

# 橋梁鋼床板現場溶接部の耐疲労性

—新十三大橋の場合—

小西一郎\*・西村昭\*\*  
 山川純雄\*\*\*・近藤和夫\*\*\*\*  
 加藤隆夫\*\*\*\*\*

## 1. まえがき

鋼床板は主桁としての効果と同時に、床板としての効果も持っている。そこで、その橋軸直角方向の継手は高い効率を有するものであることが望ましい。継手工法として、リベット、高力ボルトおよび溶接があるが、このうち、施工法、残留応力等に関する問題が明らかにされれば、溶接が鋼床板の現場継手として適切な工法であるといえる。また、このように溶接の採用により直接接合部材が節約されるばかりでなく、舗装厚さの一様性が確保され、リベットやボルトを用いて接合する場合におけるような弱点が解消し、舗装厚さをいっそう薄くすることも可能である。したがって、これらに関連して経済性の向上も期待できることになる。これらのことから、鋼床板の現場継手に溶接を用いる例が、すでに西ドイツを中心に多数現われている。

新十三大橋においても、このような考え方にもとづき、その鋼床板デッキプレートの縦横すべての継手に現場溶接を用いた。新十三大橋現場溶接の設計施工の概要については、すでに報告したところである<sup>1)2)</sup>。

ところで、鋼床板はいうまでもなく、直接輪荷重を担う。したがって、主桁に比して変動応力の反復回数ははるかに大となる。そのため、デッキプレートの現場溶接

部の信頼性については、変動応力下の耐疲労性に関し実験的な裏づけが必要と思われる。ことに、裏当金を用いた溶接では、開先底部から裏当金に溶け込んだ溶着金属の形状により、溶け込み始端位置に大きな応力集中を生じる可能性が考えられる。また、裏当金とデッキプレートを結合する下方からのすみ肉溶接部分にも類似の形が形成され、これらのために特に疲労強度の低下が懸念される。このような要請から、溶接による各種の継手形式について、引張り、曲げの疲労試験を実施し、その耐疲労性について検討を加えた。今回は特にこの問題について報告する。

## 2. 供試体疲労試験

### (1) 試験片および試験条件

供試材は、実橋に使用された材料 SM 50 A (板厚 12 mm) の一部分で、その機械的性質 (JIS 7 号試験片による<sup>3)</sup>) と化学成分 (チェック分析) を表-1 に示す。試験片の形状寸法は 図-1 に示すとおりで、(a) は引張疲労試験片、(b) は曲げ疲労試験片である。試験片表面は圧延のままであり、側面は機械仕上げ (約 12 S) し、試験部の断面隅角部には面取り約 1R を施した。

試験に用いた試験片の種類と本数を表-2 にとりまと

表-1 機械的性質ならびに化学成分

鋼種	化 学 成 分									機 械 的 性 質		
	C	Si	M	P	S	Cu	Cr	Mo	Ni	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)
SM 50 A	0.18	0.44	1.35	0.02	0.02	0.05	0.02	0.01	0.02	37.5	56.7	33.3

\* 正会員 工博 京都大学教授, 工学部土木工学科  
 \*\* 正会員 工博 神戸大学教授, 工学部土木工学科  
 \*\*\* 正会員 元京都大学助手, 工学部土木工学科

