

## 鋼道路橋の疲労設計資料

### 『§ 4. 疲労設計計算例』の横桁計算の修正

横桁の主桁への連結部の溶接にて、腹板部にすみ肉溶接を、フランジ部に完全溶込溶接を採用した設計事例を掲載していますが、溶接部の応力計算の方法を修正いたします。異なる種類の溶接を混在させた場合には、母材の全断面を有効とした場合に比べ、各部位の応力の分担が変わるため、溶接部の断面を用いて断面性能を計算し、応力を計算しました。

詳細については、次頁以降に記載しましたので、ご参照願います。修正頁分のみ、添付しています。

平成 18 年 6 月

(社) 日本橋梁建設協会 構造技術部会

#### 4)横桁の照査位置

**P. 27 修正事項**

横桁 No07~No18 (少主桁のNo01からNo06は格子計算による断面力が発生しないので省略)

照査点No	溶接部名称	継手名称	等級
①	横桁腹板上-主桁腹板	すみ肉	F、H※
②	横桁腹板下-主桁腹板	すみ肉	F、H※

ただし、上記の2つ照査点は、上下フランジ断面が同じなので応力範囲が等しくなる。  
2点のうち、許容値が小さくなる引張側のみ照査する。

※ 止端破壊の場合F等級とし、ルート破壊の場合H等級とし、照査結果を併記する。  
ルート破壊の照査は腹板厚ではなくのど断面積に対して行なう。

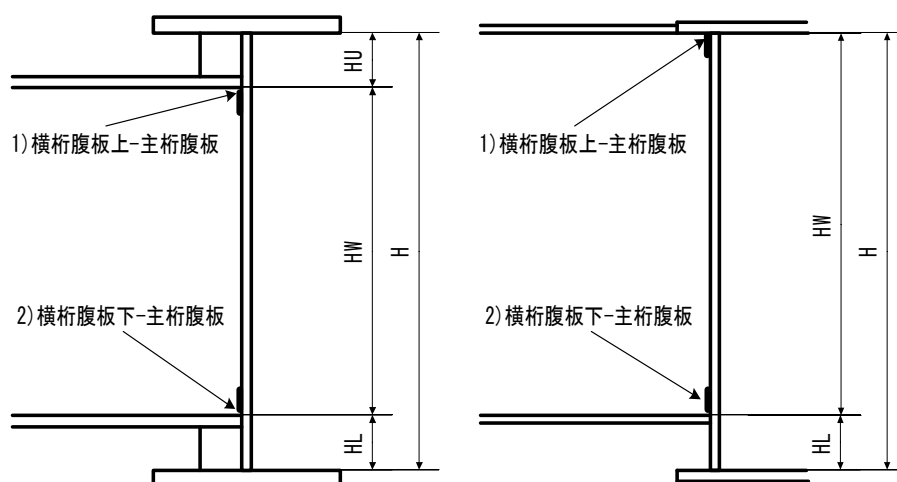
腹板厚  $t=10\text{mm}$ 、すみ肉脚長  $s=6\text{mm}$

のど厚  $a = s / \sqrt{2} * 2 = 6 / \sqrt{2} * 2 = 8.49\text{ mm}$

割増し係数  $t / a = 10 / 8.49 = 1.18$

発生応力度を1.18倍して照査を行なう。

横桁の主桁への連結部の応力は、溶接部の有効断面を用いて断面性能を改めて計算して求める。



照査位置寸法

(単位mm)

	主桁高				フランジ		腹板		材質	水平補剛材の有無
	No	H	HU	HL	幅	厚	高さ(HW)	厚		
鉸桁	7	1500	150	250	280	11	1100	10	SM400	無
	8	1800	150	250	230	10	1400	10	SM400	無
	9	2100	150	250	220	10	1700	10	SM400	有
	10	2000	150	250	210	10	1600	10	SM400	有
	11	2400	150	250	250	10	2000	10	SM400	有
	12	2800	150	250	300	10	2400	10	SM400	有
箱桁	13	1600	-	250	220	10	1350	10	SM400	無
	14	1900	-	250	210	10	1650	10	SM400	有
	15	2200	-	250	250	10	1950	10	SM400	有
	16	2000	-	250	220	10	1750	10	SM400	有
	17	2400	-	250	270	10	2150	10	SM400	有
	18	2800	-	250	320	10	2550	10	SM400	有

