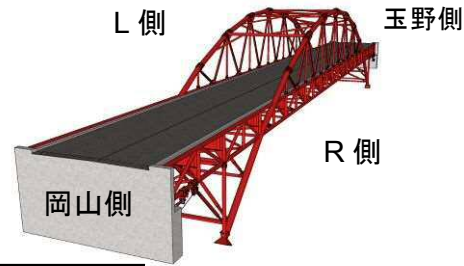
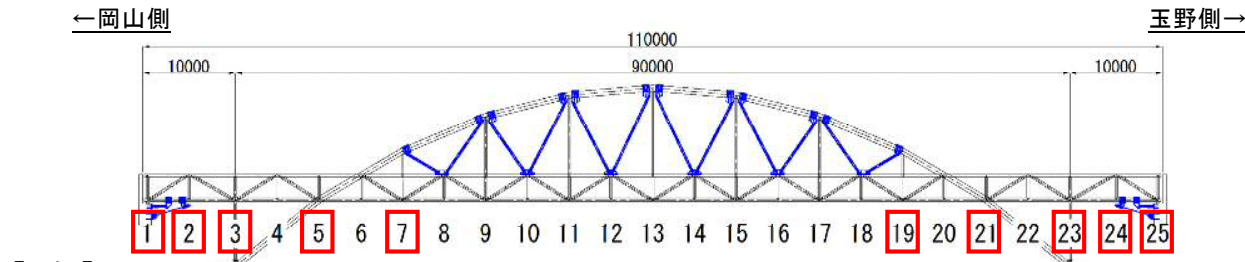


§ 1. 亀裂対策の現状

1-1. 亀裂発生状況



【L側】

	VPL1	VPL2	VPL3	VPL5	VPL7	VPL19	VPL21	VPL23	VPL24	VPL25
①										
③										
②	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
④	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
⑤		---		---	---	---	---		---	
⑥		---		---	---	---	---		---	
⑦⑧	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

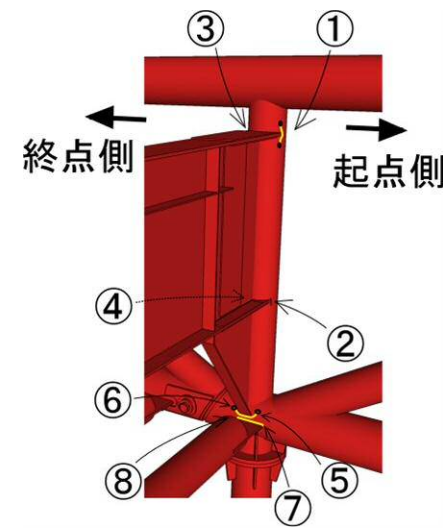


図-1.2 亀裂位置図 (その1)

【R側】

	VPR1	VPR2	VPR3	VPR5	VPR7	VPR19	VPR21	VPR23	VPR24	VPR25
①										
③										
②	---	---	---	---	---	---				
④	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
⑤		---		---	---	---	---	---	---	
⑥		---		---	---	---	---	---	---	
⑦⑧	---	---		---	---	---	---	---	---	---

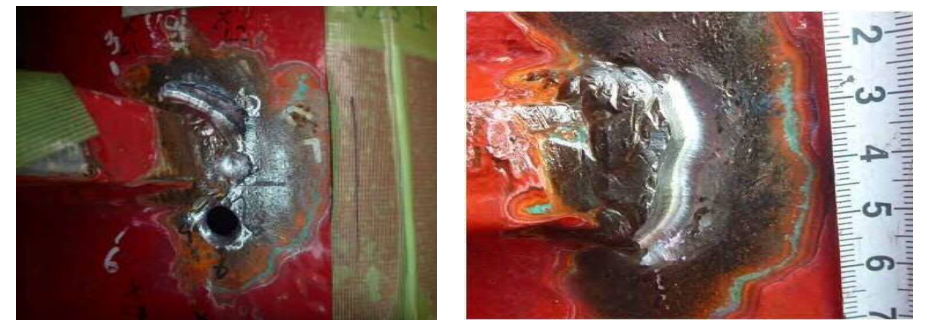
--- : 亀裂切削除去 ○ : SH箇所 : 亀裂

図-1.1 亀裂発生箇所図一覧



(a) VPR5 ③ ストップホール

(b) VPR3 ① 切削



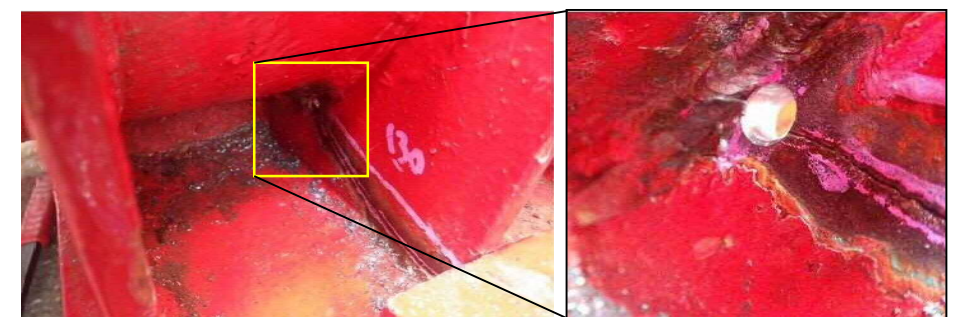
(c) VPR23 ① 切削 (上側)
ストップホール (下側)

(d) VPR25 ② 切削



(e) VPL1 ⑥ ストップホール

(f) VPR3 ⑤ ストップホール



(g) VPR25 支承リブ ストップホール

図-1.4 亀裂発生状況写真 (ストップホール、亀裂切削後)

