, Yoshihiro NATSUAKI, Yasunori KONISHI and Michiaki HIRAKAWA* 263s
- Interaction of Tuned Liquid Damper (TLD) and Structure—Theory, Experimental Verification  
and Application—  
*By Piyawat CHAISERI, Yozo FUJINO, Benito M. PACHECO and Li Min SUN* 273s
- Fracture Analyses of Concrete Structures by the Modified Distinct Element Method  
*By Kimiro MEGURO and Motohiko HAKUNO* 283s
- A Static and Dynamic Nonlinear Behaviour of Steel Towers of Long-Span Suspension Bridges  
Subject to Wind and Earthquake Loadings  
*By Taweeep CHAISOMPHOB, Akio HASEGAWA and Fumio NISHINO* 295s
- Elasto-Plastic Out-of-Plane Buckling Strength of Through Type and Half-Through Type  
Arch Bridges  
*By Tatsuro SAKIMOTO, Tsutomu SAKATA and Eiichi TSURUTA* 307s
- Fatigue Crack Initiation and Propagation from Angled Weld Cracks  
*By Takeshi MORI and Hideo TOKIDA* 319s
- A Study on the Fatigue Design of Parallel Wire Strands on Cable-Stayed Bridges  
*By Shunichi NAKAMURA and Hajime HOSOKAWA* 327s
- Availability of Reliability Index for Structural Design  
*By Takashi CHOU* 337s
- An Analysis for Thermal-Bending Stresses in an Annular Sector Plate by the Theory  
of Moderately Thick Plates  
*By Isamu A. OKUMURA, Yuya HONDA and Jin YOSHIMURA* 347s
- Reliability Based Economic Evaluation of Structures Considering the Life Term  
*By Ken KOYAMA* 357s
- Long Life Fatigue Behavior of Fillet Welded Joint in Corrosive Environment  
*By Masahiro SAKANO, Hiroshi ARAI and Toshio NISHIMURA* 365s
-

---

In-Plane Ultimate Strength of Deck-Type Fixed-End Arch Bridges

*By Tetsuya YABUKI and Shigeru KURANISHI 375s*

Scaling Strong Motion Fourier Spectra by Modified Mercalli Intensity, Local Soil and Local  
Geologic Site Conditions

*By M. D. TRIFUNAC 387s*

On the Quantitative Relation between Effective Fourier Spectrum of Input Earthquake Motions  
and Energy Response Spectrum of SDOF Structures

*By Kiyoshi HIRAO, Yoshifumi NARIYUKI, Shuji SASADA and Junichi MASUI 395s*

Effect of Earthquake on Driving of Vehicle Based on Questionnaire Survey

*By Kazuhiko KAWASHIMA, Hideki SUGITA and Takashi KANO 405s*

Identification of Structural Parameters and Input Ground Motion from Response Time Histories

*By Kenzo TOKI, Tadanobu SATO and Junji KIYONO 413s*

• Technical Note •

Structural Parameters Governing Fatigue Cracking in Highway Bridges

*By Ichiro OKURA, Hiroyuki TAKIGAWA and Yuhshi FUKUMOTO 423s*

• Contents of Japanese-written Papers in the Proc. of JSCE No. 410/ I -12 October 1989

427s

---

## AIMS AND SCOPE

STRUCTURAL ENGINEERING/EARTHQUAKE ENGINEERING is a biannual journal of high quality articles in all the fields of engineering mechanics, structural engineering and earthquake engineering. The journal is part of the Proceedings of JSCE\*, the official technical journal of the Japan Society of Civil Engineers, but will be open to all contributors. All inquiries concerning the Journal should be addressed to :

Editorial Committee

Structural Engineering/Earthquake Engineering

Japan Society of Civil Engineers

Yotsuya 1-chome, Shinjuku-ku, Tokyo 160 JAPAN

---

\*The Proceedings of JSCE in Structural Division are also published biannually and, in addition to the papers in this STRUCTURAL ENGINEERING/EARTHQUAKE ENGINEERING, contain the papers in Japanese, the translated titles of which are listed at the end of this journal.