#### 4. 3 横桁計算例

##### 1 疲労照査用条件

###### (1) 設計供用期間・載荷荷重

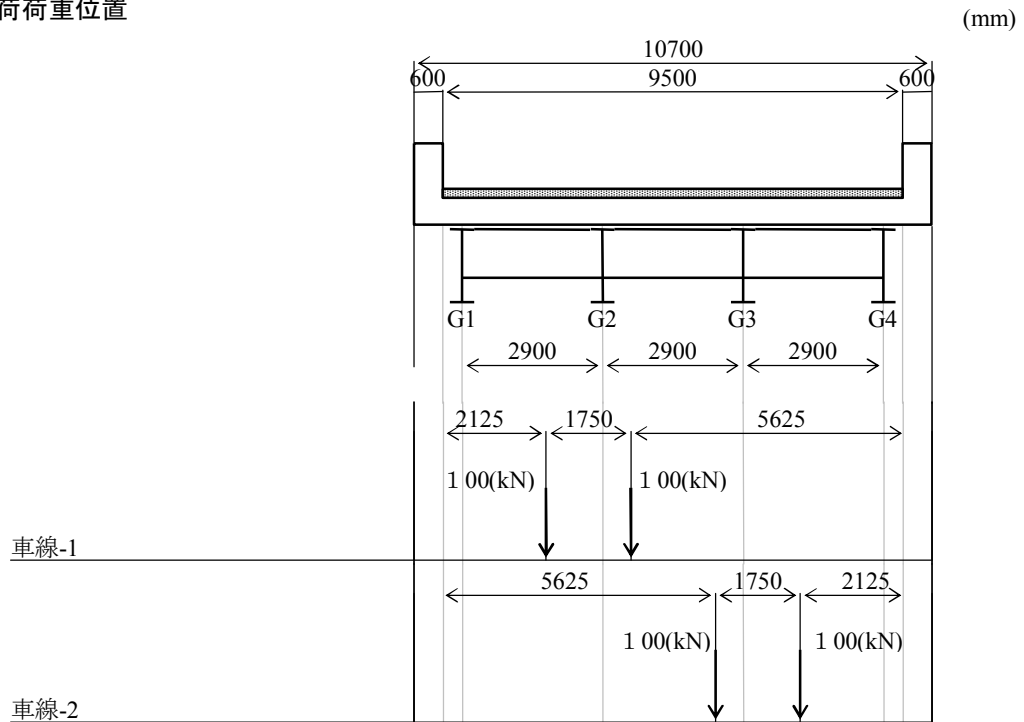
- ・設計供用期間：100 年
- ・大型交通量： $ADDT_{SLi} = 3000$ 台（一方向一車線当たりの日大型車設計交通量）
- ・疲労設計用載荷荷重 = (T荷重) \* (1 +  $i_f$ )

T荷重：200 kN

$i_f$ ：衝撃係数  $i_f = 10 / (50 + L)$  L:衝撃係数を求めるときの支間長(m)

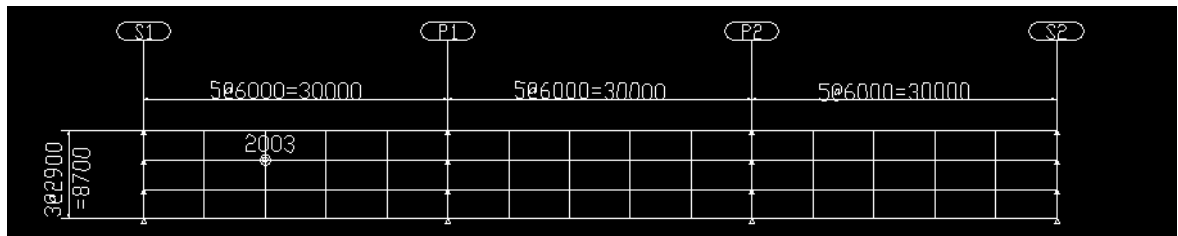
L：衝撃係数を求めるときの支間長 (m)