\*\*\*\* 正会員 大阪市 土木局  
 \*\*\*\*\* 正会員 大阪市 土木局

a) 残材の関係でやむをえず 7 号とした。

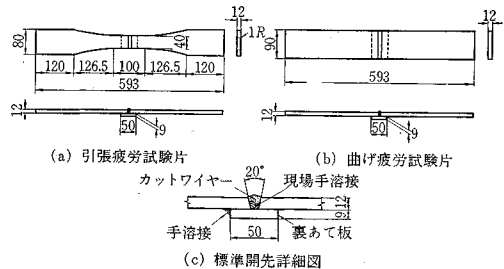
表-2 試験片の種類と本数および疲労試験結果

区 分	片 振 引 張 疲 勞 試 験 結 果					曲 げ 疲 勞 試 験 結 果				
	試験片 記号	応力 (kg/mm <sup>2</sup> )		繰返数 (×10 <sup>4</sup> )	破断の有無およ び箇所	試験片 記号	応力 (kg/mm <sup>2</sup> )		繰返数 (×10 <sup>4</sup> )	破断の有無 および箇所
		上 限	下 限				上 限	下 限		
母 材	T 1-1	12.02	0	269.4	破断せず					
	2	35.00	0	55.2	R部破断					
	3	30.00	0	216.3	破断せず					
	4	40.00	0	25.8	R部破断					
	5	33.00	0	96.4	R部破断					
	6	37.00	0	83.6	R部破断					
	7	31.00	0	212.9	破断せず					
標準溶接開先 ユニオンメルト+カットワイヤー ビードおよび裏当金はついたまま	T 2-1	36.84	0	5.7	溶接部破断 (B)	B 2-1	20.0	2.0	80.52	溶接部亀裂
	2	12.02	0	232.4	破断せず	2	25.0	2.0	31.12	溶接部亀裂
	3	20.00	0	49.0	溶接部破断 (B)	3	30.0	2.0	22.31	溶接部亀裂
	4	15.00	0	189.2	溶接部破断 (B)	4	15.0	2.0	260.00	破断せず
	5	25.00	0	35.8	溶接部破断 (B)	5	35.0	2.0	13.70	溶接部亀裂
	6	30.00	0	12.2	溶接部破断 (B)	6	18.0	2.0	142.04	溶接部亀裂
	7	18.00	0	294.9	溶接部破断 (B)	7	24.0	2.0	52.13	溶接部亀裂
標準溶接開先 裏当金除去 両面機械仕上げ	T 3-1	12.02	0	233.7	破断せず	B 3-1	35.0	2.0	42.85	溶接部亀裂
	2	40.00	0	9.1	溶接部破断 (B)	2	25.0	2.0	250.00	破断せず
	3	35.00	0	38.3	R部亀裂	3	30.0	2.0	130.30	溶接部亀裂
	4	30.00	0	45.2	溶接部破断 (B)	4	32.0	2.0	50.06	溶接部亀裂
	5	25.00	0	231.4	溶接部破断 (B)	5	28.0	2.0	215.90	破断せず
	6	27.50	0	180.9	溶接部破断 (B)	6	40.0	2.0	27.57	溶接部亀裂
	7	27.50	0	33.3	溶接部破断 (B)					
標準溶接開先 ユニオンメルト+カットワイヤー 裏当金, 肌すき 2mm	T 4-1	12.02	0	233.1	破断せず	B 4-1	35.0	2.0	68.75	溶接部亀裂
	2	15.19	0	205.6	溶接部破断 (B)	2	40.0	2.0	18.21	溶接部亀裂
	3	20.00	0	54.9	溶接部破断 (B)	3	20.0	2.0	215.76	破断せず
	4	25.00	0	22.1	溶接部破断 (B)	4	35.0	2.0	32.38	溶接部亀裂
	5	30.00	0	9.8	溶接部破断 (B)	5	22.0	2.0	253.32	破断せず
	6	40.00	0	2.1	溶接部亀裂 (B)	6	30.0	2.0	56.20	溶接部亀裂
	7	18.00	0	147.5	溶接部破断 (B)	7	25.0	2.0	107.11	溶接部亀裂
標準溶接開先 手 溶 接 ビード面グラインダー仕上げ	T 5-1	12.02	0	316.9	溶接部破断 (B)	B 5-1	23.0	2.0	141.37	溶接部亀裂
	2	15.00	0	248.7	溶接部破断 (B)	2	25.0	2.0	85.57	溶接部亀裂
	3	20.00	0	210.0	破断せず	3	20.0	2.0	286.00	破断せず
	4	25.00	0	61.7	溶接部破断 (S)	4	30.0	2.0	27.26	溶接部亀裂
	5	30.00	0	22.7	溶接部破断 (B)	5	35.0	2.0	21.45	溶接部亀裂
	6	23.00	0	190.0	溶接部破断 (B)	6	40.0	2.0	15.46	溶接部亀裂
	7	40.00	0	13.6	溶接部破断 (B)					

註: ① B・裏側よりクラック発生, S・表面ビード止端よりクラック発生  
② 疲労試験実施時期 昭和40年12月~昭和42年1月

めて示す。表中のT2およびB2シリーズが現場における継手を再現したもので、溶接方法、溶接条件は現場作業時のそれと同一である。T3およびB3シリーズは、上下両面とも、機械仕上げしたもので、溶接部の内部欠陥、溶込み不良などによる強度低下ならびに表面および裏当金側の応力集中の影響などを明らかにするために用意した。T4およびB4シリーズは、接合主板と裏当金との間に約2mmの肌すきを与えたものである。これは実際の現場施工において条件が悪ければ発生する可能性があり、疲労強度に及ぼす影響を調べるために用意した。以上の第2シリーズ(T2, B2)から第4シリーズ(T4, B4)は図-1(c)に示した標準開先に同一溶接条件(電流, 電圧, 速度)で手溶接併用のカットワイヤーを用いた潜弧自動溶接を行なったものである。これに対し、T5およびB5シリーズは手溶接

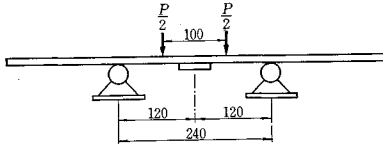
図-1 試験片の形状寸法



(溶接棒 LB 52)を行ない、余盛りのみ削除(グラインダー仕上げ)したものである。これは表面の余盛り削除が疲労強度向上に及ぼす効果があるかどうか、かつまた、手溶接と上記自動溶接の疲労強度の差異があるかどうか、などを明らかにしようとしたものである。

以上の試験片は1シリーズ7本を標準とし、引張疲労

図-2 曲げ試験における荷重方法



試験片 35 本, 曲げ疲労試験片 26 本, 総計 61 本の試験片を製作した。

引張疲労試験は下限応力  $\sigma_{min}=0$  の完全片振りであり, 曲げ疲労試験の場合は試験機の都合上  $\sigma_{min}=2 \text{ kg/mm}^2$  の部分片振りである。曲げ疲労における荷重方法は図-2 に示すように裏当金が下側(引張側)になるように試験片をセットし, 荷重分配治具により, 2 点対称荷重とした。したがって, 試験部には曲げモーメントのみが作用することになる。

