§6　鋼橋溶接継手部の疲労に対する目違いの影響評価

前章では，鋼鈑桁橋及び箱桁橋の実橋モデルを対象とした詳細なFEM解析を行い，主桁ウェブと横桁下フランジ取り合い部（以下，仕口）における，疲労設計荷重走行時の応力性状の確認と，対象部位に生じた目違いが応力上昇に与える影響について確認した。一方で，実際の疲労設計はFEM解析ではなく，格子計算より得られる断面力を用いて応力範囲を算出する方法が一般的である。そして，目違いの影響を反映する場合は，格子計算による疲労設計に対して考慮することになると思われる。本章では，前章の鈑桁橋を対象とした疲労設計を実施するとともに（付録-1），鋼道路橋の疲労設計指針を用いて設計された，最近の道路橋の疲労設計事例を収集した。次に，仕口に発生する応力範囲，すなわち，十字溶接継手に対する横桁の応力範囲と面外ガセット溶接継手に対する主桁の応力範囲を抽出し，発生応力の傾向に関する分析を行った。さらに，前章までの実橋梁の目違い計測結果と目違いの影響度合いを考慮した応力範囲の算出を試みた。

6-1　対象橋梁と疲労設計結果

表6-1-1に本章で対象とした全11橋梁の概要一覧を示す。仕口については，鈑桁橋では目違いが生じる可能性のある中主桁の仕口に着目し，単純桁橋は分配横桁，連続桁橋は応力性状の違いも考慮して支点上横桁と一般部の横桁の双方について，簡便な疲労照査における主桁応力と横桁応力を確認した。なお，応力範囲の抽出は最大応力範囲箇所と2番目，3番目に応力範囲が大きい箇所である。

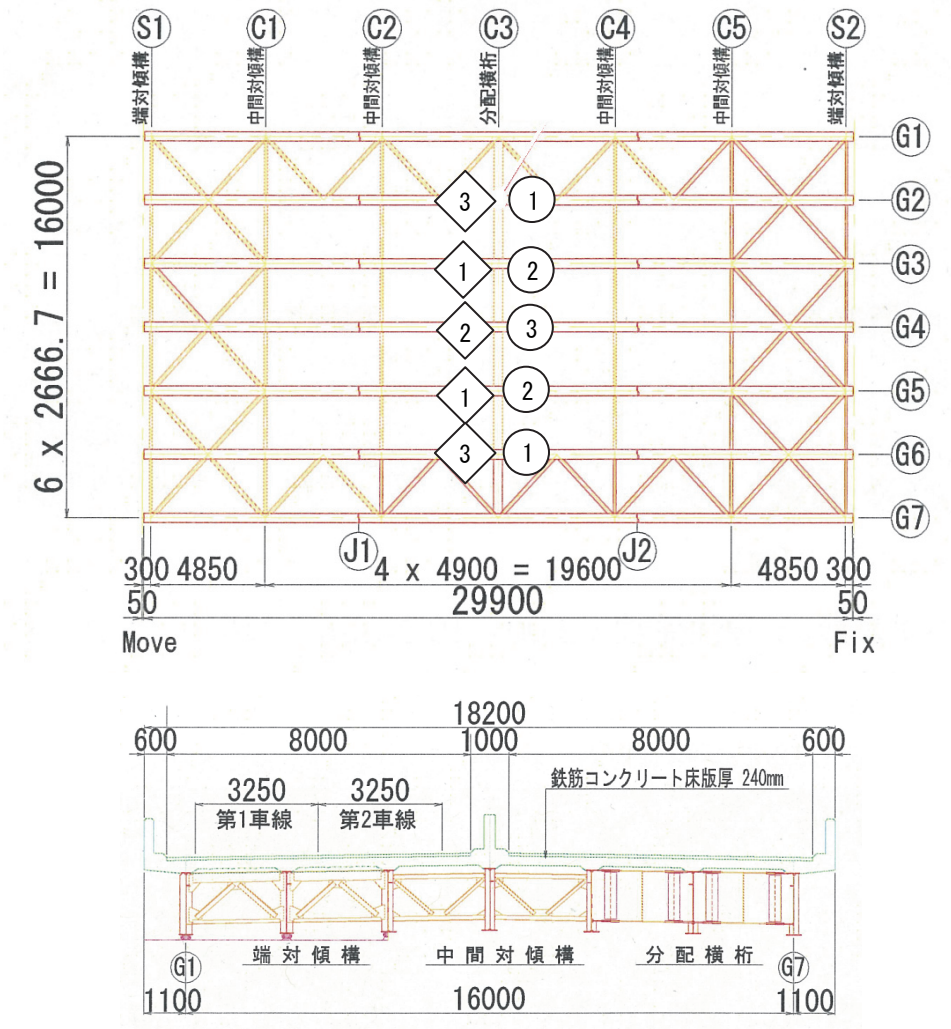
その他,計算結果に対応する荷重の走行位置が明記されていない設計計算書が大半であった。また，設計の簡略化から主桁下フランジ部をG等級として照査を実施しているものについては，別途断面計算を行い，仕口位置の応力を算出している。

表6-1-1 対象とする橋梁概要一覧

事例	橋梁形式	斜角・曲線	支間長(m)	設計道示	備考
1	単純合成7主鈑桁橋	直橋	29.3	H 2.2.	5-2節の橋梁
2	単純非合成4主鈑桁橋	斜角59°	29.8	H14.3.	
3	単純非合成5主鈑桁橋	斜角70°	34.0	H14.3.	
4	単純非合成6主鈑桁橋	斜角60°	30.3	H14.3.	
5	3径間連続非合成2箱桁橋	クロソイドA160m～単曲線R450m	43.4+55.0+43.4	H14.3.	
6	単純非合成5主鈑桁橋	直橋	26.0	H14.3.	
7	3径間連続非合成5主鈑桁橋	単曲線R600m、斜角86°	39.75+47.5+34.75	H14.3.	
8	4径間連続非合成4主鈑桁橋	直橋	34.3+35.0+35.0+34.3	H14.3.	
9	6径間連続非合成少数(4主)鈑桁橋	直橋	39.1+57.0+45.0+2@39.0+38.1	H14.3.	
10	5径間連続非合成2箱桁橋	直橋、斜角74°	86.1+90.0+90.0+85.0+68.7	H14.3.	
11	4径間連続非合成2箱桁橋	斜角89° 59'～92° 46'	56.8+70.5+54.0+53.3	H14.3.	

以下，図6-1-1～図6-1-11と表6-1-2～表6-1-12に各事例の構造図と応力範囲の抽出結果を示す。疲労設計時の構造解析係数について，主桁は少数主桁橋である事例9を除き0.8で，横桁については設計計算書によっては0.5のものと0.8のものがあったが，前章の実橋解析結果も踏まえ，0.5で統一した。また，当然ではあるが，簡便な疲労照査を満足しない橋梁であっても，詳細な疲労照査により疲労耐久性の確保が確認されている。

【事例－１】



◇：横桁最大応力範囲箇所

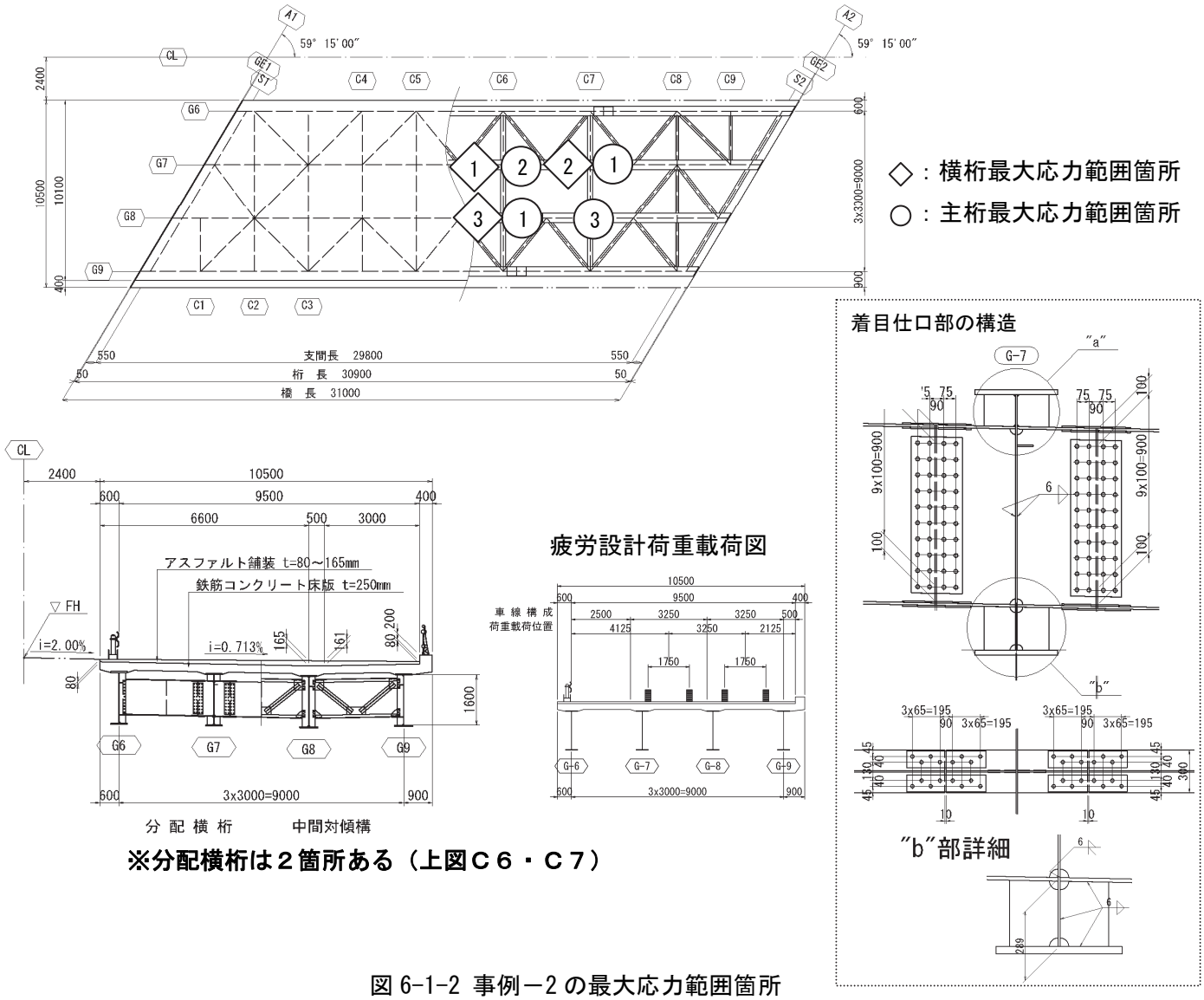
○：主桁最大応力範囲箇所

図 6-1-1 事例－１の最大応力範囲箇所

表 6-1-2 事例－１の設計結果

	分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手）〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1 側	G7 側	
【事例－１】 単純合成Ｉ桁橋 支間長:29.3m 桁本数:7 本 車線数:4 車	C3-G3(G5)	9	360	22	9	19	19	37.2
	C3-G4	9	360	22	9	19	19	24.1
	C3-G2(G6)	9	360	22	9	19	19	17.4
	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手）〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1 側	G7 側	
	C3-G2(G6)	9	360	22	9	19	19	39.7
	C3-G3(G5)	9	360	22	9	19	19	29
	C3-G4	9	360	22	9	19	19	24.1