###### (2) 載荷荷重位置



##### 2 詳細計算

- ・桁名=横桁、要素名=CR1-003(格点番号2003)、横桁腹板(下端)と主桁腹板



###### (1) 断面諸量

単位(m, m<sup>4</sup>)

I <sub>x</sub>	y
0.004573	0.7000

横桁腹板がすみ肉溶接のため止端破壊 (F等級) とルート破壊 (H等級) の両方について照査する。

$$\sigma = \frac{M_x}{I_x} * y * \gamma_a$$

ここに  $\sigma$  : 作用応力度

$M_x$  : 面内曲げモーメント

$I_x$  : x 軸回りの断面 2 次モーメント

$y$  : 中立軸より照査位置までの y 軸方向の距離 (中立軸より下側を正とする)

$\gamma_a$  : 構造解析係数  $\gamma_a = 0.5$

## (2) 断面力と応力度

応力度算出時の構造解析係数  $\gamma_a = 0.5$

単位 (kN、kN・m、N/mm<sup>2</sup>)

載荷 横断	車線 1 M <sub>x</sub>	$\sigma$	車線 2 M <sub>x</sub>	$\sigma$
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	105.1	8.0	33.8	2.6
3	160.1	12.3	51.6	3.9
4	133.3	10.2	43.1	3.3
5	63.2	4.8	20.7	1.6
6	0.0	0.0	0.0	0.0
7	-27.0	-2.1	-9.8	-0.8
8	-23.1	-1.8	-10.0	-0.8
9	-6.4	-0.5	-5.4	-0.4
10	1.8	0.1	-2.1	-0.2
11	2.0	0.2	-0.6	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0
13	-0.8	-0.1	0.3	0.0
14	-0.3	0.0	0.4	0.0
15	0.5	0.0	0.4	0.0
16	0.5	0.0	0.2	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0

車線 i	L <sub>B1</sub> (m)	Log L <sub>B1</sub> +1.50	$\gamma_{T1}$	L <sub>B2</sub> (m)	$\gamma_{T2}$	$\gamma_T$
1	30.000	2.98	2.98	---	1.00	2.98
2	30.000	2.98	2.98	---	1.00	2.98

活荷重補正係数  $\gamma_T = \gamma_{T1} * \gamma_{T2}$

ここに  $\gamma_{T1}$  : T 荷重補正係数

$$\gamma_{T1} = \text{Log } L_{B1} + 1.50 \quad (\text{ただし } 2.00 \leq \gamma_{T1} \leq 3.00)$$

L<sub>B1</sub> : T 荷重補正係数算出時の基線長 (m)

※  $\gamma_{T1}$  は、少数点第 3 位を四捨五入する。

$\gamma_{T2}$  : 同時荷重係数

### (3) 応力範囲の計算

#### ・ 応力範囲

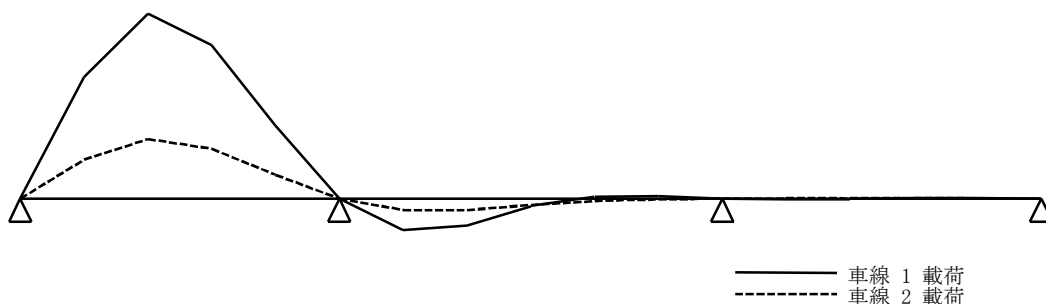
$$\text{基本式 } \Delta\sigma_{i,j} = |\sigma_{i,k1} - \sigma_{i,k2}| * \gamma_{T(i)}$$