使用試験機は引張疲労試験の場合ローゼンハウゼン疲労試験機 UHS 型(静的  $\pm 35 \text{ t}$ , 動的  $\pm 20 \text{ t}$ ), 曲げ疲労試験の場合同上 UHP 型(静的  $+20 \text{ t}$ , 動的  $+10 \text{ t}$ )である。なお荷重繰返し速度は引張り, 曲げ両者とも 800 回/分とした。

(2) 疲労試験結果

片振引張疲労試験結果および片振曲げ疲労試験結果をまとめて表-2 に示す。引張疲労の場合の応力は, 荷重を試験部平均断面積で割った公称応力であり, 曲げの場合には試験部に作用する曲げモーメントを試験部の断面係数で割った値を表示した。

図-3 および 図-4 は破断までの繰返し数 ( $N$ ) とそのときの上限応力 ( $S$ ) を両対数紙上にプロットして得た  $S-N$  線図である。これらの  $S-N$  線から 200 万回および 60 万回時間強度を求めた結果を表-3 に示す。この結果から明らかなように, 曲げ疲労強度の方が引張疲労強度よりも高く出ているが, これは一般的傾向としてよく知られている。

次に, 表-2 に (B) の記号で示すごとく, 疲労クラックは一, 二の例外はあるが, ほとんど裏当金側から発生している。これらの疲労破面の代表例を写真-1 に示す。これらにみられるごとく, クラックの伝ば状況の一つの形式として裏当金側溶接ルートの 1 ヲ所ないしは狭

表-3 200 万回および 60 万回時間強度

記号	疲労強度 ( $\text{kg/mm}^2$ )		記号	疲労強度 ( $\text{kg/mm}^2$ )	
	60万回	200万回		60万回	200万回
T 1	36.2	32.0	B 1	—	—
T 2	20.2	15.0	B 2	22.7	16.3
T 3	30.0	25.0	B 3	34.3	28.5
T 4	19.7	15.0	B 4	29.3	21.3
T 5	24.0	16.0	B 5	27.7	21.1

図-3 片振引張  $S-N$  線

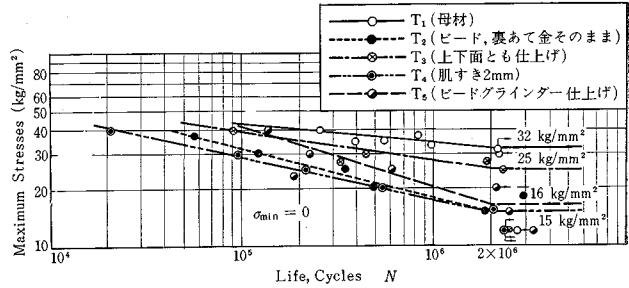


図-4 片振曲げ  $S-N$  線

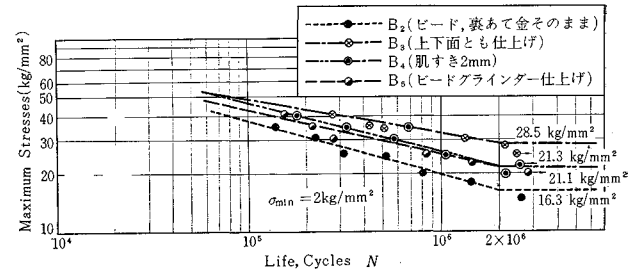


写真-1 (a) 疲労破面

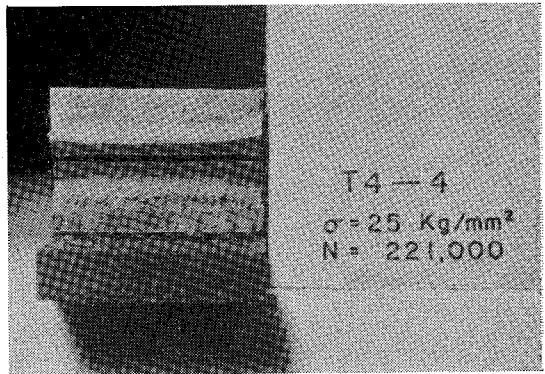
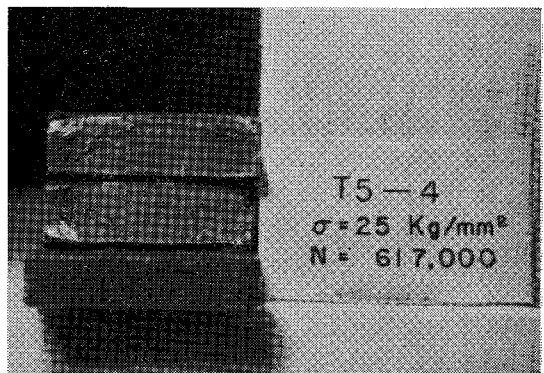