【事例－２】



※分配横桁は２箇所ある（上図Ｃ６・Ｃ７）

図 6-1-2 事例－2 の最大応力範囲箇所

表 6-1-3 事例－2 の設計結果

	分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手）〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G6 側	G9 側	
【事例－２】 単純非合成 鈑桁橋 支間長:29.8m 桁本数:4 本 車線数:2 車	C6-G7	9	300	19	9	16	16	34
	C7-G7	9	300	19	9	16	16	25
	C6-G8	9	300	19	9	16	16	24
	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手）〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G6 側	G9 側	
	C7-G7 C6-G8	9	300	19	9	16	16	25
	C6-G7	9	300	19	9	16	16	24
	C7-G8	9	300	19	9	16	16	21

【事例－３】

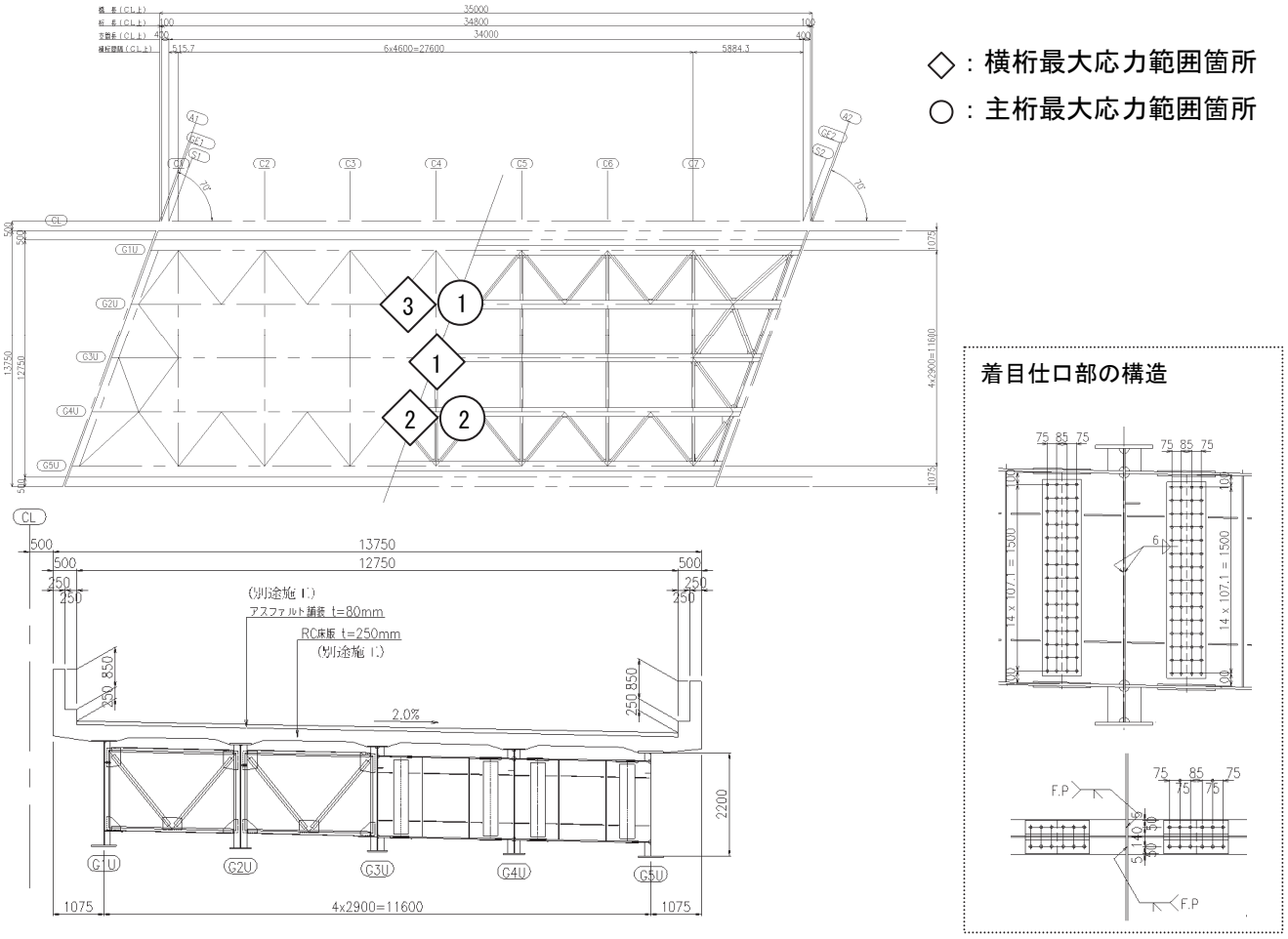


図 6-1-3 事例－3 の最大応力範囲箇所

表 6-1-4 事例－3 の設計結果

	分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm^2)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1U 側	G5U 側	
【事例－３】 単純非合成 鈑桁橋 支間長:34.0m 桁本数:5 本 車線数:3 車	C4-G3U	11	250	19	9	10	10	40.2
	C4-G4U	11	250	19	9	10	10	27.8
	C4-G2U	11	250	19	9	10	10	20
	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm^2)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1U 側	G5U 側	
	C4-G2U	11	250	19	9	10	10	25.5
	C4-G4U	11	250	19	9	10	10	25.3

【事例－４】

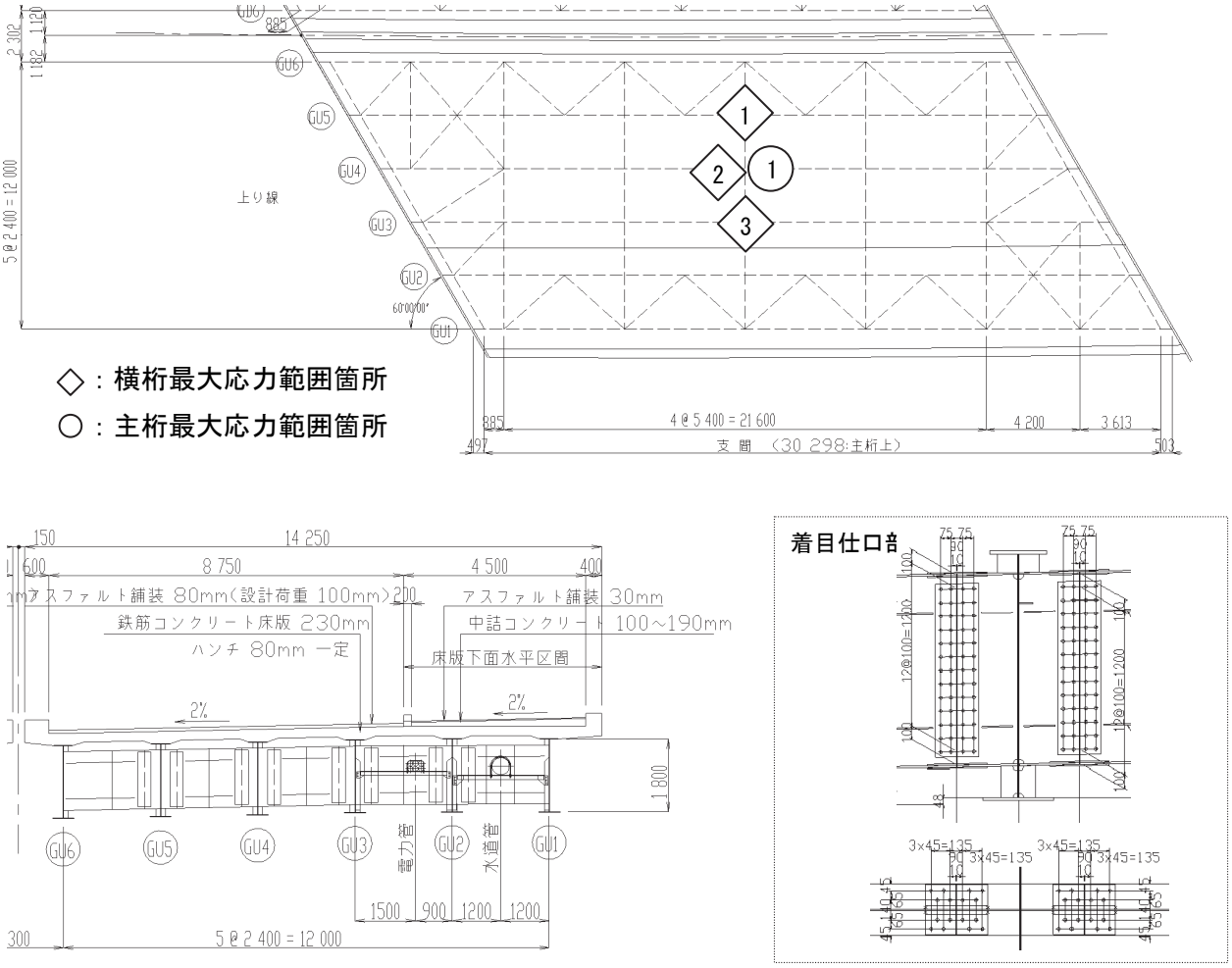
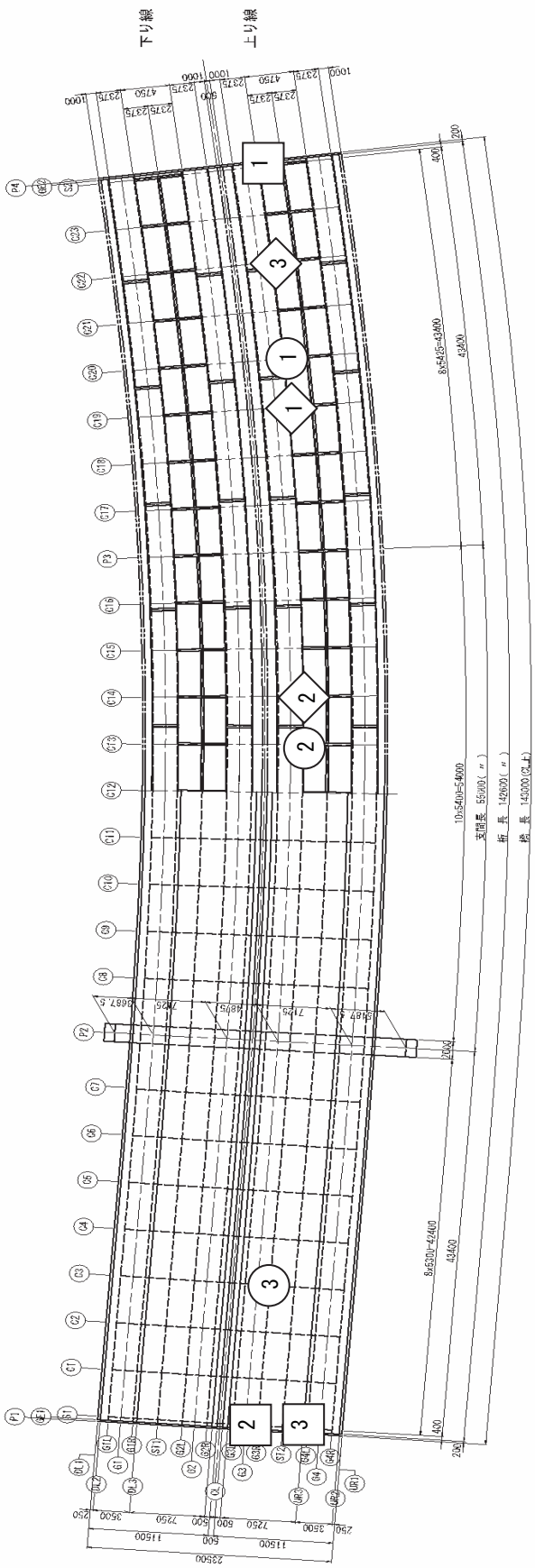