(補足)

□ストップホール (SH)

溶接ビード部から母材に亀裂が進展している箇所について、亀裂先端にストップホールを施工済み。

□切削

亀裂が、溶接ビードに沿った小さなものである場合には、表面を削り取るにより亀裂を除去している。

1-2. 亀裂対策状況

現在の亀裂対策実施状況を以下に示す。

- ・横桁と垂直材接合部の亀裂については、当て板補修により対策実施済み。
- ・待ち受け工、格点部補強によりリダンダンシーを確保。
- ・ニーブレースと下弦材接合部、および支承部補剛リブの亀裂は経過観察中。
⇒ **今回、対策工を検討** ……今回審議事項

<現在までの亀裂対策方針>

- | | |
|---|--|
| 1 | 目標性能 |
| ① | 供用性 特殊車両を含む一般交通を安全に通行させることができる。 |
| ② | 維持管理性 容易かつ、確実な点検ができる。(5年に1度の橋梁定期点検で管理) |
| 2 | 対策方針 |
| ① | 亀裂発生位置の作用応力を低減し、亀裂進展を抑制する。 |
| ② | 部材破断・落橋に対するリダンダンシーを確保する。 |

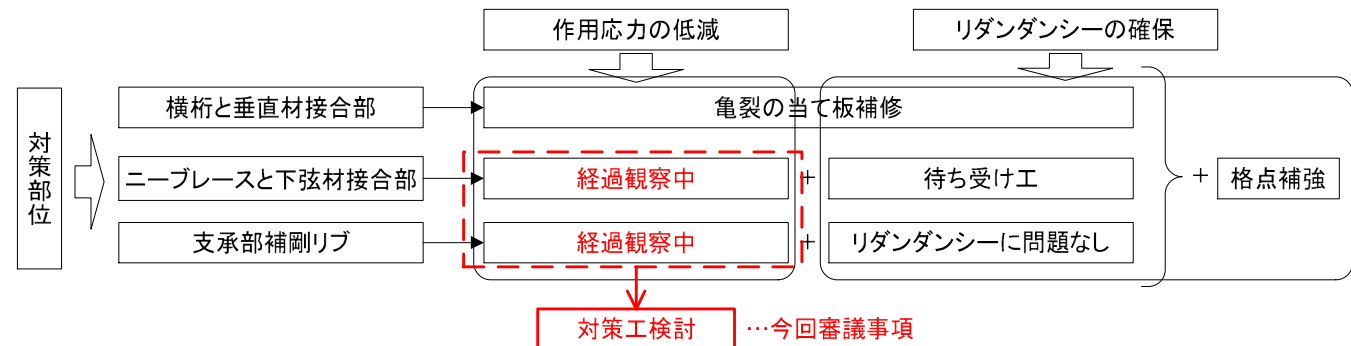


図-1.5 現在までの亀裂対策方針

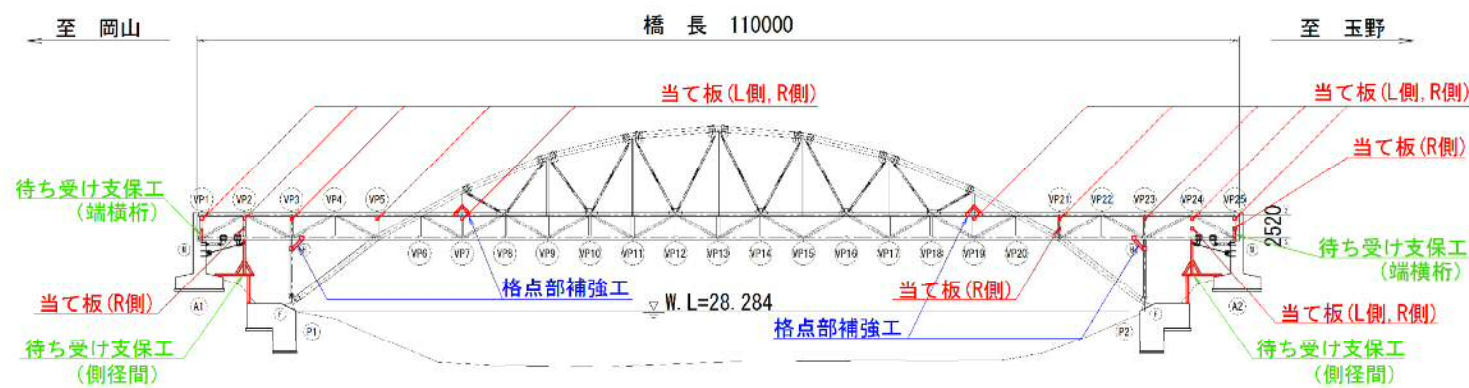


図-1.6 実施済み亀裂対策工

表-1.1 伊達橋 橋梁履歴

年度	履歴	規制状況
1967 (S42)	架設	
1975 (S50)	床版の鋼板接着補強	
1993 (H5)	塗装塗替	
1995 (H7)	上部構造縦桁・床版断面補強 (ゲルバーヒンジ部補強)	
2004 (H16)	初回定期点検	
2003 (H15)	伸縮装置取替	
2006 (H18)	塗装塗替	
2006 (H18)	耐震補強	
2007 (H19)		
2008 (H20)	第2回定期点検	
2013 (H25)	第3回定期点検 ⇒ 亀裂確認	
2013/12月	待ち受け支保工設置 (橋台) 亀裂・路面監視 (目視) 開始	
2014/ 1月	片側交互通行+大型車迂回要請 開始	片側交互通行規制 大型車迂回要請
2014/ 2月	歩道マウントアップ撤去 路面監視 (ビデオカメラ) 開始	
2014/ 3月	待ち受け支保工設置 (側径間中央) 亀裂監視 (ビデオカメラ) 開始	
2014 (H26)		
2014/3/12	第1回伊達橋補修検討委員会	
2014/7/17	第2回伊達橋補修検討委員会	
2014/12月	載荷試験 (その1)	
2015/1/22	第3回伊達橋補修検討委員会	
2015/ 3月	載荷試験 (その2)	
2015 (H27)		
2015/6/12	第4回伊達橋補修検討委員会	
2015/ 7月	予防保全対策 (格点補強) 施工	
2015/7/31	片側交互通行規制解除 (大型車迂回要請継続)	
2016/3/11	第5回伊達橋補修検討委員会	
2016 (H28)		
2016/ 5月	垂直材当て板補修 施工	
2017/1/19	第6回伊達橋補修検討委員会 (今回委員会)	