ここに  $\Delta\sigma_{i,j}$  : 応力範囲  $i$ は車線番号、 $j$ は応力範囲の番号

$\sigma_{i,k1}$  : 最大応力度  $i$ は車線番号、 $k1$ は載荷横断番号

$\sigma_{i,k2}$  : 最小応力度  $i$ は車線番号、 $k2$ は載荷横断番号

$\gamma_{T(i)}$  : 活荷重補正係数  $i$ は車線番号



$$\Delta\sigma_{1,1} = |\sigma_{1,3} - \sigma_{1,7}| * \gamma_{T(1)} = |(12.3) - (-2.1)| * 2.98 = 42.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{1,2} = |\sigma_{1,11} - \sigma_{1,13}| * \gamma_{T(1)} = |(0.2) - (-0.1)| * 2.98 = 0.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{1,3} = |\sigma_{1,16} - \sigma_{1,17}| * \gamma_{T(1)} = |(0.0) - (0.0)| * 2.98 = 0.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{2,1} = |\sigma_{2,3} - \sigma_{2,8}| * \gamma_{T(2)} = |(3.9) - (-0.8)| * 2.98 = 14.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{2,2} = |\sigma_{2,15} - \sigma_{2,17}| * \gamma_{T(2)} = |(0.0) - (0.0)| * 2.98 = 0.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{最大応力範囲 } \Delta\sigma_{\max} = \Delta\sigma_{1,1} = 42.7 \text{ N/mm}^2$$

### (4) 補正係数

#### ・ 平均応力度に関する補正係数 $C_R$

単位 (kN、kN・m、N/mm<sup>2</sup>)

断面力ケース	$M_x$	$\sigma$	$\gamma_T$	$\sigma * \gamma_T$
死荷重	-10.2	-1.6	---	---
T荷重最大	160.1	12.3	2.98	36.5
T荷重最小	-27.0	-2.1	2.98	-6.2

$$\text{死荷重} + \text{T荷重最大 } \sigma_{\max} = (-1.6) + (36.5) = 35.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{死荷重} + \text{T荷重最小 } \sigma_{\min} = (-1.6) + (-6.2) = -7.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{応力比 } R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = -7.7 / 35.0 = -0.22 \quad (-1.00 < R < 1.00)$$

$$\therefore C_R = 1.00$$

#### ・ 板厚に関する補正係数 $C_t$

母材板厚 10mm 付加板厚 10mm

$$\therefore C_t = 1.00 \quad (\text{母材板厚} = 10\text{mm} \leq 25\text{mm})$$

### (5) 一定振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界を用いた照査 (簡便な疲労照査)

#### ・ 仕上げ前 (強度等級 F)

一定振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界

$$\Delta\sigma_{ce} = 46.0 \text{ N/mm}^2$$

最大応力範囲

$$\Delta\sigma_{\max} = 42.7 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta\sigma_{ce} * C_R * C_t = 46.0 * 1.00 * 1.00 = 46.0 \quad \text{OK}$$