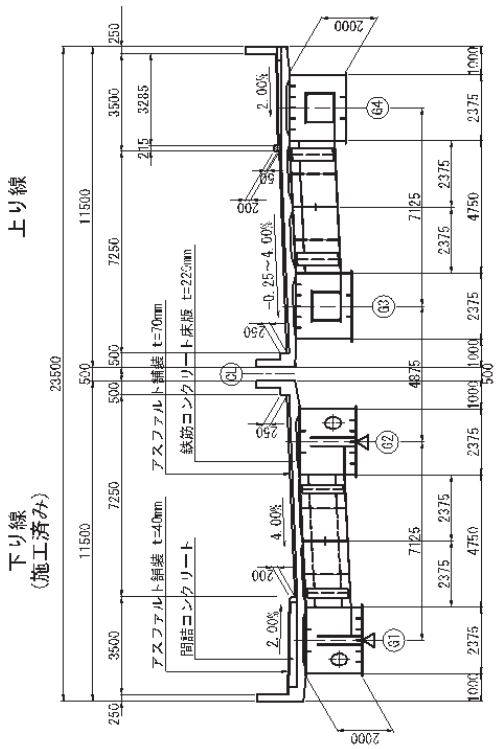
図 6-1-4 事例－4 の最大応力範囲箇所

表 6-1-5 事例－4 の設計結果

	分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 GU6 側	仕口下部リブ厚 GU1 側	
【事例－４】 単純非合成 鈑桁橋 支間長:30.3m 桁本数:6 本 車線数:2 車	C4-GU4	9	360	14	9	10	10	41.7
	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 GU6 側	仕口下部リブ厚 GU1 側	
	C4-GU5	9	360	14	9	10	10	30.8
	C4-GU4	9	360	14	9	10	10	23.2
	C4-GU3	9	360	14	9	10	10	21.1

【事例－５】





◇：一般部横桁最大応力範囲箇所

□：支点上横桁最大応力範囲箇所

○：主桁最大応力範囲箇所

※対象は上り線

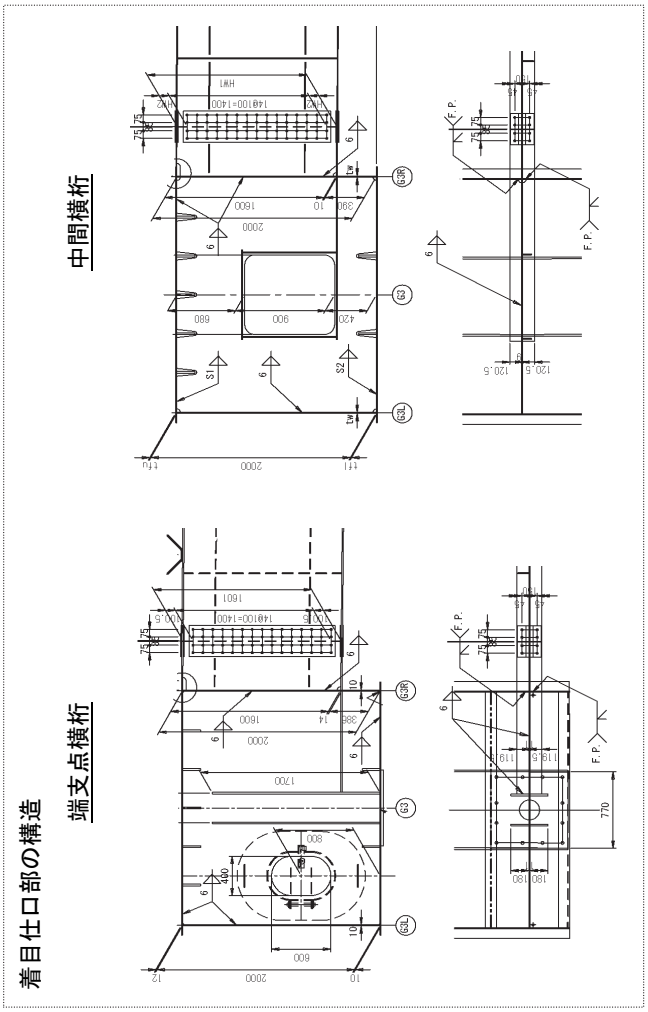


図 6-1-5 事例－5 の最大応力範囲箇所

表 6-1-6 事例－5 の設計結果

【事例－５】
3 径間連続非
合成箱桁橋
支間長:43.4
+55.0+ 43.4m
桁本数:2 本
車線数:2 車

一般部横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕

照査位置	板厚構成(mm) 主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 BOX 内	仕口下部リブ厚 BOX 外	最大応力範囲 (N／mm²)
C19-G3R	12	250	10	9	12	12	26.01
C14-G3R	12	250	10	9	12	12	25.94
C22-G3R	10	250	10	9	12	12	25.66

支点上横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕

照査位置	板厚構成(mm) 主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 BOX 内	仕口下部リブ厚 BOX 外	最大応力範囲 (N／mm²)
P4-G3R	10	250	14	9	11	なし	30.35
P1-G3R	10	250	14	9	11	なし	30.13
P1-G4L	10	250	14	9	11	なし	29.59

主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕

照査位置	板厚構成(mm) 主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 BOX 内	仕口下部リブ厚 BOX 外	最大応力範囲 (N／mm²)
C20-G3R	10	250	10	9	12	12	28.28
C13-G3R	10	250	10	9	12	12	26.90
C3-G3R	10	250	10	12	12	12	25.12

【事例－６】

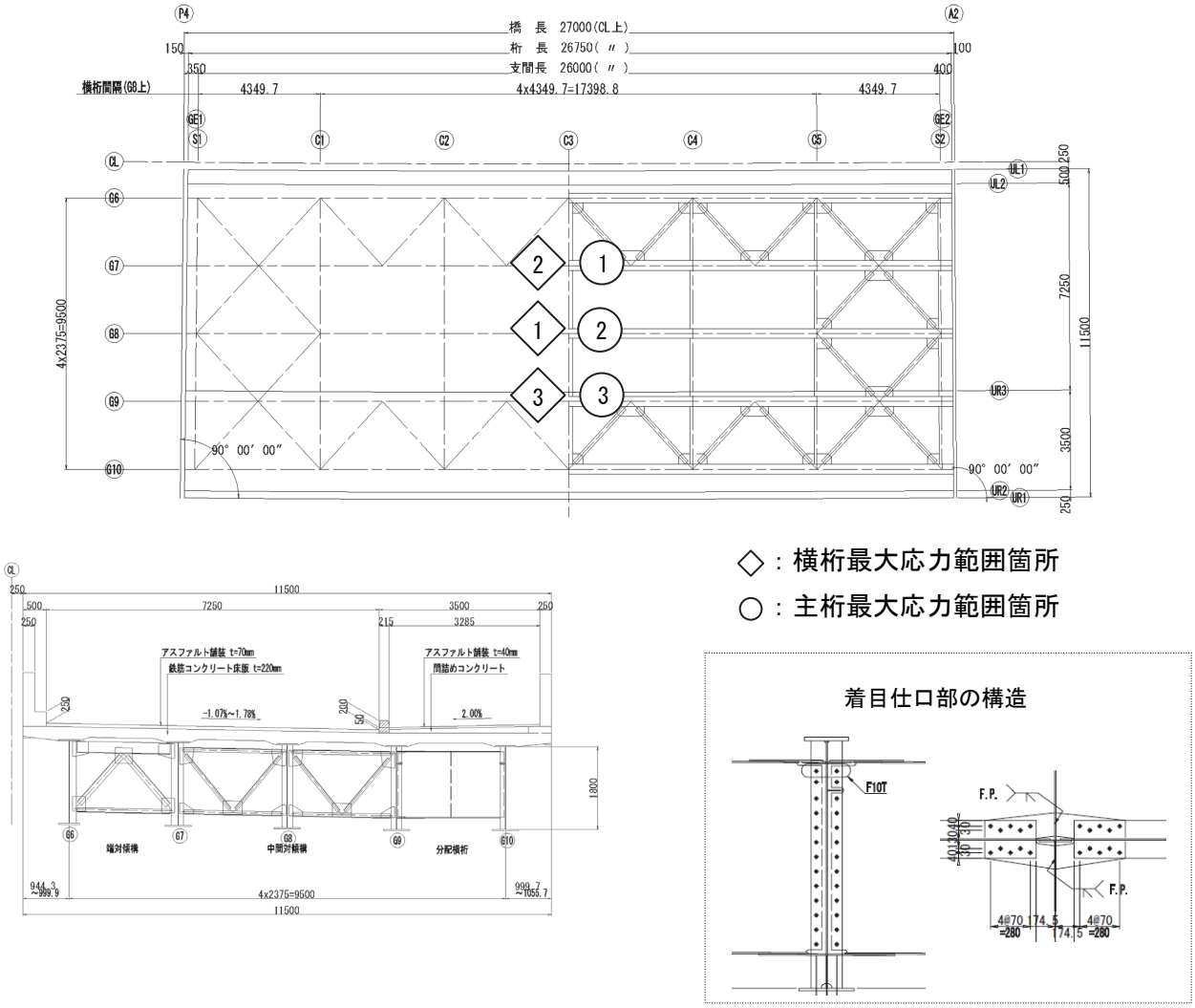
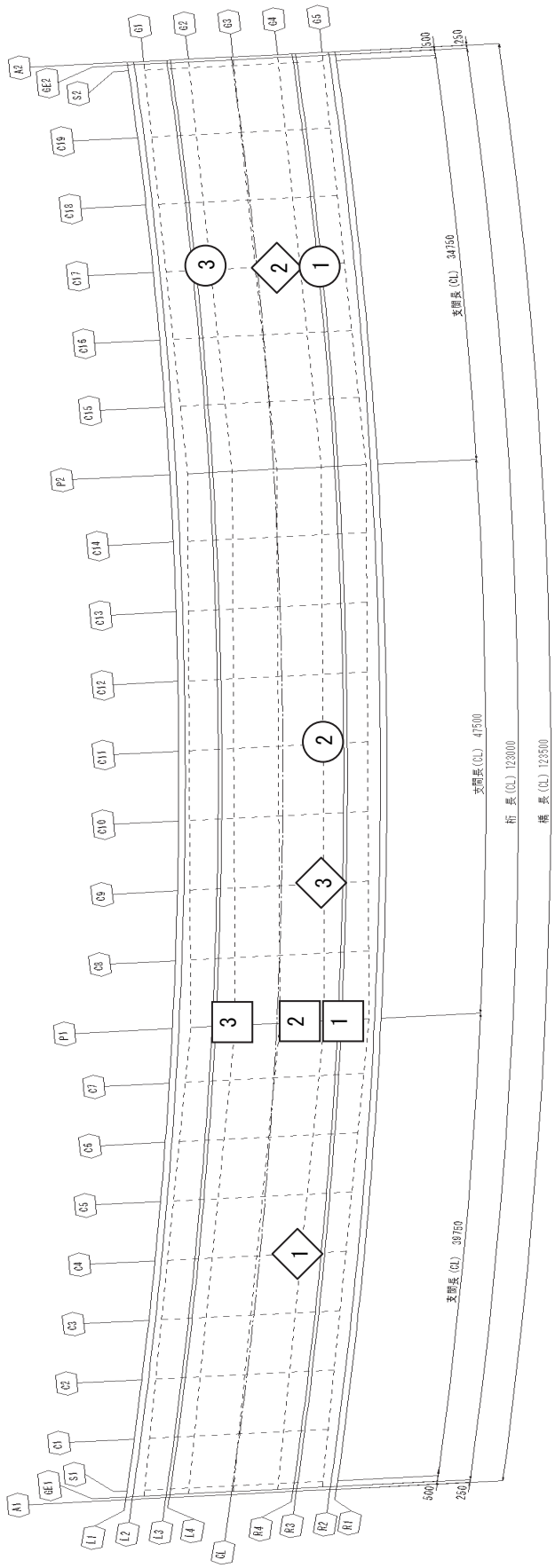