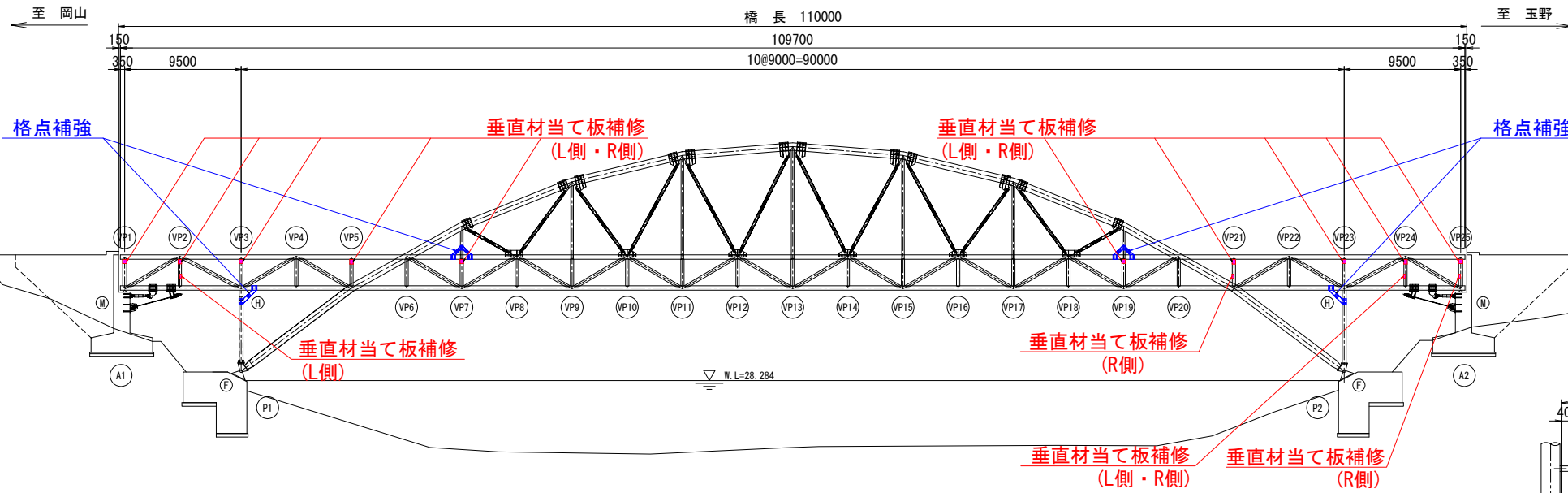
青字・・・補修・補強履歴、赤字・・・亀裂対策履歴



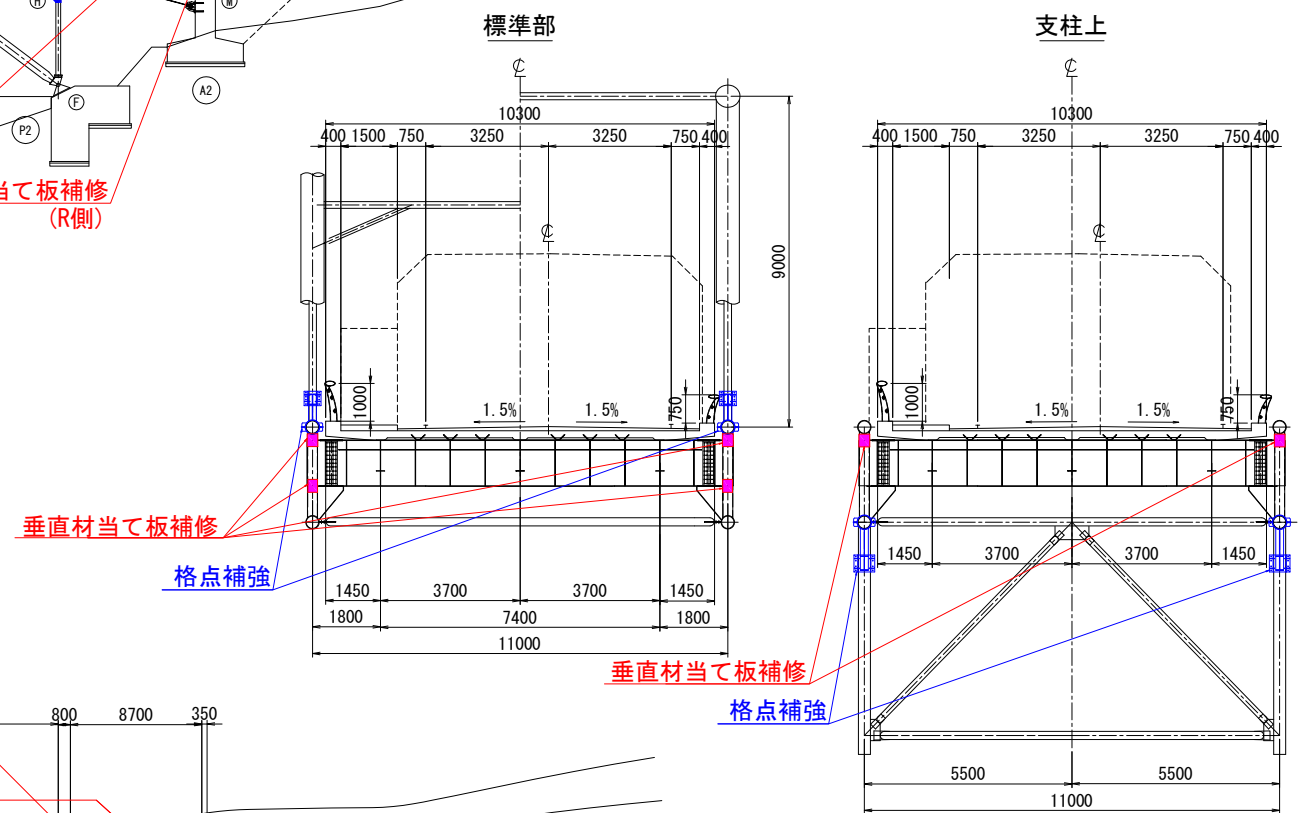
図-1.7 亀裂対策工施工状況

亀裂対策一般図 (施工済み) S=1:250

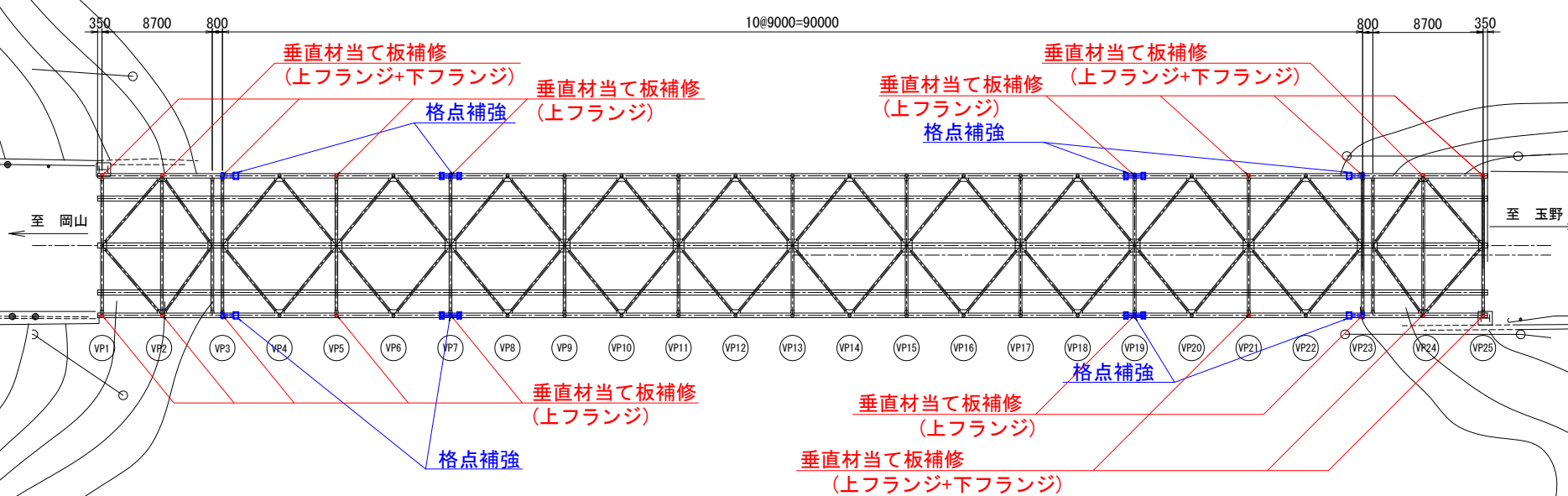
側面図



断面図 S=1:100



平面図



1-3. 伊達橋補修対策で用いたワンサイドボルトによる当て板接合の考え方

1-3-1. 当て板の目的

横桁フランジと垂直材接合部の当て板は、亀裂の進展を抑止するとともに、万が一亀裂が進展した場合にも、進展亀裂により失われる部材の荷重伝達機能を補うフェールセーフ構造となるよう設計する。

1-3-2. 設計作用力

横桁フランジと垂直材接合部の当て板は、既存の亀裂が進展して垂直材がフランジとの溶接部に沿って破断した場合に、垂直材軸力をバイパスする部材として機能させる。設計で考慮する作用力は図-1.8 のようになる。