## EDITORIAL BOARD

- N. Akiyama (Saitama University, Saitama) : Editor-in-chief
- M. Kamiyama (Tohoku Institute of Technology, Sendai)
- T. Satoh (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Uji)
- H. Siojiri (Central Research Institute of Electric Power Industry, Abiko)
- N. Nishimura (Osaka University, Suita)
- H. Higashihara (Earthquake Engineering Research Institute, University of Tokyo, Tokyo)
- M. Hoshino (Shin Nippon Giken Engineering Co., Ltd., Tokyo)
- N. Masuda (Musashi Institute of Technology, Tokyo) : Secretary
- R. Inoue (Ibaraki University, Hitachi) : Secretary

## SUBSCRIPTION

Subscription is made as a standing order-yearly renewable basis. Annual subscription price for two issues per volume is US \$ 54.00. by surface mail, US \$ 62.00 by air mail. Subscription orders should be addressed to the Authorized Distributor given next page.

## CITATION FOR REFERENCES

Structural Engineering/Earthquake Engineering, Vol.6, No.2, October 1989, Japan Society of Civil Engineers (Proc. of JSCE No.410/I-12)(Pages should be referred to the right-bottom of each page including alphabetical.)

## INSTRUCTIONS TO AUTHORS

- 1) The Editor-in-Chief will be pleased to receive contributions from all parts of the world. Manuscripts for publication should be submitted to the Editorial Committee given above.
- 2) Types of articles desired are original research papers, technical notes, reviews and discussions.
- 3) Language is to be English, and it is required that all submitted manuscripts be written in clear, and concise English.
- 4) The maximum length of a paper is 10 pages in the printed appearance.
- 5) Manuscripts should be typewritten, double spaced, 12 words/line, 25 lines/page, and on one side of paper only. The approximate maximum length of manuscripts in this form is 25 pages including tables and figures reduced by 70 % in length. They must be submitted in quadruplicate : the original and 3 copies to facilitate review.



- 6) The SI system should be used for all scientific and laboratory data.
- 7) Abstract of 150 words should be provided on the first page of the paper.
- 8) Illustrations should be drawn in black ink on white paper, and should be numbered in Arabic numerals in order of appearance in the text, where they are referred to as Fig. 1, Fig. 2, etc. Tables should be typed on separate sheets including legends. They should be numbered in sequence in Arabic numerals, where they are referred to as Table 1, Table 2, etc. All illustrations and tables must have captions which should be typed on a separate sheet of paper.
- 9) References should be numbered in order of appearance in the text and listed on a separate sheet. Literature references must consist of names and initials of all authors, title of paper referred to, (abbreviated) title of periodicals and the volume, year and first and last page numbers of the paper. They can be referred to in the text by superposed numbers.

Structural Engineering/Earthquake Engineering, ISSN 0289-8063 © 1986, Japan Society of Civil Engineers, Yotsuya 1-chome, Shinjuku-ku, Tokyo 160. Printed in Japan. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, without the prior written permission from the Society. The Society is not responsible for any statement made or opinion expressed in the Journal.

**Sole distributor**

**MARUZEN CO., LTD.** EXPORT DEPARTMENT

P. O. Box 5050, Tokyo International 100-31, Japan  
 Telex : J26517 MARUZEN Cable : MARUYA Tokyo FAX : Tokyo 274-0283

**ORDER FORM**

Date:

Please enter a subscription for:

- Standing order from volume \_\_\_\_\_  I enclose the remittance
- Only volume \_\_\_\_\_  Please send invoice

Name: \_\_\_\_\_

Affiliation: \_\_\_\_\_

Mailing Address: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(Please type or print)

Please send your order to:

Maruzen Co., Ltd. Export Dept. P. O. Box 5050 Tokyo International 100-31 Japan

Signature \_\_\_\_\_