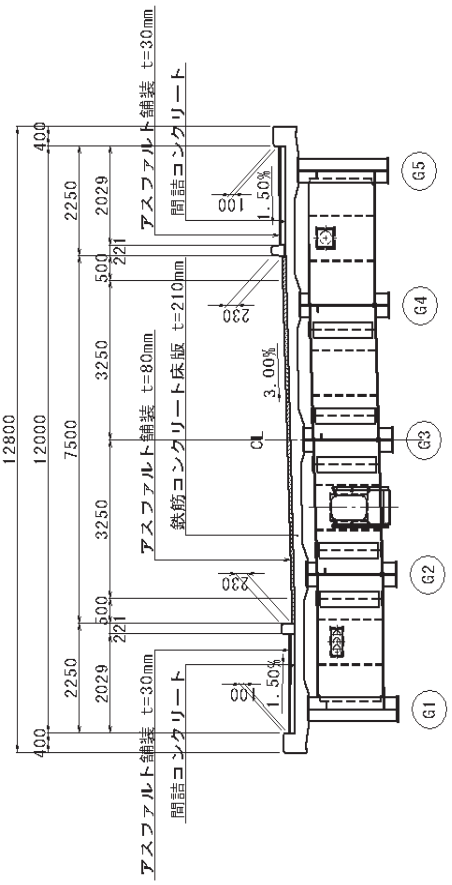
図 6-1-6 事例－6 の最大応力範囲箇所

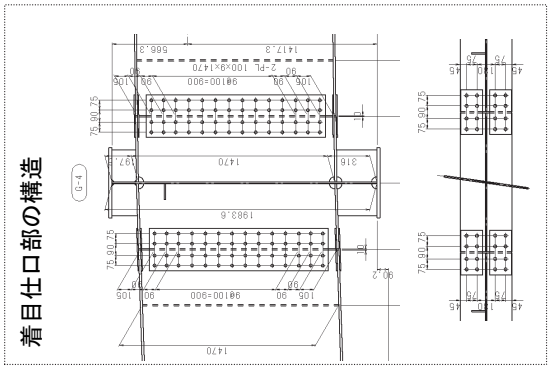
表 6-1-7 事例－6 の設計結果

	分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手）〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm^2)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G6 側	G10 側	
【事例－６】 単純非合成 鈑桁橋 支間長:26.0m 桁本数:5 本 車線数:2 車	C3-G8	9	400	10	12	12	12	47.06
	C3-G7	9	400	10	12	12	12	22.66
	C3-G9	9	400	10	12	12	12	20.51
	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手）〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm^2)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G6 側	G10 側	
	C3-G7	9	400	10	12	12	12	41.49
	C3-G8	9	400	10	12	12	12	34.85
	C3-G9	9	400	10	12	12	12	27.30

【事例－７】







◇：横桁最大応力範囲箇所
□：支点上横桁最大応力範囲箇所
○：主桁最大応力範囲箇所

図 6-1-7 事例－７の最大応力範囲箇所

表 6-1-8 事例－7 の設計結果

	分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲(N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1 側	G5 側	
	C4-G4	11	370	16	9	19	19	26.3
	C17-G4	11	370	16	9	19	19	25.7
	C9-G4	11	370	16	9	19	19	25.4
	支点上横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕							
【事例－７】 3 径間連続非合成鈑桁橋 支間長:39.75+47.5+34.75m 桁本数:5 本 車線数:2 車	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲(N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1 側	G5 側	
	P1-G4(G5 側)	11	250	12	27	27	27	3.2
	P1-G4(G3 側)	11	250	12	27	27	27	2.9
	P1-G2(両側) P1-G3(G2 側)	11	250	12	27	27	27	2.7
	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲(N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1 側	G5 側	
	C17-G4	11	370	16	9	19	19	36.9
	C11-G4	11	370	16	9	19	19	36.3
	C17-G2	11	370	16	9	19	19	36.0

【事例－８】

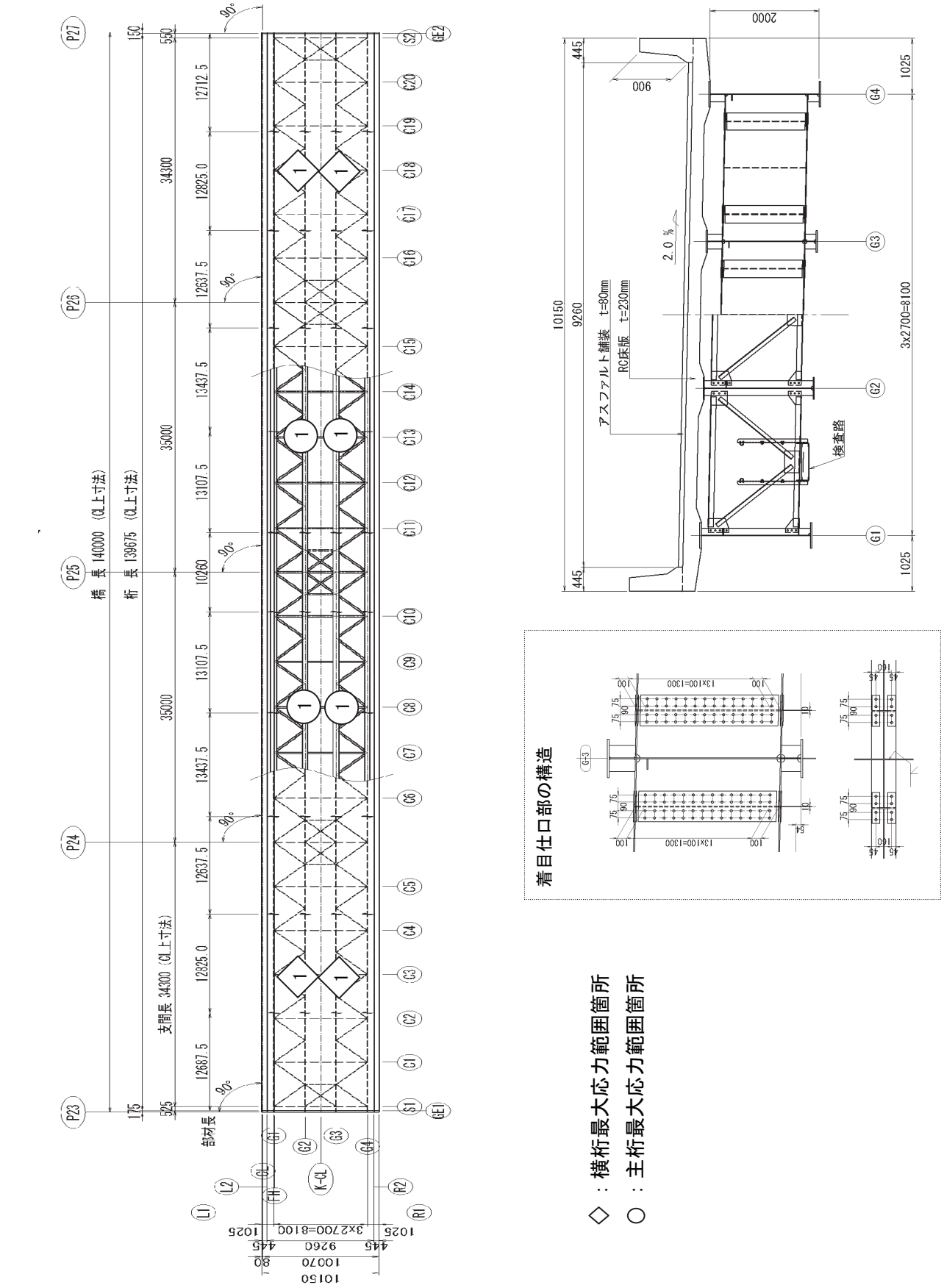


図 6-1-8 事例－８の最大応力範囲箇所

表 6-1-9 事例－8 の設計結果

<table>
<tr><td rowspan="8">【事例－８】
4 径間連続非合成鈑桁橋
支間長:34.3+35.0+35.0+34.3m
桁本数:4 本
車線数:2 車</td><td colspan="8">分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕</td></tr>
<tr><td rowspan="3">照査位置</td><td colspan="6">板厚構成(mm)</td><td rowspan="3">最大応力範囲
(N／mm^2)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主桁ウェブ厚</td><td rowspan="2">フランジ仕口幅</td><td rowspan="2">フランジ仕口厚</td><td rowspan="2">ウェブ仕口厚</td><td colspan="2">仕口下部リブ厚</td></tr>
<tr><td>G1 側</td><td>G4 側</td></tr>
<tr><td>C3-G2
C3-G3
C18-G2
C18-G3</td><td>10</td><td>250</td><td>12</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>32</td></tr>
<tr><td colspan="8">主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕</td></tr>
<tr><td rowspan="3">照査位置</td><td colspan="6">板厚構成(mm)</td><td rowspan="3">最大応力範囲
(N／mm^2)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主桁ウェブ厚</td><td rowspan="2">フランジ仕口幅</td><td rowspan="2">フランジ仕口厚</td><td rowspan="2">ウェブ仕口厚</td><td colspan="2">仕口下部リブ厚</td></tr>
<tr><td>G1 側</td><td>G4 側</td></tr>
<tr><td>C8-G2
C8-G3
C13-G2
C13-G3</td><td>10</td><td>250</td><td>12</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>45</td></tr>
</table>