写真-1 (b) 疲労破面



い範囲で初期クラックが発生し, そこから半月状に伝ばしているもの, 第二の形式は溶接ルート部の全域ないしかなり幅広い範囲においてほとんど同時にクラックが発

生し、裏当金側から表面に向かって一様に伝ばするものがある。総体的には後者の方が多い。

### (3) 考 察

#### a) 表面余盛削除の効果

T5は表面の余盛をグラインダーで削除したものであるが、T2すなわち余盛つき現場継手に比べ200万回時間強度で、約1kg/mm<sup>2</sup>しか向上していない。一方、曲げ疲労の場合は、B2の16.3kg/mm<sup>2</sup>がB5では21.1kg/mm<sup>2</sup>まで上昇し、かなりの効果となっておりあらわれている。T2とT5あるいはB2とB5の差は、単に余盛削除の効果のみならず、手溶接と自動溶接の差も含まれているので、前記疲労強度の差がそのまま余盛削除の効果とは断言できない。しかし、一般に自動溶接と手溶接の差は小さいことが報告されているので<sup>5)6)</sup>、第2シリーズと第5シリーズの差は余盛削除の効果とみなしてよからう。

#### b) 裏当金削除の効果

第2シリーズと第3シリーズを比較すると、200万回時間強度で、引張疲労の場合10kg/mm<sup>2</sup>、曲げ疲労の場合も前者とほぼ同程度の12.2kg/mm<sup>2</sup>の向上を示している。しかし、この数字の中には余盛削除の効果も含まれている。これについては、a)でおよその値が得られているので、それを差引くと裏当金削除の効果としては引張りの場合は約9kg/mm<sup>2</sup>、曲げの場合は約8kg/mm<sup>2</sup>となる。

一方、T3と母材とを比較すると、T3は母材に対し78%である。一般にSM50材の突合せ溶接継手の余盛削除の場合の疲労強度(片振引張)は母材(圧延のまま)とほとんど同じであるといわれている<sup>9)</sup>。したがって、クラックの発生箇所が表-2に示すとおりすべて裏当金側からであった点とあわせ考えて、T3のように裏当金を削除しても、なおかつ疲労強度を低下させる微視的欠陥あるいは治金的欠陥がその部分に存在するものと考えられる。

#### c) 肌すきの影響

T4は母材と裏当金との間に約2mmの肌すきを与えたものであるが、これをT2と比較すると図-3から明らかなおお、ほとんど差異がない。しかし、曲げ疲労の場合には200万回時間強度でB4の方がB2より5kg/mm<sup>2</sup>高い。この理由としては、T4とB4とで若干溶着金属のたれ下がり部の形状が異なっていたことが考えられる。このことは、母材と裏当金との間のすき間の大小よりも、その部分の微小な切欠半径の方が重要であることを示すものといえる。

## 3. 現場継手の疲労性状

### (1) 概 説

実在構造物が受ける応力は、時間的に強度が不規則に変動するのが普通である。そのような変動応力下の材料疲労は、実験室的にも、まだ十分な解明がなされておらず、まして実在構造物に対してその耐力を判定することはきわめて困難である。このような変動応力下の耐疲労性を判定する概算法として、繰返数比積算法(いわゆるMinerの法則)<sup>7)8)9)10)</sup>なるものがあるが、これは疲労破損が応力反復回数に比例して累積されると考えるものである。今回も耐疲労性を論ずる場合には、この考え方をあてはめるものとする。

繰返数比積算法では、 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$ なる $m$ 種の変動応力振幅がそれぞれ $n_1, n_2, \dots, n_m$ 回反復作用する場合、次の条件が満たされるとき疲労破壊が生ずると考える。

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} = 1$$

ここに $N_i$ は $\sigma_i$ なる応力振幅が単独に作用する場合の破壊に至る繰返回数である。したがって、疲れ限度以下の応力振幅では $n_i/N_i \rightarrow 0$ となり、上式での積算からは除外されることになる。

### (2) 時間強度線図

供試体疲労試験のところで述べた疲労試験は、軸引張および板曲げのいずれも片振りの場合である。これに対して実橋の現場継手部が受ける変動応力は、最大応力および最小応力のいずれもが不規則に変動し、その応力比 $\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ は、構造物内で注目している構造部分が占める位置によって異なる値をとる。したがって、まず今回得られた片振疲労試験結果にもとづいて、各応力比での時間強度を推定しなければならない。この際、とるべき指定繰返数としては、200万回ならびに60万回を選ぶものとする。ここで用いる200万回の指定繰返数は、道路橋主部材に対する慣例からするとかなり大きいものであるが、本橋の場合には局部的な荷重による応力ピークを無視できないから、応力繰返しに関しては一般道路橋よりも鉄道橋に近い状態にあることを考慮したものである。

さて、ここに選んだ200万回と60万回の指定繰返数に対して、ここでは次のように時間強度線図を描いた。すなわち、図-5に示すように、片振時間強度と引張強度とを結ぶ直線を求め、これを時間強度線とする方法で、それには平均応力と応力振幅との関係で表わす図-5(a)の方法と、最小応力と最大応力との関係で表わす