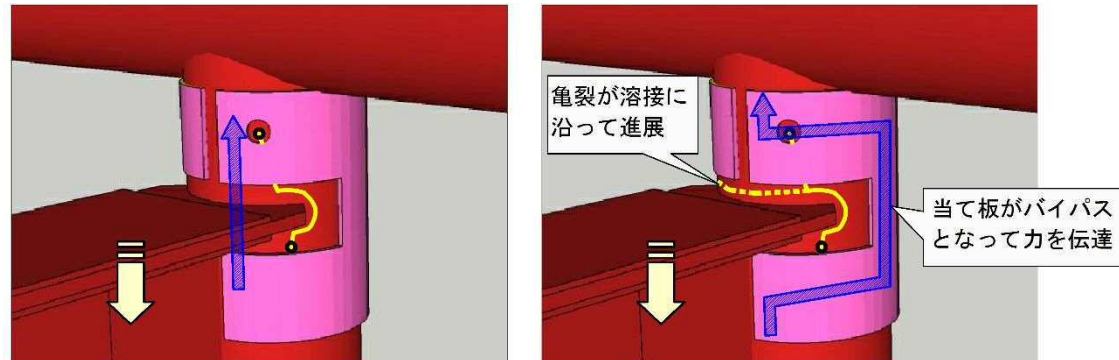


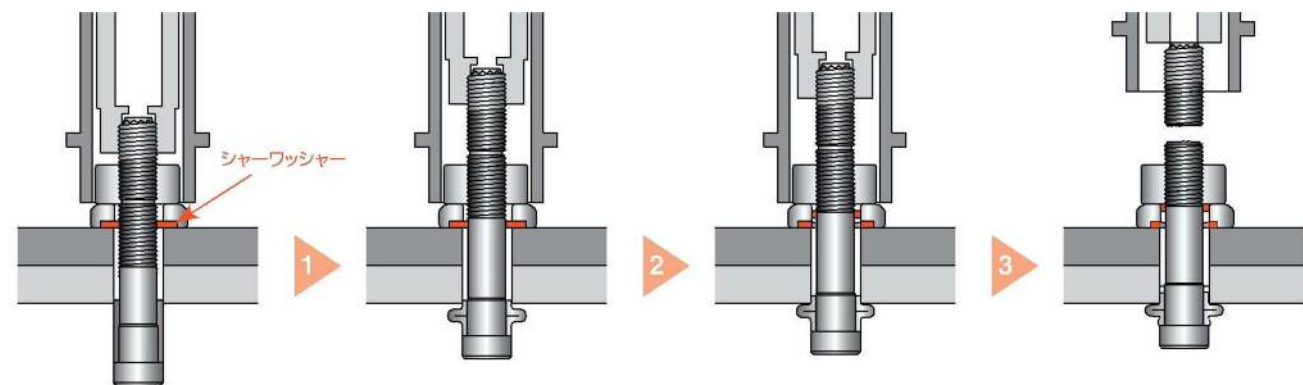
図-1.8 当て板に作用する力の流れ（垂直材に引張軸力が作用する場合）

1-3-3. 当て板接合部の構造

当て板接合部は、φ267.4mmの小径鋼管であり、施工性、部材への影響に配慮し、ハンドホール等を設けず、外側からの作業のみで施工可能なワンサイドボルトを用いて接合することとする。



図-1.9 ワンサイドボルト構造概要（株式会社フセラシ ホームページ）



1 ピンを挿入し、締結を開始します。工具は専用電動シャワーレンチを使用します。

2 ピンを固定しナットを回転することにより、バルブ頭が形成されます。

3 シャワーワッシャーがせん断され、部材への軸力導入が始まります。

4 所定の軸力が導入され、ピンテールが破断し、締結が完了します。

図-1.10 ワンサイドボルト概要（出典：株式会社ロボテックスファニングシステムホームページ）

1-3-4. 当て板接合部の設計方法

(1) 設計方針

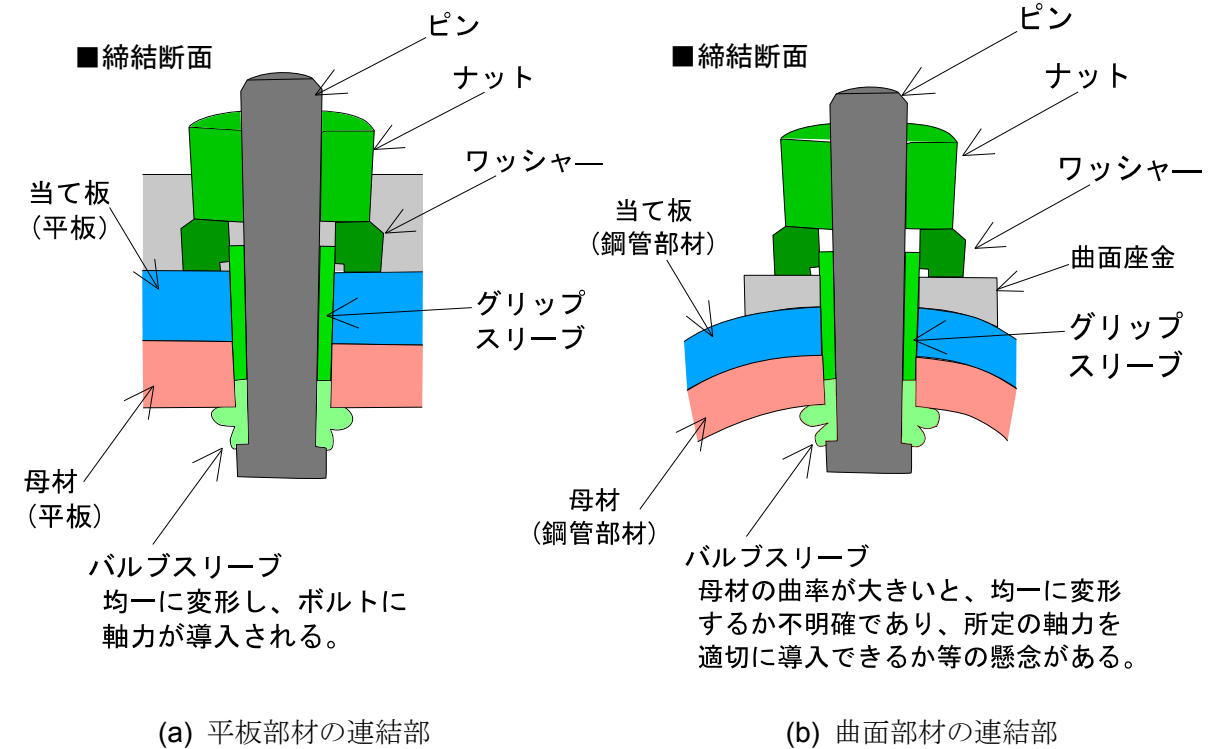
ワンサイドボルトは、摩擦接合に適用できる片側施工高力ボルトであるため、ボルト施工ではボルトに軸力が導入され摩擦抵抗が機能することとなる。一方で、ワンサイドボルトを今回のような小径鋼管に適用することは考慮されておらず、摩擦接合としての所定の性能を確保できない懸念もある。