【事例－９】

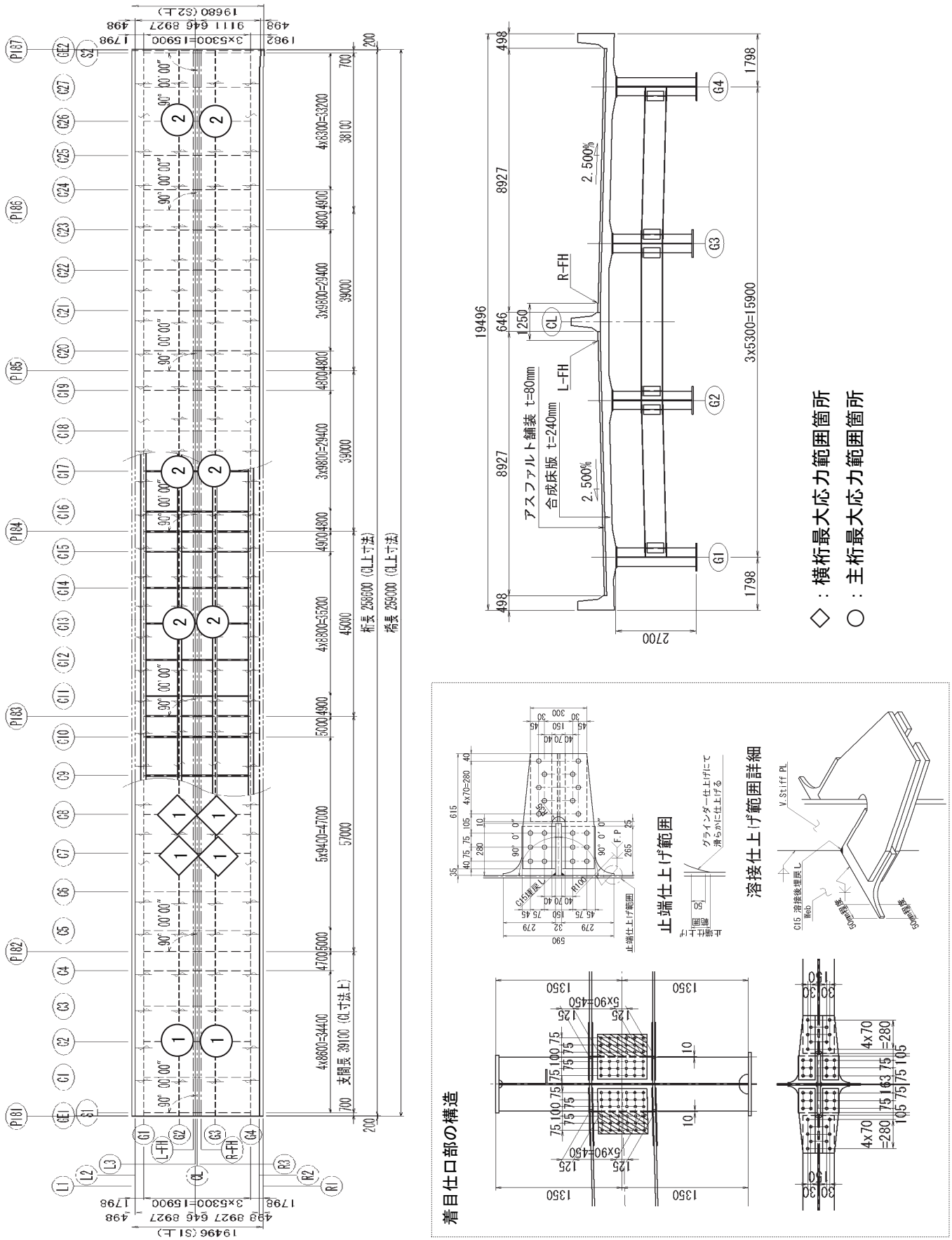


図 6-1-9 事例－９の最大応力範囲箇所

表 6-1-10 事例－9 の設計結果

<table>
<tr><td rowspan="10">【事例－９】
6 径間連続非合成少数鈑桁橋
支間長:39.1+57.0+45.0+2@39.0+38.1m
桁本数:4 本
車線数:4 車</td><td colspan="8">中間横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕</td></tr>
<tr><td rowspan="3">照査位置</td><td colspan="6">板厚構成(mm)</td><td rowspan="3">最大応力範囲
(N／mm²)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主桁ウェブ厚</td><td rowspan="2">フランジ仕口幅</td><td rowspan="2">フランジ仕口厚</td><td rowspan="2">ウェブ仕口厚</td><td colspan="2">仕口下部リブ厚</td></tr>
<tr><td>G1 側</td><td>G4 側</td></tr>
<tr><td>C7-G2
C7-G3
C8-G2
C8-G3</td><td>13</td><td>590</td><td>24</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td><td>34</td></tr>
<tr><td colspan="8">主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕</td></tr>
<tr><td rowspan="3">照査位置</td><td colspan="6">板厚構成(mm)</td><td rowspan="3">最大応力範囲
(N／mm²)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主桁ウェブ厚</td><td rowspan="2">フランジ仕口幅</td><td rowspan="2">フランジ仕口厚</td><td rowspan="2">ウェブ仕口厚</td><td colspan="2">仕口下部リブ厚</td></tr>
<tr><td>G1 側</td><td>G4 側</td></tr>
<tr><td>C2-G2
C2-G3</td><td>13</td><td>590</td><td>24</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td><td>17</td></tr>
<tr><td>C13-G2
C13-G3
C17-G2
C17-G3
C26-G2
C26-G3</td><td>13</td><td>590</td><td>24</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td><td>15</td></tr>
</table>

【事例－１０】

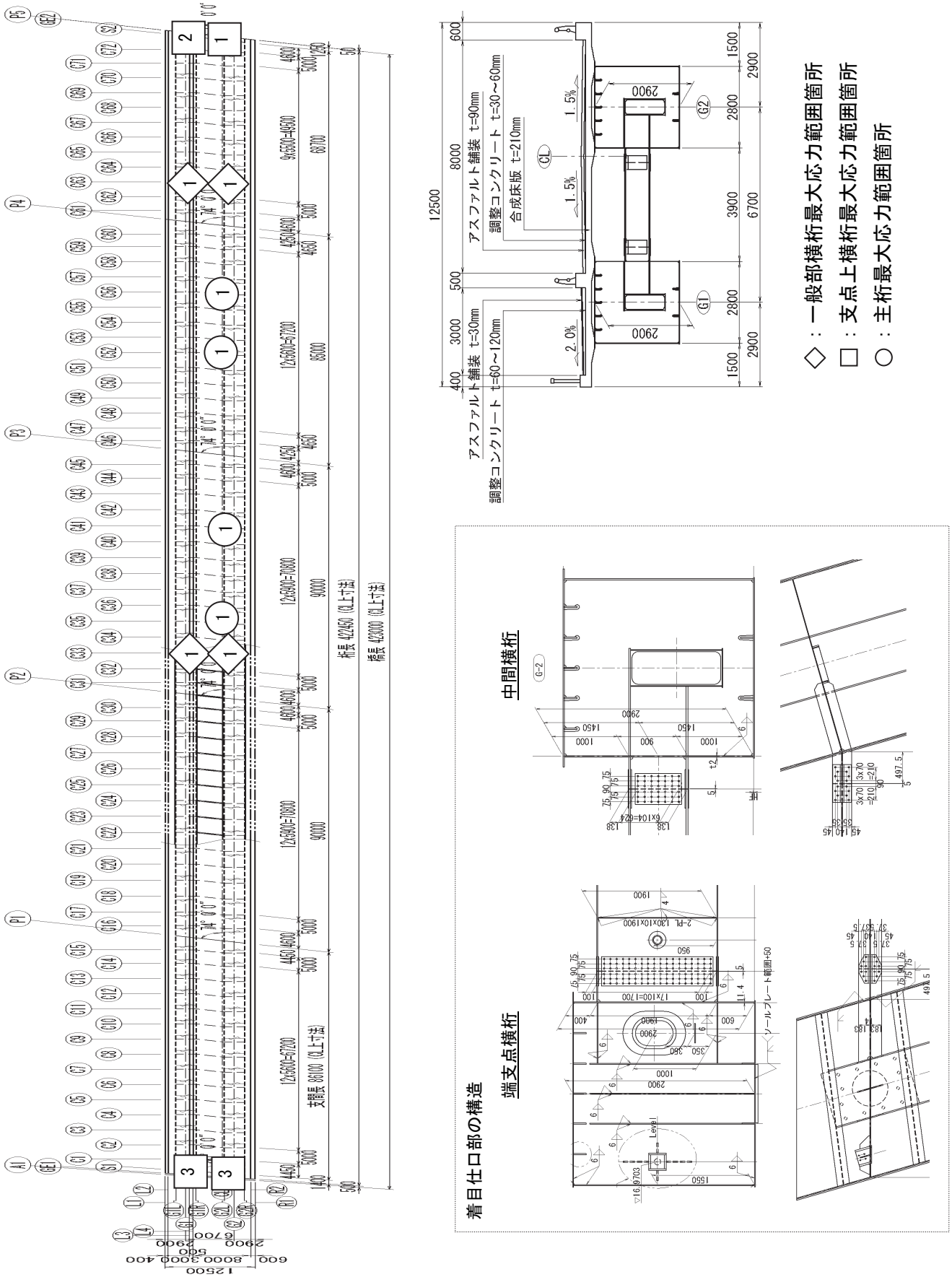


図 6-1-10 事例－１０の最大応力範囲箇所

表 6-1-11 事例－10 の設計結果

<table>
<tr><td rowspan="15">【事例－10】
5 径間連続非合成箱桁橋
支間長:86.1+90.0+90.0+85.0+68.7m
桁本数:2 本
車線数:2 車</td><td colspan="8">一般部横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕</td></tr>
<tr><td rowspan="3">照査位置</td><td colspan="6">板厚構成(mm)</td><td rowspan="3">最大応力範囲
(N／mm²)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主桁ウェブ厚</td><td rowspan="2">フランジ仕口幅</td><td rowspan="2">フランジ仕口厚</td><td rowspan="2">ウェブ仕口厚</td><td colspan="2">仕口下部リブ厚</td></tr>
<tr><td>BOX 内</td><td>BOX 外</td></tr>
<tr><td>C33-G1R
C33-G2L
C63-G1R</td><td>18</td><td rowspan="2">300</td><td rowspan="2">28</td><td rowspan="2">16</td><td rowspan="2">9</td><td rowspan="2">なし</td><td rowspan="2">16</td></tr>
<tr><td>C63-G2L</td><td>16</td></tr>
<tr><td colspan="8">支点上横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕</td></tr>
<tr><td rowspan="3">照査位置</td><td colspan="6">板厚構成(mm)</td><td rowspan="3">最大応力範囲
(N／mm²)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主桁ウェブ厚</td><td rowspan="2">フランジ仕口幅</td><td rowspan="2">フランジ仕口厚</td><td rowspan="2">ウェブ仕口厚</td><td colspan="2">仕口下部リブ厚</td></tr>
<tr><td>BOX 内</td><td>BOX 外</td></tr>
<tr><td>S2-G2R</td><td>16</td><td>380</td><td>15</td><td>13</td><td>14</td><td>なし</td><td>23</td></tr>
<tr><td>S2-G1L</td><td>16</td><td>380</td><td>15</td><td>13</td><td>14</td><td>なし</td><td>21</td></tr>
<tr><td>S1-G1R
S1-G2L</td><td>18</td><td>380</td><td>16</td><td>13</td><td>14</td><td>なし</td><td>14</td></tr>
<tr><td colspan="8">主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕</td></tr>
<tr><td rowspan="3">照査位置</td><td colspan="6">板厚構成(mm)</td><td rowspan="3">最大応力範囲
(N／mm²)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主桁ウェブ厚</td><td rowspan="2">フランジ仕口幅</td><td rowspan="2">フランジ仕口厚</td><td rowspan="2">ウェブ仕口厚</td><td colspan="2">仕口下部リブ厚</td></tr>
<tr><td>BOX 内</td><td>BOX 外</td></tr>
<tr><td>C35-G2R
C41-G2R
C52-G2R</td><td>16</td><td rowspan="2">300</td><td rowspan="2">28</td><td rowspan="2">16</td><td rowspan="2">9</td><td rowspan="2">なし</td><td rowspan="2">10.4</td></tr>
<tr><td>C56-G2R</td><td>18</td></tr>
</table>