図-5 (b) の方法とがある。ここでは以後の取扱いの都合上、図-5 (a) の方法を用いることにする。

鋼床板継手部に生ずる応力は、主桁作用によるものと床板作用によるものの合成されたものである。このうち後者による板応力、ならびに縦リブ応力として鋼床板継手部に生ずる応力は、純曲桁による応力に近い分布を示し、したがって第2節に述べた曲げ疲労試験結果にもとづいて、継手部の耐疲労性を検討する方が好ましいと考えられる。しかし、実働応力としては、このほかに死荷重および活荷重による主桁応力が重畳され、結果として0でない平均応力を有する応力分布となり、一方、曲げ疲労強度は引張疲労強度より一般に高い値をもっている。これらのことを考慮して、時間強度線図を引張疲労試験結果を用いて求めた。これを図-6に示す。この図-6において繰返し応力 ( $\sigma_m, \sigma_a$ ) を図上にプロットした場合、これらの点が60万回時間強度線、200万回時間強度線以下に落ちれば、これらの繰返し応力は、それぞれ60万回、200万回の繰返し载荷に対し疲労破損を生じないことを示している。

### (3) 現場継手部の実働応力の評価

#### a) 橋軸直角方向継手の位置

橋軸直角方向現場継手の位置は、図-8 ㉔ に併記するとおりである。各継手は、横リブ間の中央、したがって、縦リブのスパン中央に位置している。以下において継手の耐疲労性を評価するため、各継手に生ずる変動応力の上・下限値を求める。

#### b) 桁断面内での実働応力分布

一般に鋼床板継手部に生ずる応力は、次に掲げる ①～⑤ の応力から構成される。

- ① 死荷重応力…………… $\sigma_d$
- ② 主桁作用による活荷重応力…………… $\sigma_L$
- ③ 床板作用による縦リブの活荷重応力…………… $\sigma_{RL}$
- ④ 床板作用による活荷重板応力…………… $\sigma_{PL}$
- ⑤ 溶接熱による残留応力および拘束応力…………… $\sigma_r$

これらの応力の断面内分布状況は、図-7 のようになる。

次に注目する鋼床板現場継手部が、荷重位置の移動に伴い、いかに応力を変えるかを考えよう。鋼床板上面は圧縮応力が卓越するが、活荷重の移動によっては、さきの圧縮応力を生じた状態から  $\sigma_L, \sigma_{RL}, \sigma_{PL}$  の符号が引張応力に変わり、そのため、活荷重の移動による変動応力の応力振幅範囲が、拡大されることになる。図-7 中、破線で示された応力分布が現場継手部に引張応力を生ずる場合を示している。また鋼床板下面では  $\sigma_{PL}$  の引張応力は、かなりの大きさになり、これが中間支点到隣 J<sub>4</sub>, J<sub>5</sub> の継手部の負の曲げモーメントによる床板の軸方

図-5 時間強度線図

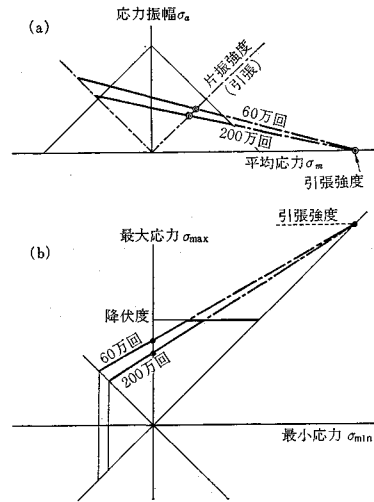


図-6 時間強度線図

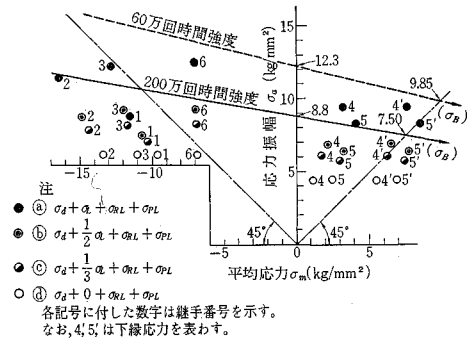
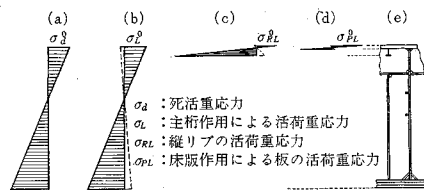


図-7 応力分布説明図



向引張応力と合成される。そこでいま、鋼床板表面、および継手 J<sub>4</sub>, J<sub>5</sub> の下面につき、各断面での応力計算値を一括して示すと表-4 のようになる。表-4 を橋軸に沿い、各継手につき図示すると、図-8 が得られる。また、現場溶接継手位置での  $\sigma_L$  ならびに  $\sigma_{RL}, \sigma_{PL}$  計算時の活荷重載荷状態の一例を示すと図-9 のようになる。なお ⑤ の  $\sigma_r$  は不確定要因を多く含み、絶対値を推定することは、はなはだ困難であるが、この応力の耐疲労性におよぼす影響は変動応力の平均応力を変えることである。

#### c) 応力の重畳

上記の各種応力はそれぞれが設計荷重で生ずる最大の応力を考えている。安全性の検討を行なうために、いかなる組合せの重畳応力をとるかは、対象とする構造部材

表-4 応力一覽

(単位kg/cm<sup>2</sup>)