ここで、亀裂進展時に部材の破断を防ぐフェールセーフとしての機能を確保する目的を踏まえた場合、仮に摩擦接合としての機能が不十分であるとしても、ボルトせん断抵抗およびボルト孔の支圧抵抗による支圧接合として、接合が保たれば目的を満足する。

そこで、垂直材当て板接合部の設計としては、①摩擦接合としてのボルト本数の照査とともに、仮に摩擦接合としての機能が確保されない場合を想定し、②支圧接合としてのボルト本数の照査も行うこととする。なお、ワンサイドボルトのコアピン（ボルト軸）の性能はF8T相当（メーカーカタログより）であり、支圧接合用ボルトとしてはB8T相当の性能と評価することとする。

<設計方針>

摩擦接合として、および支圧接合としての2重の照査により設計を行う。



(a) 平板部材の連結部

(b) 曲面部材の連結部

図-1.11 小径鋼管にワンサイドボルトを適用する場合の懸念事項

(2) 摩擦接合としてのボルト本数照査方法

ワンサイドボルトは、高力ボルト F8T 相当の設計軸力を有する摩擦接合用の高力ボルトである。

当て板補修部にはボルト本数を確保できるように、最小系の M20 を用い、設計ボルト軸力は 131 kN とした。

表-1.1 ワンサイドボルトと JIS 規格の性能比較表 (ハック高力ワンサイドボルト カタログ)

		呼び径			
		M20	M22	M24	M27
引張強さ (kN)	F8T	196	243	283	368
	F10T	245	303	353	459
	ワンサイドボルト	195	—	263	377
設計軸力 (kN)	F8T	133	165	192	245
	F10T	165	205	238	310
	ワンサイドボルト	131	—	177	254

(3) 支圧接合としてのボルト本数照査方法

1) 当て板接合部の破壊メカニズム

ボルト軸力が喪失することを想定した場合、接合部の破壊メカニズムは下記のように想定され、終局状態では支圧接合状態であると考えられる。(図-1.12)

①ボルト軸力喪失 (摩擦抵抗喪失)

↳②当て板と母材のズレ及びボルトと部材の接触 (ボルト支圧抵抗)

↳③母材の支圧破壊またはボルトのせん断破壊により接合部の機能が失われる。(終局)

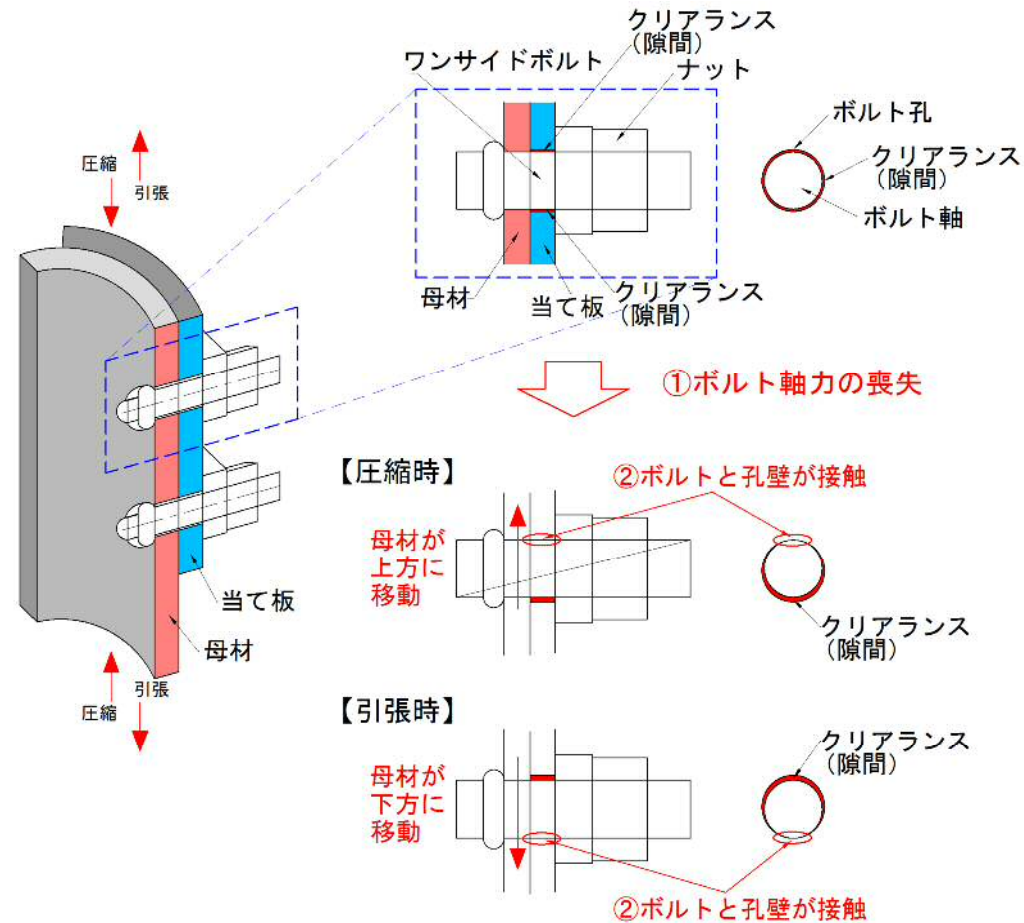


図-1.12 当て板接合部の終局時

2) 想定するワンサイドボルトのせん断破壊挙動

支圧接合の状態となった後のワンサイドボルトの破壊挙動として、下記を仮定する。(図-1.13)