【事例－１１】

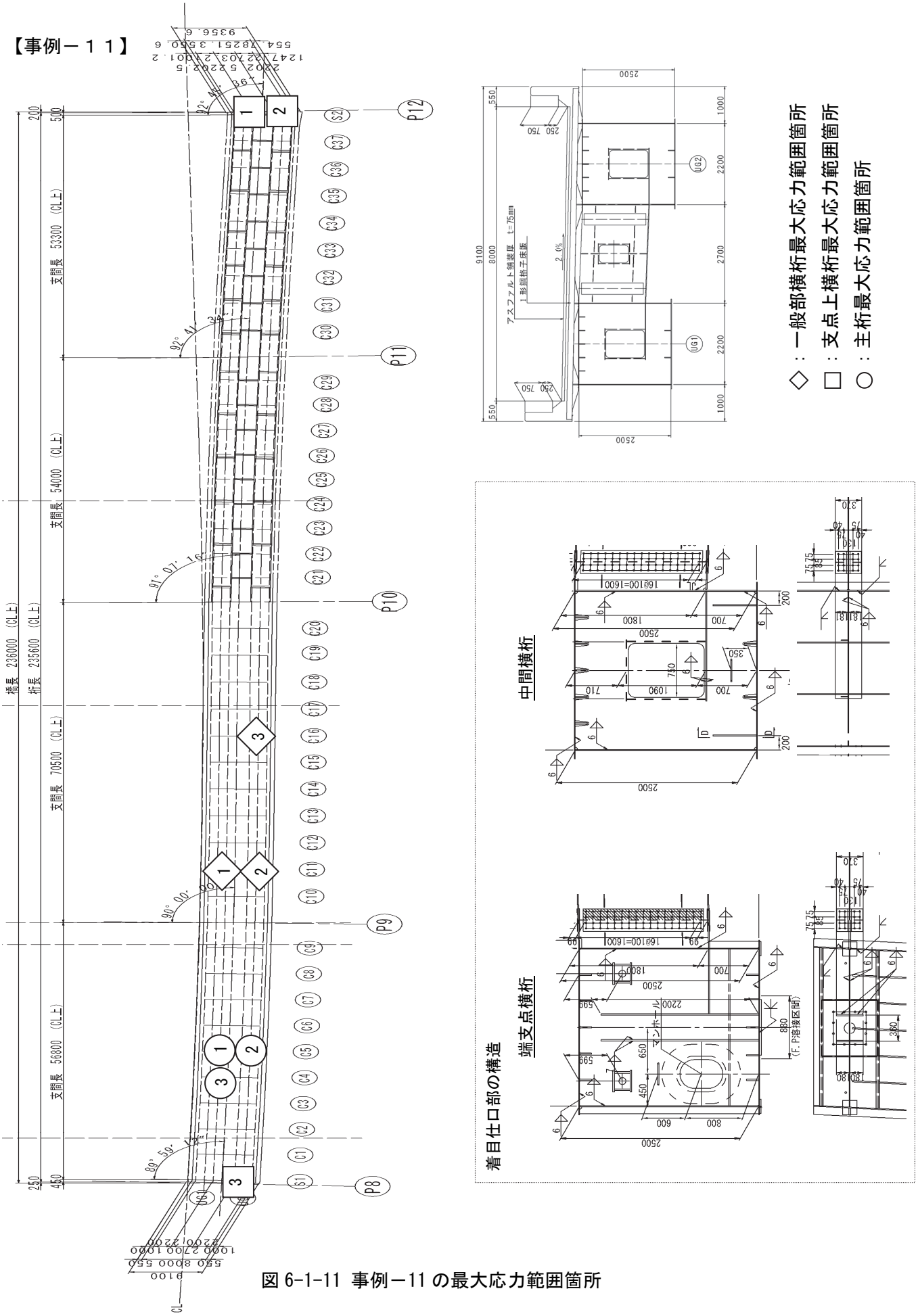


図 6-1-11 事例－11 の最大応力範囲箇所

表 6-1-12 事例－11 の設計結果

<table>
<tr><td rowspan="19">【事例－11】
4 径間連続非合成箱桁橋
支間長:56.8+70.5+ 54.0+53.3m
桁本数:2 本
車線数:2 車</td><td colspan="8">一般部横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕</td></tr>
<tr><td rowspan="3">照査位置</td><td colspan="6">板厚構成(mm)</td><td rowspan="3">最大応力範囲
(N／mm²)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主桁ウェブ厚</td><td rowspan="2">フランジ仕口幅</td><td rowspan="2">フランジ仕口厚</td><td rowspan="2">ウェブ仕口厚</td><td colspan="2">仕口下部リブ厚</td></tr>
<tr><td>BOX 内</td><td>BOX 外</td></tr>
<tr><td>C11-G1R</td><td>14</td><td>370</td><td>15</td><td>9</td><td>9</td><td>なし</td><td>10.38</td></tr>
<tr><td>C11-G2L</td><td>14</td><td>370</td><td>15</td><td>9</td><td>9</td><td>なし</td><td>10.33</td></tr>
<tr><td>C16-G2L</td><td>19</td><td>370</td><td>15</td><td>9</td><td>9</td><td>なし</td><td>10.24</td></tr>
<tr><td colspan="8">支点上横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕</td></tr>
<tr><td rowspan="3">照査位置</td><td colspan="6">板厚構成(mm)</td><td rowspan="3">最大応力範囲
(N／mm²)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主桁ウェブ厚</td><td rowspan="2">フランジ仕口幅</td><td rowspan="2">フランジ仕口厚</td><td rowspan="2">ウェブ仕口厚</td><td colspan="2">仕口下部リブ厚</td></tr>
<tr><td>BOX 内</td><td>BOX 外</td></tr>
<tr><td>S2-G1R</td><td>12</td><td>370</td><td>15</td><td>25</td><td>10</td><td>25</td><td>15.51</td></tr>
<tr><td>S2-G2L</td><td>12</td><td>370</td><td>15</td><td>25</td><td>10</td><td>25</td><td>15.55</td></tr>
<tr><td>S1-G2L</td><td>12</td><td>370</td><td>15</td><td>25</td><td>10</td><td>25</td><td>14.04</td></tr>
<tr><td colspan="8">主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕</td></tr>
<tr><td rowspan="3">照査位置</td><td colspan="6">板厚構成(mm)</td><td rowspan="3">最大応力範囲
(N／mm²)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主桁ウェブ厚</td><td rowspan="2">フランジ仕口幅</td><td rowspan="2">フランジ仕口厚</td><td rowspan="2">ウェブ仕口厚</td><td colspan="2">仕口下部リブ厚</td></tr>
<tr><td>G6 側</td><td>G10 側</td></tr>
<tr><td>C5-G1R</td><td>17</td><td>370</td><td>15</td><td>9</td><td>12</td><td>なし</td><td>24.24</td></tr>
<tr><td>C5-G2L</td><td>17</td><td>370</td><td>15</td><td>9</td><td>12</td><td>なし</td><td>23.71</td></tr>
<tr><td>C4-G1R</td><td>19</td><td>370</td><td>15</td><td>9</td><td>12</td><td>なし</td><td>23.63</td></tr>
</table>

6-2　疲労設計結果の分析

前節に示した疲労設計結果は対象とした橋梁数，橋梁形式が必ずしも十分であるとはいえないが，ここでは一般的な疲労設計結果として，発生応力が大きかった箇所の板厚構成と発生応力範囲に関する分析を行う。

6-2-1 板厚構成について

主桁ウェブ厚は多主鈑桁橋では 9mm～11mm，1 橋のみではあるが，少数主桁橋では 13mm，箱桁橋では 10～19mm であり，少数主桁橋や箱桁橋で厚い傾向が確認できる。

横桁フランジの仕口の幅×板厚は少数主桁橋で 590×24mm とやや大きめで，多主鈑桁橋と箱桁橋については，橋梁形式による特徴は認められず，板幅が 250～400mm，板厚は 10～28mm であった。

横桁ウェブの仕口の板厚は少数主桁橋では設計手法の違いから 28mm と大きく，一般部の横桁では垂直補剛材と同等の 9～16mm，支点上横桁では 9～27mm と 2 支承タイプの箱桁橋では支点上補剛材を兼ね，板厚が大きいものがあった。また，横桁ウェブ仕口部下部のリブについては，鈑桁橋では横桁ウェブ仕口の板厚と同等以上の板が設置されているが，箱桁橋については，箱桁外部には一般部横桁，支点上横桁に関係なく，リブが設置される場合とされない場合があり，箱桁内部の板（横リブと垂直補剛材またはダイアフラム）の板厚は必ずしも箱桁外部の板と一致していないことが確認できる。

6-2-2 発生応力範囲について

前節に示した設計計算結果より，各橋梁における一般部横桁（含 鈑桁橋の分配横桁），支点上横桁（箱桁橋のみ），主桁の最大応力範囲を抽出し，発生応力順に並べた結果を表 6-2-1(a)～(c)に示す。

一般部の横桁と主桁の発生応力範囲は橋梁毎にその大小関係が異なるが，全体的な発生応力レベルは同等である。

一般部横桁の結果をみると，全てが荷重伝達型十字すみ肉溶接継手（完全溶込み溶接　非仕上げ）の疲労強度等級である，E 等級の一定振幅応力の応力範囲の打ち切り限界 62N/mm^2 を下回る結果となっている。また，発生応力範囲の大きさに関しては，単純鈑桁橋＞連続鈑桁橋＞箱桁橋となっており，斜角の有無や曲線橋による違いは認められない。

支点上横桁の結果は，同一橋梁の一般部横桁よりも大きな応力範囲となっているが，その大きさは E 等級の一定振幅応力の応力範囲の打ち切り限界の半分以下である。なお，支点上横桁では圧縮応力が卓越する傾向にあることも別途確認している。