欄	応力	継手番号*		J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	J <sub>6</sub>				
		1	2										
A	① $\sigma_d$			-468	-832	-603	+469	-599	-187				
	case	1	2										
	② $\sigma_L$	+ 77	- 453	+216	- 842	+429	- 800	+ 697	-294	+ 563	-216	+606	- 653
	③ $\sigma_{RL}$	+ 44	- 441	+ 44	- 441	+ 44	- 441	+ 31	-306	+ 31	-306	+ 44	- 441
④ $\sigma_{PL}$	+ 68	- 682	+ 68	- 682	+ 68	- 682	+ 50	-501	+ 50	-501	+ 68	- 682	
B	⑤: ①+②+③+④	-279	-2 044	-504	-2 797	- 62	-2 526	+1 247 +1 698	-632 -181	+1 234 +1 685	-424 + 27	+531	-1 963
	⑥: ①+1/2②+③+④	-317	-1 818	-612	-2 376	-276	-2 126	+ 899 +1 350	-485 - 34	+ 962 +1 418	-316 +135	+228	-1 637
	⑦: ①+1/3②+③+④	-330	-1 742	-648	-2 236	-348	-1 993	+ 782 +1 233	-436 -451	+ 868 +1 319	-280 +171	+127	-1 528
	⑧: ①+0+③+④	-356	-1 591	-720	-1 955	-491	-1 726	+ 550 +1 001	-338 +113	+ 680 +1 131	-208 +243	- 75	-1 310

注: \* 図-9 (e) 参照, \*\* 各行下段の数字はデッキプレート下縁の応力

図-8 現場継手部における設計応力振幅

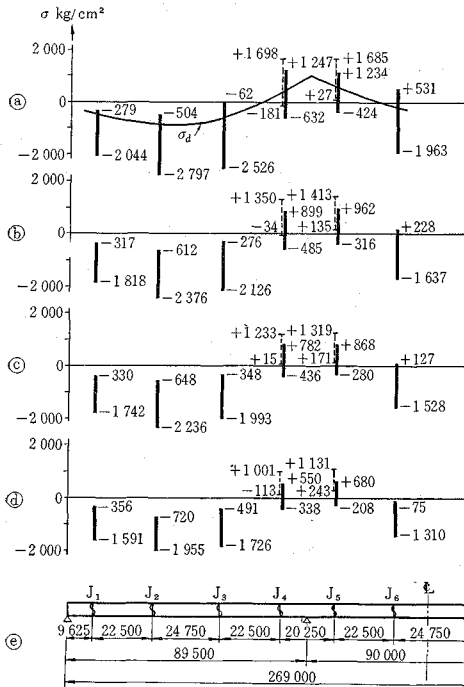
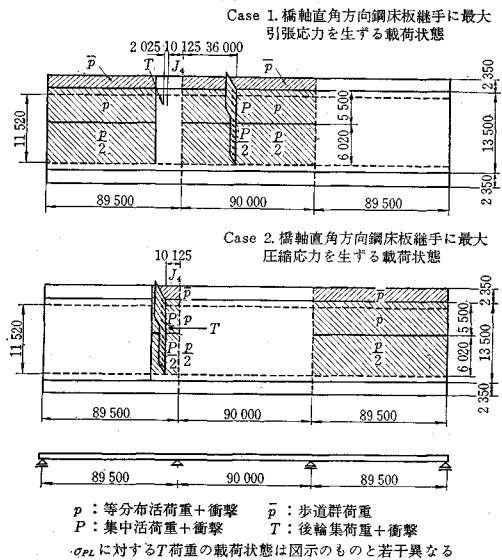


図-9 J<sub>4</sub> 継手部に対する活荷重の載荷状態



の安全性判定の基準として、いかなる極限状態を考えるかによる。ここでは、鋼床板現場溶接継手の強度を問題としているから、静的および疲労強度両面からの検討が必要である。静的破壊を対象とする場合には、考える最大応力状態、すなわち下記の ⑧ をとり疲労破壊を対象とする場合には、作用頻度の多い応力状態すなわち、⑥, ⑦, ⑧ の状態をとるべきであるとする。

$$\left. \begin{aligned}
 \text{⑧ } & \sigma_d + \sigma_L + \sigma_{RL} + \sigma_{PL} + \sigma_r \\
 \text{⑥ } & \sigma_d + 1/2 \sigma_L + \sigma_{RL} + \sigma_{PL} + \sigma_r \\
 \text{⑦ } & \sigma_d + 1/3 \sigma_L + \sigma_{RL} + \sigma_{PL} + \sigma_r \\
 \text{⑧ } & \sigma_d + 0 + \sigma_{RL} + \sigma_{PL} + \sigma_r
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

⑧ は最大応力ばかりをとった場合であり、σ<sub>L</sub>, σ<sub>RL</sub>,

σ<sub>PL</sub> の三者を別々の荷重状態で求めて、その結果のみを重畳したものである。したがって、このような応力はほとんど発生し得ないものであるが、考える最も危険側の状態として採用した。

⑥, ⑦ は、いずれも ⑧ の場合の不合理性をいくらか緩和することをねらいとしている。局部的載荷による σ<sub>RL</sub>, σ<sub>PL</sub> が発生したときの橋の全体的載荷として、設計活荷重の 100% を考えずに、その 1/2, あるは 1/3 である状態を想定している。ここで選んだ ⑥, ⑦ の状態は ⑧ より実在性はあるが、しかし、それらのおおの場合の可能性から考えて、その発生確率は、なお小さいものといえよう。