F : すみ肉溶接、荷重伝達型十字溶接、  
非仕上げ、止端破壊

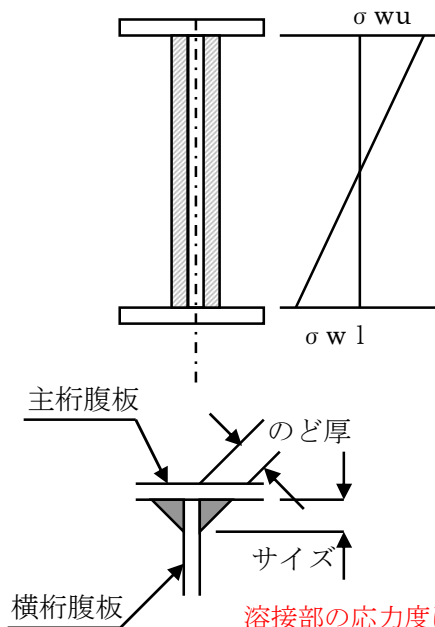
(6) ルート破壊による照査 (H 等級)

腹板のルート破壊の照査は腹板厚ではなく、のど断面積に対して行う。

フランジは完全溶込み溶接であり、継手部においてフランジと腹板との応力分担が母材と変動するため、継手部の断面計算を行う。

腹板厚  $t=10\text{mm}$ 、すみ肉脚長  $s = 6\text{mm}$  として計算する。

のど厚  $a = s / \sqrt{2} * 2 = 6 / \sqrt{2} * 2 = 8.49 \text{ mm}$



① P 9 5 の(1)断面諸量を計算した断面 ( $I_{CB}$ ) : 母材断面

断面諸量	A(cm <sup>2</sup> )	Y(cm)	AY(cm <sup>3</sup> )	I(cm <sup>4</sup> )
1-UFLG PL 230×10(SS400)	23.00	-70.50	-1622	114316
1-WEB PL 1400×10(SS400)	140.00	0.00	0	228667
1-LFLG PL 230×10(SS400)	23.00	70.50	1622	114316
<b>Σ</b>	<b>186.00</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>457298</b>

②上記のルート破壊による照査 ( $I_w$ ) : (のど厚[腹板厚 8.49mm])

断面諸量	A(cm <sup>2</sup> )	Y(cm)	AY(cm <sup>3</sup> )	I(cm <sup>4</sup> )
1-UFLG PL 230×10(SS400)	23.00	-70.50	-1622	114316
1-WEB PL 1400×8.49(SS400)	118.86	0.00	0	194138
1-LFLG PL 230×10(SS400)	23.00	70.50	1622	114316
<b>Σ</b>	<b>164.86</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>422770</b>

溶接部の応力度については、母材の応力計算結果に換算係数を乗じて計算する。

$$\text{応力度は } \sigma = \frac{M_x}{I_x} * y \text{ であり断面 2 次モーメント } I \text{ の逆比となる。}$$

$$\text{換算係数は } I_{CB} / I_w = 457298 / 422770 = 1.082$$

※ なお、腹板部の溶接のど厚が母材より小さい場合には、フランジの溶接部の負担比率が、全断面有効とした場合より増加するため、フランジの応力照査を別途要す。

発生応力度を 1.08 倍して照査を行う。

車線i	応力範囲j	母材 $\Delta\sigma_{i,j}$	換算係数	ルート破壊部 $\Delta\sigma_{i,j}$
1	1	42.7	1.08	46.1
1	2	0.6	1.08	0.6
1	3	0.1	1.08	0.1
2	1	14.0	1.08	15.1
2	2	0.1	1.08	0.1

(7) ルート破壊部 一定振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界を用いた照査 (簡便な疲労照査)

・仕上げ前 (強度等級 H)

一定振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界

$$\Delta\sigma_{ce} = 23.0 \text{ N/mm}^2$$

最大応力範囲

$$\Delta\sigma_{max} = 46.1 \text{ N/mm}^2 > \Delta\sigma_{ce} * C_R * C_t = 23.0 * 1.00 * 1.00 = 23.0 \quad \text{NG}$$