主桁の結果では，一部の橋梁で面外ガセット溶接継手の疲労強度等級である，G 等級の一定振幅応力の応力範囲の打ち切り限界 32N/mm^2 を上回るものもある。また，発生応力範囲の大きさに関しては，単純桁橋と連続桁橋，斜角の有無や曲線橋による違いは認められず，箱桁橋と鈑桁橋の発生応力範囲は，どちらかといえば箱桁橋のほうが小さい。なお，事例 1 の橋梁は唯一，合成桁として断面計算を行っているにもかかわらず，発生応力が大きくなっているが，これは当時の設計活荷重が小さく，且つ断面変化点を多数設けて鋼重を減らしているためだと考えられる。

この他，支間部において，横桁下フランジ側の発生応力と主桁ウェブ側の発生応力の双方が大きくなる仕口部もあったが，全ての橋梁で双方の最大応力発生箇所が一致することはなかった。

表 6-2-1 橋梁ごとの最大応力範囲

(a)一般部横桁の発生応力範囲

事例	橋梁形式	斜角・曲線	支間長(m)	板厚構成(mm)						一般部横桁
				主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 外側	仕口下部リブ厚 中央側	最大応力範囲 (N/mm^2)
6	単純非合成5主鈑桁橋	直橋	26	9	400	10	12	12	12	**47.06**
4	単純非合成6主鈑桁橋	斜角60°	30.3	9	360	14	9	10	10	**41.7**
3	単純非合成5主鈑桁橋	斜角70°	34.0	11	250	19	9	10	10	**40.2**
1	単純合成7主鈑桁橋	直橋	29.3	9	360	22	9	19	19	**37.2**
2	単純非合成4主鈑桁橋	斜角59°	29.8	9	300	19	9	16	16	**34**
9	6径間連続非合成少数(4主)鈑桁橋	直橋	39.1+57.0+45.0+2@39.0+38.1	13	590	24	28	28	28	**34**
8	4径間連続非合成4主鈑桁橋	直橋	34.3+35.0+35.0+34.3	10	250	12	10	10	10	**32**
7	3径間連続非合成5主鈑桁橋	単曲線R600m、斜角86°	39.75+47.5+34.75	11	370	16	9	19	19	**26.3**
5	3径間連続非合成2箱桁橋	クロソイドA160m～単曲線R450m	43.4+55.0+43.4	12	250	10	9	12	12	**26.01**
10	5径間連続非合成2箱桁橋	直橋、斜角74°	86.1+90.0+90.0+85.0+68.7	16	300	28	16	9	なし	**16**
11	4径間連続非合成2箱桁橋	斜角89° 59'～92° 46'	56.8+70.5+54.0+53.3	14	370	15	9	9	なし	**10.38**

(b)支点上横桁の発生応力範囲

事例	橋梁形式	斜角・曲線	支間長(m)	板厚構成(mm)						支点上横桁
				主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 外側	仕口下部リブ厚 中央側	最大応力範囲 (N/mm^2)
5	3径間連続非合成2箱桁橋	クロソイドA160m～単曲線R450m	43.4+55.0+43.4	10	250	14	9	11	なし	**30.35**
10	5径間連続非合成2箱桁橋	直橋、斜角74°	86.1+90.0+90.0+85.0+68.7	16	380	15	13	14	なし	**23**
11	4径間連続非合成2箱桁橋	斜角89° 59'～92° 46'	56.8+70.5+54.0+53.3	12	370	15	25	10	25	**15.51**

(c)主桁の発生応力範囲

事例	橋梁形式	斜角・曲線	支間長(m)	板厚構成(mm)						主桁
				主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 外側	仕口下部リブ厚 中央側	最大応力範囲 (N/mm^2)
8	4径間連続非合成4主鈑桁橋	直橋	34.3+35.0+35.0+34.3	10	250	12	10	10	10	**45**
6	単純非合成5主鈑桁橋	直橋	26	9	400	10	12	12	12	**41.49**
1	単純合成7主鈑桁橋	直橋	29.3	9	360	22	9	19	19	**39.7**
7	3径間連続非合成5主鈑桁橋	単曲線R600m、斜角86°	39.75+47.5+34.75	11	370	16	9	19	19	**36.9**
4	単純非合成6主鈑桁橋	斜角60°	30.3	9	360	14	9	10	10	**30.8**
5	3径間連続非合成2箱桁橋	クロソイドA160m～単曲線R450m	43.4+55.0+43.4	10	250	10	9	12	12	**28.28**
3	単純非合成5主鈑桁橋	斜角70°	34	11	250	19	9	10	10	**25.5**
2	単純非合成4主鈑桁橋	斜角59°	29.8	9	300	19	9	16	16	**25**
11	4径間連続非合成2箱桁橋	斜角89° 59'～92° 46'	56.8+70.5+54.0+53.3	17	370	15	9	12	なし	**24.24**
9	6径間連続非合成少数(4主)鈑桁橋	直橋	39.1+57.0+45.0+2@39.0+38.1	13	590	24	28	28	28	**17**
10	5径間連続非合成2箱桁橋	直橋、斜角74°	86.1+90.0+90.0+85.0+68.7	16	300	28	16	9	なし	**10.4**

6-3　疲労設計結果に対する目違いの影響評価

本節では，ここまでの検討結果を用いて，本部会で対象とした主桁と横桁の取り合い部の主桁ウェブと仕口下フランジの溶接部の疲労設計・照査に際して，現状考慮されていない目違いの影響についてどのように評価するべきか検討を行った。具体的には，

(1) 疲労設計応力・・本章で検討した 11 の橋梁についての疲労設計より得られた応力範囲を用いて検討を行う。

(2) 実橋中の目違い量・・4 章で示したように，測定個数は 7 部材（9 データ）であるが，橋梁工場にて実橋梁部材の目違いの測定を行い，最大値として鉛直目違い 3.6mm，水平目違い 2.6mm というデータを得た。ここでは，その数値を参考に鉛直目違い 4mm，水平目違い 3mm が発生した場合を想定して検討を行う。

(3) 目違いの影響度・・5 章の検討により，載荷点が対象横桁の直上にない場合など未だ検討する必要がある事項も多いが，実橋における目違いの影響度は概ね継手モデルを用いて検討できることが分かった。また，目違い量が 3,4mm 程度であれば，目違いの影響度は概ね目違い量に比例することも明らかにしている。そこで，ここでは 5-1 節で用いた継手モデルの解析結果より目違いの影響度を求めることとする。

(1)～(3)の設定で，11 の橋梁の対象部位の目違いを考慮した場合の疲労設計応力がどの程度の大きさになるかを検討し，その結果に考察を加えることとする。

まず，横桁下フランジ側止端部について検討を行う。表 6-3-1 に各橋梁の主桁と横桁取り合い部の横桁側下フランジの疲労照査に用いる計算応力範囲が最大になる点に位置について，その計算応力範囲と目違いによる応力上昇を考慮した応力範囲を示す。応力範囲の算出に際して，対象橋梁の取り合い部と同じ形状の継手モデルの解析がないこと，また，横桁下フランジ側止端部に沿い目違いの影響度が分布していることを考慮して以下の仮定にて算出を行った。

(1) 5-1 節で用いた主板幅 200mm，中板厚 11mm とし，主板厚 12mm のモデル（補剛材なし）を基本とし，主板幅，中板厚の影響は無視した（但し，主板幅は大きくなると若干目違いの影響度は上昇し，中板厚保は大きくなると目違いの影響度は低下する傾向にある)。

(2) 主板厚を 12mm，19mm，25mm と変更したモデルの解析結果から，板厚と目違いの影響度の関係を最小二乗法により一次近似し，表中のその他の仕口フランジ厚(Tmw)の場合の目違いの影響度を求めた。

(3) 目違いの影響度は，止端部に沿い分布するが，最も大きい値を抽出した。

以上の仮定をもとに，各橋梁のディテールごとに，目違いの影響度を算定した。

(4) 上記基本モデルでは，中板の両面に補剛材を設けた継手，片面に補剛材を設けたケースについても解析を行っており，補剛材がないケースとあるケースで目違いの影響度の差異を求めることができる。その両者の比率を利用して，各橋梁ケースの補剛材のある場合の目違いの影響度を求めた。

(5) 11 橋梁のうち箱桁モデルが 3 橋梁存在し，5-3 節で示したように，この基本モデルでは実橋の箱桁モデルよりも大きな鉛直目違いの影響度を算定する。しかし，ここでは参考のため，この基本モデルを用いて評価を行った。実際の目違いの影響度については今後の課題としたい。

以上の作業により，各モデルの目違いを考慮した応力範囲を算定している。なお，表中に示す目違いの影響度は鉛直目違いを 1mm 導入した場合の応力の上昇度を示しており，応力範囲は鉛直目違いを 4mm 与えた場合の応力範囲を示している。表中には参考のため，IIW の式(5-1-1)（λ=6）により求めた目違いの影響度（目違い 1mm）および応力範囲（目違い 4mm）も併せて示している。

表 6-3-1 鉛直目違いを 4mm と仮定したときの横桁の応力範囲

事例	橋梁形式	Tmw mm	Wtf mm	Ttf mm	補剛材	最大応力範囲 N/mm²	IIW		解析			
									補剛材無		補剛材有	
							目違い影響度	修正応力範囲 N/mm²	目違い影響度	修正応力範囲 N/mm²	目違い影響度	修正応力範囲 N/mm²
6	単純非合成5主鈑桁橋	9	400	10	両面	47.06	1.300	103.53	1.106	66.96	1.081	62.39
4	単純非合成6主鈑桁橋	9	360	14	両面	41.7	1.214	77.44	1.103	58.80	1.078	54.63
3	単純非合成5主鈑桁橋	11	250	19	両面	40.2	1.158	65.59	1.099	56.12	1.074	52.11
1	単純合成7主鈑桁橋	9	360	19	両面	37.2	1.158	60.69	1.099	51.93	1.074	48.23
2	単純非合成4主鈑桁橋	9	300	19	両面	34	1.158	55.47	1.099	47.46	1.074	44.08
9	6径間連続非合成少数(4主) 鈑桁橋	13	590	24	両面	34	1.125	51.00	1.095	46.85	1.070	43.48
8	4径間連続非合成4主鈑桁橋	10	250	12	両面	32	1.250	64.00	1.103	45.18	1.078	41.98
7	3径間連続非合成5主鈑桁橋	11	370	16	両面	26.3	1.188	46.03	1.101	36.92	1.076	34.29
5	3径間連続非合成2箱桁橋	12	250	10	両面	26.01	1.300	57.22	1.106	37.01	1.081	34.40
10	5径間連続非合成2箱桁橋	16	300	28	内側	16	1.107	22.86	1.091	21.84	1.071	20.51
11	4径間連続非合成2主箱桁橋	14	370	15	内側	10.38	1.200	18.68	1.102	14.60	1.081	17.73

Tmw：主桁ウェブ厚，Wtf：仕口フランジ幅，Ttf：仕口フランジ厚
表中の目違いの影響度は目違いが 1mm の時の目違いの影響度
補剛材：「両面」は主桁ウェブ両面に、「内側」は箱桁ウェブ片面に補剛材が設置されているケース
ハッチ部は、5-1 節で取り扱った Ttf を有するモデル（但し、他の形状は異なる）