次に ⑧ は局部的載荷状態のみを考えた場合であって設計 T 荷重に匹敵する大きさの重車両が、その継手部分を通過するごとに発生する応力と考えてよい。

各場合の計算結果は 表-4 B欄 および 表-5 に示す

表—5 各継手位置における平均応力と応力振幅

(単位: kg/cm<sup>2</sup>)

継手番号 平均応力 応力振幅	J <sub>1</sub>		J <sub>2</sub>		J <sub>3</sub>		J <sub>4</sub> *		J <sub>5</sub> *		J <sub>6</sub>	
	$\sigma_m$	$\sigma_a$	$\sigma_m$	$\sigma_a$	$\sigma_m$	$\sigma_a$	$\sigma_m$	$\sigma_a$	$\sigma_m$	$\sigma_a$	$\sigma_m$	$\sigma_a$
㉑ $\sigma_d + \sigma_L + \sigma_{RL} + \sigma_{PL}$	-1 162	883	-1 651	1 147	-1 294	1 232	308 (759)	940 (940)	405 (856)	829 (829)	-716	1 247
㉒ $\sigma_d + 1/2 \sigma_L + \sigma_{RL} + \sigma_{PL}$	-1 068	751	-1 494	882	-1 201	925	207 (658)	692 (692)	323 (774)	639 (639)	-705	933
㉓ $\sigma_d + 1/3 \sigma_L + \sigma_{RL} + \sigma_{PL}$	-1 036	706	-1 442	794	-1 171	823	173 (624)	609 (609)	294 (745)	574 (574)	-701	828
㉔ $\sigma_d + 0 + \sigma_{RL} + \sigma_{PL}$	- 974	618	-1 338	618	-1 109	618	106 (557)	444 (444)	236 (687)	444 (444)	-693	618

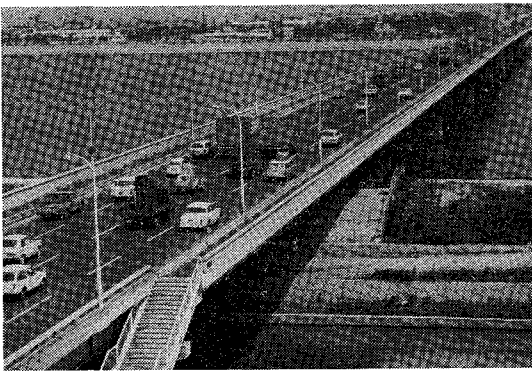
注: \* ( ) 内の数字はデッキプレート下縁応力

とおりである。ただし、㉑の $\sigma_r$ の大きさは不確定であるので、一応集計に際して考慮外としている。それが耐疲労性におよぼす効果は前述のとおり、平均応力を変えるのみであるから、図—6の各点が単に水平に $\sigma_r$ の値だけ移動することになる。したがって、各点がそれぞれの直上に位置する時間強度線と交わるまでには、なおかなりの移動量が残されている。このことは一応 $\sigma_r$ の耐疲労性におよぼす影響を推定する資料となるだろう。

d) 現行の交通状況

本橋は現在、北行一方通行で開放されている。写真—2は本橋上の交通状況の一例で、昭和43年6月19日、次の3回に分けて撮影したもののうち、\*印に対応するものである。

写真—2 新十三大橋交通状況(昭. 43. 6. 19 撮影)



第1回: 午前9時32分, 37分\*, 42分

第2回: 午後1時33分, 38分, 43分

第3回: 午後5時30分, 35分, 40分

この写真からわかるように、交通の現状は次のようである。

- ① 乗用車, 軽自動車, 小型貨物自動車などの軽車両が大半を占めている。
- ② 車頭間隔が比較的大きいことから、各車両ともかなりの速度で走行している。
- ③ 1日の時間別通行車両数, 車両種別は大差ない。

これらのことから、現場溶接継手部に生ずる変動応力は、現在の時点では前述の4つの応力重畳のうち㉑、㉒

に近いものといえよう。

また、かりに何らかの原因により交通が橋上において阻止される場合、あるいは今後の交通車両重量の増加を考慮しても、図—7からわかるように、鋼床板現場溶接部の強度については問題ないと思われる。

4. 耐疲労性に関する総括

以上述べてきたところを総合し、鋼床板現場溶接継手部の耐疲労性について考察すると次のようになる。

(1) 現場溶接継手部の疲労強度

a) 裏当金を有するSM 50 A(板厚 12 mm)の現場溶接継手(余盛つき)に期待できる60万回および200万回時間強度は表—3に示すごとく、それぞれ20 kg/mm<sup>2</sup>, 15 kg/mm<sup>2</sup>である。

b) 継手表面の余盛のみを仕上げて疲労強度はあまり向上せず、引張疲労で約1 kg/mm<sup>2</sup>, 曲げ疲労で4.8 kg/mm<sup>2</sup>向上する。

c) 余盛および裏当金を削除しても200万回時間強度は母材(圧延のまま)の78%である。裏当金のみ削除した場合は引張疲労, 曲げ疲労とも約8~9 kg/mm<sup>2</sup>の向上を期待できる。