(8) ルート破壊部 累積損傷度の照査 (詳細な疲労照査)

$$NT_i = ADTT_{SLi} * \gamma_n = 3000 * 0.03 = 90$$

$$nt_i = NT_i * 365 * \text{設計供用期間(年)} = 90 * 365 * 100 = 3.29E+6$$

$$\Delta\sigma_f = 40.0 \text{ N/mm}^2 \quad \Delta\sigma_f * C_R * C_t = 40.0 * 1.00 * 1.00 = 40.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{ve} = 11.0 \text{ N/mm}^2 \quad \Delta\sigma_{ve} * C_R * C_t = 11.0 * 1.00 * 1.00 = 11.0 \text{ N/mm}^2$$

m = 3 (直応力を受ける継手の場合)

$$N_{i,j} = 2 * 10^6 * (\Delta\sigma_f * C_R * C_t)^m / \Delta\sigma_{i,j}^m$$

$$N_{1,1} = 2 * 10^6 * 40.0^3 / 46.1^3 = 1.31E+6$$

$$N_{1,2} = \infty \quad (\sigma_{1,2} = 0.8 \leq \Delta\sigma_{ve} * C_R * C_t = 11.0)$$

$$N_{1,3} = \infty \quad (\sigma_{1,3} = 0.1 \leq \Delta\sigma_{ve} * C_R * C_t = 11.0)$$

$$N_{2,1} = 2 * 10^6 * 40.0^3 / 15.1^3 = 3.72E+7$$

$$N_{2,2} = \infty \quad (\sigma_{2,2} = 0.1 \leq \Delta\sigma_{ve} * C_R * C_t = 11.0)$$

累積損傷度 D = 2.60 > 1.0 NG

\*\* 累積損傷度が許容値を超過 \*\* 対処方法については下記参照

車線i	応力範囲j	$\Delta\sigma_{i,j}$	$nt_i$	$N_{i,j}$	$D_{i,j}(=nt_i/N_{i,j})$
1	1	46.1	3.29E+6	1.31E+6	2.51
1	2	0.6	3.29E+6	$\infty$	0.00
1	3	0.1	3.29E+6	$\infty$	0.00
2	1	15.1	3.29E+6	3.72E+7	0.09
2	2	0.1	3.29E+6	$\infty$	0.00
合計 D =					2.60 > 1.0

**対処方法 1** すみ肉脚長を6mmから10mmにして照査を行う。

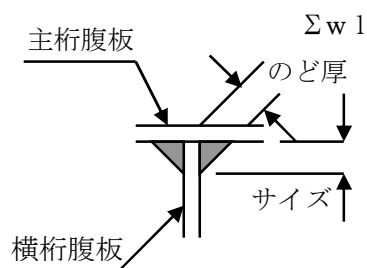
(この事例では、すみ肉溶接では不可能な例として示す)

腹板厚 t=10mm、すみ肉脚長 s = 10mm として計算する。

のど厚 a = s /  $\sqrt{2}$  \* 2 = 10 /  $\sqrt{2}$  \* 2 = 14.14 mm

③上記のルート破壊による照査 (のど厚 (腹板厚 14.14mm) )

(I'w)



断面諸量

A(cm<sup>2</sup>) Y(cm) AY(cm<sup>3</sup>) I(cm<sup>4</sup>)

1-UFLG PL 230×10(SS400)	23.00	-70.50	-1622	114316
1-WEB PL 1400×14.14(SS400)	197.96	0.00	0	323334
1-LFLG PL 230×10(SS400)	23.00	70.50	1622	114316
Σ	243.96		0	551966

換算係数は  $I_{CB} / I'_w$  (①/③) = 457298/551966=0.828

発生応力度を 0.828 倍して照査を行なう。

車線i	応力範囲j	$\Delta\sigma_{i,j}$	換算係数	ルート破壊部 $\Delta\sigma_{i,j}$
1	1	42.7	0.828	35.4
1	2	0.6	0.828	0.5
1	3	0.1	0.828	0.1
2	1	14.0	0.828	11.6
2	2	0.1	0.828	0.1