①孔壁とワンサイドボルトが接触

↳②ボルトを囲むスリーブが先に支圧破壊

↳③ボルト軸であるピンがせん断に抵抗する。

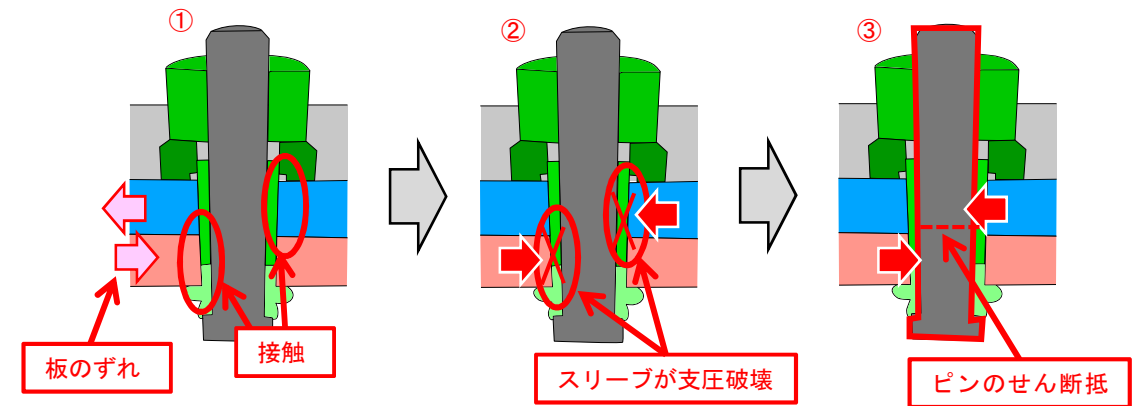


図-1.13 ワンサイドボルトの想定破壊メカニズム

3) ワンサイドボルト許容せん断応力度の設定 (仮定)

前述のようにワンサイドボルトのせん断破壊挙動を仮定した場合、ワンサイドボルトのせん断耐力の主要因は、ピンのせん断耐力となる。

ワンサイドボルトは F8T 相当の高力ボルトであることを考慮し、ピンのせん断耐力は支圧接合用高力ボルト B8T 相当と仮定して、道路橋示方書に記載の B8T の許容せん断応力度をワンサイドボルトの許容値として設定する。

2) 支圧接合用高力ボルトの許容せん断応力度及び許容支圧応力度はそれぞれ表-3.2.8 及び表-3.2.9 に示す値とする。

表-3.2.8 支圧接合用高力ボルトの許容せん断応力度 (N/mm²)

ボルトの等級	B8T	B10T
許容せん断応力度	150	190

道路橋示方書 (平成 24 年 3 月)

1-3-5. 接合部の照査

(1) 摩擦接合としての照査

1) 作用力

垂直材と当て板を接合するボルト作用力は、当て板の必要厚さと作用応力度から算出する。

垂直材の最大応力：118N/mm²（死荷重+活荷重載荷時，VP19）

当て板の作用力： $P = 200 \times 7.9 \times 118 = 186 \text{ kN}$

【当て板有効断面幅(mm)】【必要となる当て板厚(mm)】【最大応力度】

2) 当て板厚さの計算

横桁フランジの溶接止端部の亀裂が発生，進展し，横桁フランジの周囲の溶接が破断した状況を想定する。その破断した面積を，当て板で補うものとする。

破断幅： $W = 338 \text{ mm}$ （VPR21，STK400）

破断面積： $A = 338 \times 9.3 = 3143 \text{ mm}^2$

当て板の必要厚さ： $t = \frac{3143}{2 \times 200} = 7.9 \text{ mm} \rightarrow 9 \text{ mm}$ （SS400）

※）市場性（入手しやすい材料）を考慮し9mmとする。

3) ボルトの必要本数の照査

垂直材と当て板を接合するボルトは，当て板の必要厚さと作用応力度から算出する。

垂直材の最大応力：118N/mm²（D+L，VP19）

当て板の作用力： $P = 200 \times 7.9 \times 118 = 186 \text{ kN}$

ワンサイドボルトのボルト1本1摩擦面あたりの許容力（M20）： ρ_a

$$\rho_a = \frac{1}{\nu} \cdot \mu \cdot N = \frac{1}{1.7} \times 0.4 \times 131 = 30.8 \text{ kN}$$