d) 肌すきの影響は本試験ではほとんどみられず、むしろ母材と裏当金の間の溶着金属の切欠半径が影響するものと思われる。

(2) 鋼床板現場継手部実働応力

実橋鋼床板継手部に生ずる変動応力にもとづき、死荷重応力 $\sigma_d$ , 活荷重による主桁作用応力 $\sigma_L$ , 同じく床板作用縦リブ応力 $\sigma_{RL}$ と板応力 $\sigma_{PL}$ の重畳として、式(1)の4つの場合を考えた。これらの各成分応力はそれぞれが最大値となるよう、独立の荷重状態で計算されるから静的耐荷力の検討のためには、最大可能な応力の目安を与える重畳㉑を利用することが妥当である。しかし、耐疲労性を論ずるには、局部載荷に対応する重畳㉒をとることが、ほぼ妥当と考えられる。この上さらに、活

荷重の全面的載荷を考慮する場合でも ①② の重疊を考  
えれば十分であろう。

### (3) 安全性の確認

図-7 において、鋼床板現場継手  $J_3, J_4, J_5, J_6$  に対  
する変動応力 ③ が 60 万回と 200 万回の 2 つの時間強  
度線の間で落ちている。しかし、すでに述べたとおり、  
③ なる変動応力は、成分応力が最大となる相互に独立の  
荷重状態を重疊した、実際上生起確率のきわめて小さい  
ものであるから、それが継手部に疲労破損を生ずる程度  
に反復生起することは考える必要がないものといえる。  
これに対し、より現実的なものとして ①, ②, ④ なる応  
力に対しては、図-7 のように、200 万回時間強度線よ  
り十分下方にあり、継手の耐疲労性は問題ないと結論で  
きよう。これらの応力に含まれる  $\sigma_r$  は不確定要因の多  
いものであるが、それが耐疲労性を変化せしめるには、  
図-7 において各点が水平右方に移動することであり、  
なおかなりの余裕が残されていることになる。したがっ  
て、この意味から疲労を考えてもその耐荷力は十分と判  
定される。

### あとがき

ここに得られた結論は、決して確一的なものでなく、残

留応力に関連する不明確な問題も残しているが、今後ま  
すます重要性を加える鋼床板現場溶接継手の強度、耐久  
性解明に関する一つの方向を示したものである。今後の  
研究によってさらに施工法が合理化され、またその強度、  
耐久性が明確にされることを強く希望するものである。

おわりに、疲労試験の実施に際して、多大のご協力を  
得た京都大学技官本田博良氏に感謝の意を表する次第で  
ある。

### 参 考 文 献

- 1) 近藤和夫ほか：新十三大橋の工事，橋梁と基礎，Vol. 2，  
No. 2, No. 5, 1968
- 2) 近藤和夫ほか：新十三大橋の建設工事，土木学会誌，Vol.  
52, 8号, 1967
- 3) 加藤隆夫：鋼床板の現地溶接について，橋梁と基礎，  
Vol. 1 No. 5, 1967
- 4) C. Lippson and R.C. Juvinall: Handbook of Stress  
and Strength, Macmillan, 1963.
- 5) W.H. Munse and L.M. Grover: Fatigue of Welded  
Steel Structures. Welding Research Council, 1964
- 6) 山口勇男ほか：船体用鋼板の疲労強度について，造船協  
会論文集，Vol. 89, No. 115, 1964
- 7) A. Palmgren: Die Lebensdauer von Kugellagern,  
Bd. 68, Nr. 14, 1924
- 8) B.F. Langer: Fatigue Failure from Stress Cycles  
of varying Amplitude, Appl. Mech., J. (A.S.M.E.  
Trans), 59, A-160, 1937
- 9) M.A. Miner: Cumulative Damage in Fatigue Appl.  
Mech., J. Vol. 12 No. 3 A-159, A-164, 1945
- 10) 小西一郎：繰返応力による構造物の疲労強度とその寿命  
について，土木学会論文集，第4号，1949
- 11) 渡辺正紀・佐藤邦彦：溶接力学とその応用，朝倉書店，  
1965 (1969・3・19・受付)

土木学会田中賞設立を記念し昨年に引続き刊行されたユニークな  
橋の年報・好評発売中！

# 橋 BRIDGES IN JAPAN 1967-1968

A4判上製カバー付 82ページ・原色版によるカラー写真入り 図表多数 1500円

土木学会田中賞設立の趣旨と本年報発刊の目的（福田・  
平井） 本州四国連絡橋技術調査報告書の概要〔受賞作  
品〕福島第一高架橋・名護屋大橋 鋼橋 1967年の展望  
箱ヶ瀬橋・舞鶴跨線橋・瀬詰大橋・谷町インターチェ  
ンジ・竜頭の橋・水道道路架道橋・狭間第6架道橋・越  
ヶ谷架道橋および八ツ道越ヶ谷架道橋・姥久保橋・大天  
橋 コンクリート橋 1967年の展望 想影橋・大呼戸沢  
橋梁・みなと大橋・有田川橋梁・瀬田川橋梁・小高瀬高  
架橋 1967年竣工主要橋梁一覧〔受賞論文〕Response  
of Suspension Bridge to Moving Vehicles（伊藤）  
田中賞選考経過（福田）