累積損傷度の照査（詳細な疲労照査）

**\*\* 累積損傷度が許容値を超過 \*\***

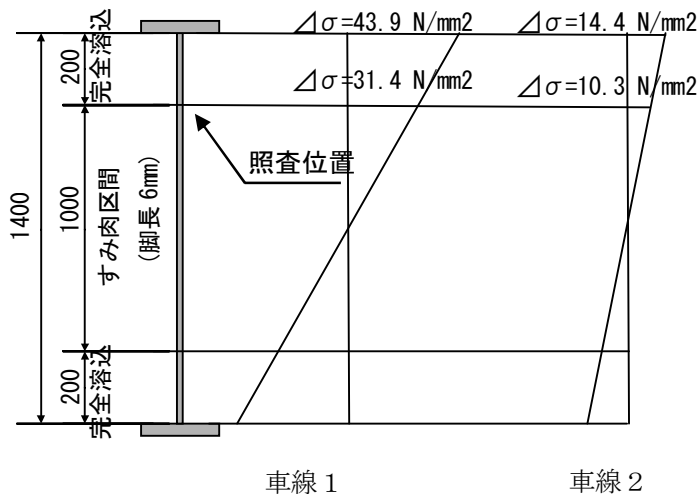
車線 <i>i</i>	応力範囲 <i>j</i>	√ <sub>t</sub> 破壊部 $\Delta\sigma_{i,j}$	$nt_i$	$N_{i,j}$	$D_{i,j} (=nt_i/N_{i,j})$
1	1	35.4	3.29E+6	2.88E+6	1.14
2	1	11.6	3.29E+6	8.20E+7	0.04
					合計 $D = 1.18 > 1.0$

※

ゆえに、腹板板厚（10mm）<すみ肉溶接脚長（11mm）以上必要となるため、横桁断面の見直しを行い、再度計算する。（詳細は割愛する）

（※すみ肉脚長を増加させて累積損傷度が1.00以下となる場合はすみ肉溶接長を増加して対応する。）

**対処方法 2** すみ肉溶接から完全溶込溶接とする。（対象部位は、フランジ近傍）



完全溶込溶接部は全断面有効とし、すみ肉溶接部はのど厚を用いて計算する。計算方法は、対処方法 1 と同様。応力計算における換算係数は、1.028

累積損傷度の照査（詳細な疲労照査）

車線 <i>i</i>	応力範囲 <i>j</i>	√ <sub>t</sub> 破壊部 $\Delta\sigma_{i,j}$	$nt_i$	$N_{i,j}$	$D_{i,j} (=nt_i/N_{i,j})$
1	1	31.4	3.29E+6	4.13E+6	0.80
2	1	10.3	3.29E+6	1.17E+8	0.03
					合計 $D = 0.83 < 1.0$

注記：

- 横桁腹板の主桁溶接部の作用応力度が、疲労及び常時の許容応力度に対し、余裕がある場合には、腹板の継手は隅肉溶接も選択できる。本設計例では、選択順序を①隅肉溶接を最初に選択②隅肉溶接の脚長増加③作用応力度の大きい部位を完全溶込み溶接あるいは、全長完全溶込み溶接、とした。
- 対処方法 2 では、腹板の溶接方法として完全溶込溶接とすみ肉溶接を混在させた。溶接種類の変化点では施工性や溶接品質について欠陥を生じないように注意が必要となる。少主桁等の桁高の高い場合には省力化の観点からはこの方法は有効である。この場合、完全溶込溶接の範囲については、作用応力度に充分余裕を持って設定するとよい。但し、桁高の低い場合には、短い溶接線上で溶接の種類が変わることを避け、全て完全溶込溶接とする方法もある。
- 対処方法 1、対処方法 2 とともに、断面全体については完全溶込溶接とすみ肉溶接を混在させている。疲労照査については作用応力が比較的小さいため、完全溶込溶接とすみ肉溶接双方の溶接断面を有効として計算した。常時の応力照査については、両者の溶接の変形性能の差異に対する安全策として、すみ肉溶接部を無視し、完全溶込溶接部のみで負担するものとして計算する方法もある。（道路橋示方書6.2.8参照）