ν ：安全率， μ ：すべり係数， N ：設計軸力

ワンサイドボルトの必要本数： $N = \frac{P}{\rho_a} = \frac{186}{30.8} = 6.0$ 本以上

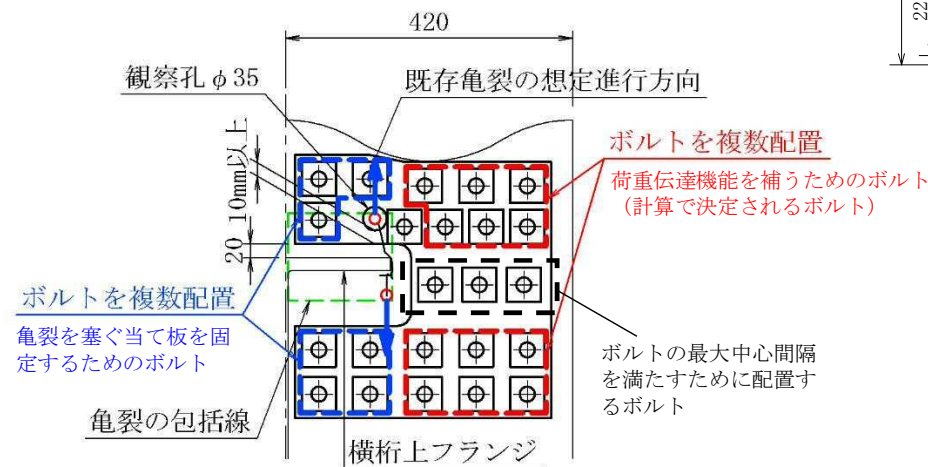
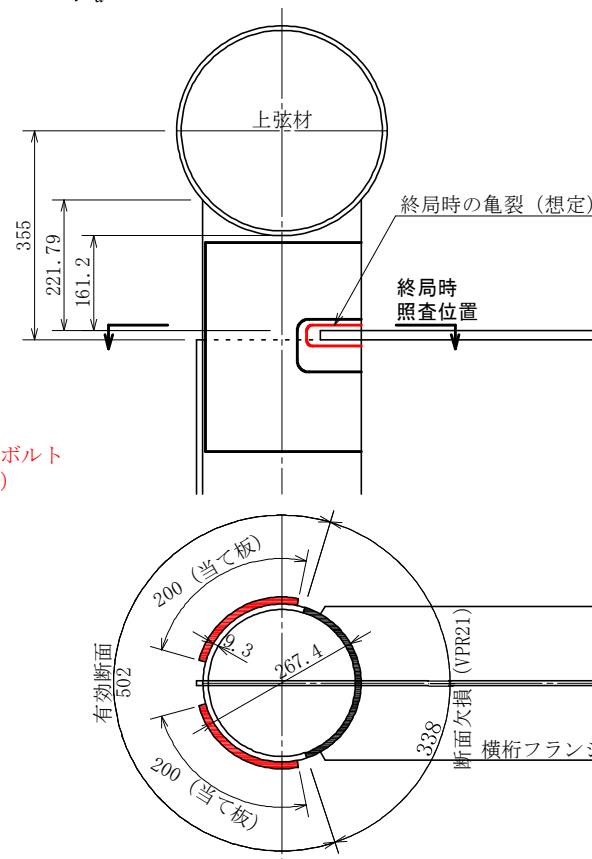


図-1.14 当て板接合部ボルト配置及び照査断面



(2) 支圧接合としての照査

前項に示したように、当て板接合部は支圧接合として終局に至ると想定される。そこで、支圧接合として、当て板接合部を照査する。下記に示すように、支圧接合とした場合も、作用力に対して当て板接合部は十分な耐力を有していると評価される。

1) 作用力

設計作用力は、摩擦接合としての照査と同一である。

当て板の作用力： $P = 200 \times 7.9 \times 118 = 186 \text{ kN}$

【当て板有効断面幅(mm)】【必要となる当て板厚(mm)】【最大応力度】

2) 支圧ボルトのせん断応力度の照査

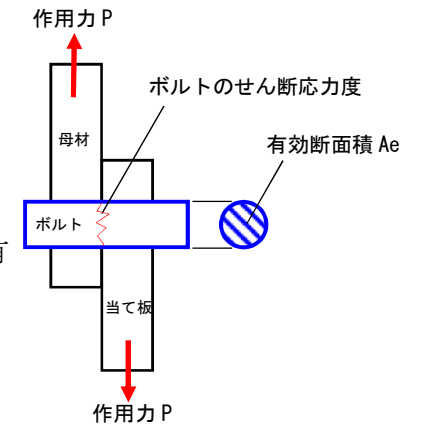
・ボルトのせん断応力度 $\tau = P(\text{kN}) / (A_e(\text{mm}^2) \times n)$

ここに、 P ：作用力・・・186(kN)

A_e ：ボルトねじ部(M20)の1本当たり有効断面面積・・・245(mm²)

n ：ボルト本数・・・6(本)

・支圧接合ボルト許容せん断応力度 $\tau_a = 150(\text{N/mm}^2)$



$$\tau = 186 \times 1000 / (245 \times 6) = 126.5 \text{ (N/mm}^2) < \tau_a = 150(\text{N/mm}^2) \therefore \text{OK}$$

3) 母材・連結板の支圧応力度の照査

・支圧応力度 $\sigma_b = P(\text{kN}) / (A_e(\text{mm}^2) \times n)$

ここに、 P ：作用力・・・186(kN)

A_e ：ボルト1本当たりの支圧有効面積で

「ねじ部外径×鋼材の厚さ」(mm²)、

ねじ部外径：21.5mm、母材厚さ：

9.3(mm)、当て板厚さ：9.0(mm)

n ：ボルト本数・・・6(本)

・許容支圧応力度 $\sigma_{ba} = 235 \text{ (N/mm}^2)$ ・・・SM400、鋼材の板厚40mm以下

・母材の支圧応力度照査

$P = 186(\text{kN})$ 、 $A_e = 21.5(\text{mm}) \times 9.3(\text{mm}) = 199.95(\text{mm}^2)$ 、 $n = 6(\text{本})$ より、

$$\sigma_b = 186 \times 1000 / (199.95 \times 6) = 155.0 \text{ (N/mm}^2) < \sigma_{ba} = 235(\text{N/mm}^2) \therefore \text{OK}$$

・当て板の支圧応力度照査

$P = 186(\text{kN})$ 、 $A_e = 21.5(\text{mm}) \times 9.0(\text{mm}) = 193.50(\text{mm}^2)$ 、 $n = 6(\text{本})$ より、

$$\sigma_b = 186 \times 1000 / (193.50 \times 6) = 160.2 \text{ (N/mm}^2) < \sigma_{ba} = 235(\text{N/mm}^2) \therefore \text{OK}$$