横桁下フランジの主桁ウェブとの溶接部は横桁の力に対して荷重伝達型十字溶接継手と考えられる。これらの継手は，現在では完全溶込み溶接継手で製作されており，日本鋼構造協会の疲労強度等級で E 等級と考えられ，その疲労限度は 62N/mm² とされている。IIW の式 5-1-1（λ=6）を用いると，実橋梁部材で目違い測定を行った結果を参考に，本検討で設定した鉛直目違い量 4mm を導入した場合には 4 つのモデルで疲労限度を超えた大きな応力範囲が発生しており，ほかにも疲労限度に近い応力範囲が発生しているという結果となった。一方，いくつかの仮定を設けて算定はしているが，本検討で検討した継手モデルを用いて算定した目違いの影響度を用いた場合，補剛材を設けた場合，橋梁 No.6 のみ疲労限度と同等の応力範囲と算定されているが，その他のモデルでは疲労限度を下回る結果となった。

一方，図 6-3-1 に補剛材の有無による，止端部の横桁長手方向応力の止端部に沿う分布の差異を示す。解析には 5-1 節で用いた主板（横桁下フランジ）幅 200mm，中板（主桁ウェブ）厚 11mm とし，主板（横桁下フランジ）厚 12mm のモデルを用いている（拘束条件-a）。なお，図中の応力分布は目違いが無い場合の解析モデルより得られた応力分布である。補剛材が両面に取りつく場合には，補剛材に

力が伝達されるために，主板の止端部応力が，特に補剛材に近い領域で大きく低下していることが分かる。すなわち，表 6-3-1 に示す補剛材が「両面」に取りつくモデルでは，「修正応力範囲」は表中に示す値より小さい可能性もあり，つまり，各ディテールごとに目違いのないモデルとあるモデルから求めた目違いの影響度分だけ設計計算応力を割り増しすると正しい評価ができない可能性がある。(このようなディテールの場合には，補剛材先端の回し溶接の方が疲労上問題になることが多いと考えられる)。一方，補剛材が片面に取りつくディテールでは，図中に示す着目止端部とは中板の反対側に取りつけられた補剛材に力が伝達されるために，横桁ウェブ位置およびその近傍で応力が「補剛材なし」モデルよりも大きくなっている。但し，表 6-3-1 に示すように検討した橋梁のうち，補剛材が片面（箱桁内側）にのみ取り付けられるケースでは疲労設計で得られる最大応力範囲が非常に小さいものであり，また，今回用いている目違いの影響度は横桁一般部の値であり，応力の大きな横桁ウェブ位置での目違いの影響度は一般部と比較して非常に小さい(例えば図 5-1-20 に示すように基本モデルでは横桁一般部に見られる目違い 1mm による応力上昇の最大値が 8%程度であるのに対し，横桁ウェブで 3%程度となっている)。従って，ここで想定した鉛直目違い 4mm を導入した場合でも，疲労上大きな問題になるものではないと考えられる。

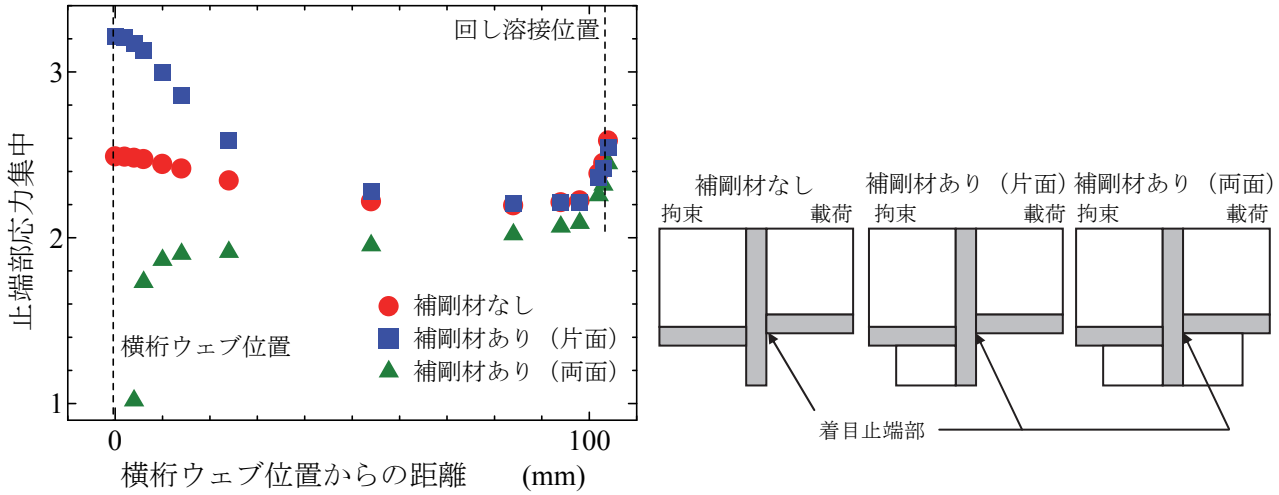


図 6-3-1 補剛材の有無による止端部応力の差異

以上の考察より，今回収集した橋梁では，目違い計測から鉛直目違い 4mm を導入した場合に，疲労設計上「不合格」となるような橋梁は見られなかったと言える。但し，疲労限度に近い応力範囲も計算上得られており，より発生応力が大きいディテールに，より大きな目違いが発生する場合には，目違いに対して対応を検討する必要があると言える。

但し，継手モデルでは前述したように目違いによる応力上昇度（目違いの影響度）のみを捉えることになり，その目違いの影響度を設計計算応力に乗じると実際の応力範囲を正しく評価できない可能性もある。また，今回は目違いの影響度の最も大きい横桁一般部の目違いの影響度を用いて考察を行っているが，止端部に沿い，止端部応力も目違いの影響度も分布することも併せて，本検討で詳細に求めた目違いの影響度を格子計算などで行われる疲労設計の中でどのように評価するべきか検討する必要があり，今後の課題であると言える。

次に，水平目違いの影響について，主桁ウェブ側の回し溶接止端部への影響を検討する。ここでは実測より，水平目違いを 3mm と想定して検討を行う。水平目違いの主桁ウェブ側回し溶接止端部の応力への影響は継手モデルにより直接は検討していないが，主桁ウェブ表裏の脚長の差異の影響から検討を行った結果を 5-1(c)節に示した。そこでは主板厚 9mm の面外ガセット溶接継手に脚長 6mm（5-2 節の鈑桁モデルと同様）を基本として，一つの溶接脚長を 8mm，10mm と増加させると，脚長を増大させた溶接ビードとは反対側の溶接ビードの止端部の応力がそれぞれ約 10，19%増大する結果が得られている。5-2 節で示した鈑桁モデルでは，同様に主桁ウェブ厚 9mm であるが，図 5-2-10 に示したように止端部の最大主応力ベースであるが，水平目違い 3mm で 12%程度の応力上昇が得られており，5-1 節で脚長の差異で目違いを与えたケースよりも若干小さい値となっている。必ずしも，主板厚（主桁ウェブ厚）と脚長以外は継手形状が同一ではなく，目違いの導入の仕方も異なるが，ここでは目違いの影響度の大きく得られた 5-1 節の値を用いて検討を行う。なお，表 5-1-2 に示すように，溶接脚長の差異の影響度は，概ね主板厚に反比例し，脚長差に比例することから，上記のモデルを基本とし，各橋梁の主桁ウェブ厚および想定した水平目違い量 3mm を用いて，設計計算応力範囲を修正した。その結果を表 6-3-2 に示す。なお，表中の目違いの影響度は水平目違いが 3mm の時の目違い影響度である。主桁ウェブ側の回し溶接止端部は，主桁ウェブの橋軸方向応力に対して面外ガセット継手（JSSC の G 等級）に分類され，その疲労限度は 32N/mm^2 となる。今回収集した設計計算応力範囲が目違いを考慮しなくても疲労限度を超えている橋梁が 4 橋あり，目違いを考慮することにより疲労限度を新たに超える橋梁は 1 橋であった。一方，疲労寿命に着目すると，S-N 線上の傾きを表す係数 m=3 と仮定すると，目違いを考慮することにより，疲労寿命は 66%～79%程度に減少することになる。これは，簡便な疲労照査を満たさない場合に詳細な疲労照査で許容される大型車交通量が 66%～79%となるということであり，水平目違いの影響は小さくないと考えられる結果となった。

表 6-3-2 水平目違いを 3mm と仮定したときの横桁の応力範囲

事例	橋梁形式	Tmw mm	Wtf mm	Ttf mm	補剛材	最大応力範囲 N/mm^2	目違い影響度	修正応力範囲 N/mm^2
8	4径間連続非合成4主鈑桁橋	10	250	12	両面	45	1.131	50.87
6	単純非合成5主鈑桁橋	9	400	10	両面	41.49	1.145	47.51
1	単純合成7主鈑桁橋	9	360	19	両面	39.7	1.145	45.46
7	3径間連続非合成5主鈑桁橋	11	370	16	両面	36.9	1.119	41.28
4	単純非合成6主鈑桁橋	9	360	14	両面	30.8	1.145	35.27
5	3径間連続非合成2箱桁橋	12	250	10	両面	28.28	1.109	31.36
3	単純非合成5主鈑桁橋	11	250	19	両面	25.5	1.119	28.53
2	単純非合成4主鈑桁橋	9	300	19	両面	25	1.145	28.63
11	4径間連続非合成2主箱桁橋	14	370	15	内側	24.24	1.093	26.50
9	6径間連続非合成少数(4主) 鈑桁橋	13	590	24	両面	17	1.100	18.71
10	5径間連続非合成2箱桁橋	16	300	28	内側	10.4	1.082	11.25

Tmw：主桁ウェブ厚，Wtf：仕口フランジ幅，Ttf：仕口フランジ厚
目違いの影響度は水平目違いが 3mm の時の目違いの影響度
補剛材：「両面」は主桁ウェブ両面に、「内側」は箱桁ウェブ片面に補剛材が設置されているケース

今回，JSSC の疲労強度等級に定められる疲労強度等級をベースにして鉛直目違い，水平目違いの実橋梁の疲労設計に対する影響について検討を行った．その結果，特に疲労強度が低く，主桁に取りつく主桁ウェブ側回し溶接止端部に対する水平目違いの影響が大きいという結果となった。しかし，例えば水平目違いの影響は例えば主板表裏の脚長の差異がある場合とほぼ同等レベルの影響度となっており，目違いや溶接脚長の差異などは，疲労強度等級を決定するための疲労試験に用いられた膨大な数の疲労試験体にも含まれていると考えられる。例えば 3 章に紹介した DNV の規定のように，疲労強度等級を決定するために用いられた疲労試験体に含まれると考えられる目違い量を設定し，その値を発生する目違い量から差し引いた量から算定される目違いの影響度を用いて目違いの影響を考慮するなど，より現実的な対応およびそのための今後の検討が望まれ，本検討がその一助になることを期待したい。