

### 3. 疲労対策事例の紹介(その1)

梶原 仁

首都高速道路(株)

# 疲労対策事例の紹介（1）

首都高速道路（株）

梶原 仁

# 講演内容

- 首都高速道路の概要
- 鋼構造物の疲労損傷の発生状況
- 鋼桁の疲労損傷と対策状況（主に鈑桁）
- 鋼製橋脚の疲労損傷と対策状況
- 予防保全対策例

# 1. 首都高速道路の概要



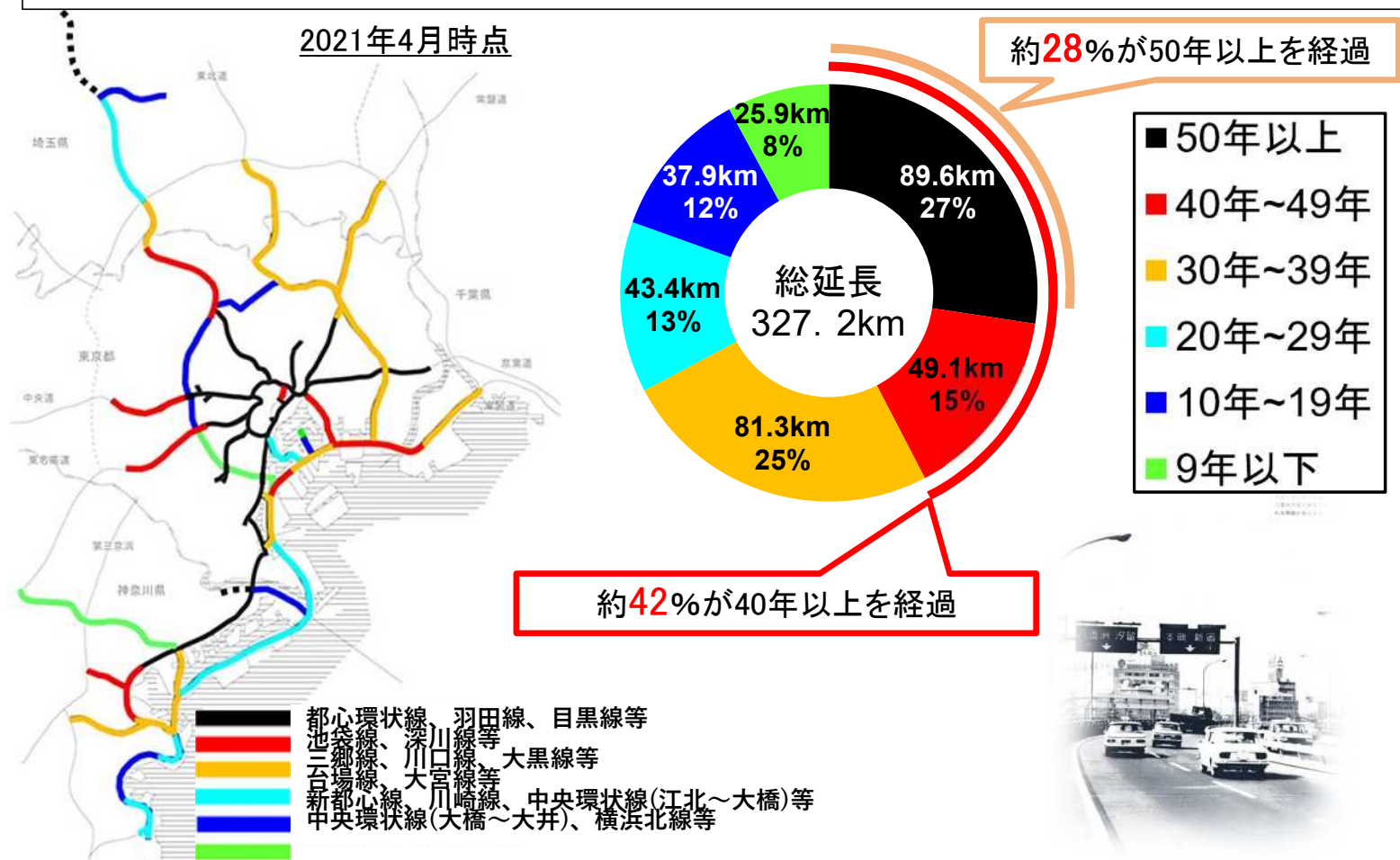
○供用開始 1962年12月  
(京橋～芝浦開通)

※2021年度現在  
路線延長 327.2km  
交通量 約100万台/日 (2019年度)

鋼桁部	63.1%
PC・RC部	11.7%
トンネル部	14.5%
半地下部	5.8%
平面土工部	4.9%

# 1.1 進行する高齢化

総延長の**327.2km**のうち、40年以上を経過している路線が全体の**約4割(約139km)**を占めている



## 1.2 鋼構造物の数量

● 鋼桁  
約9,600径間

● 鋼床版  
約1,500径間

● 鋼橋脚  
約3,000基

「桁」径間数

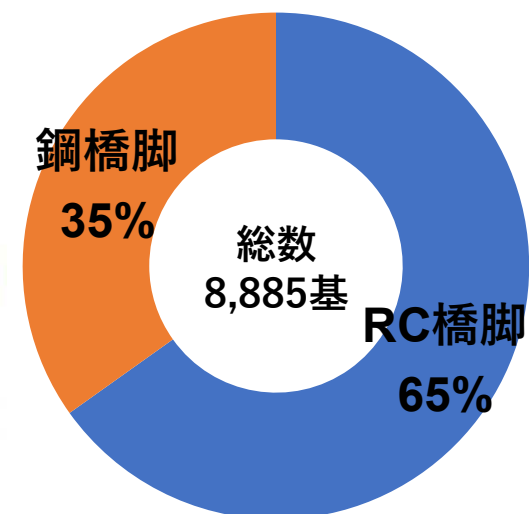
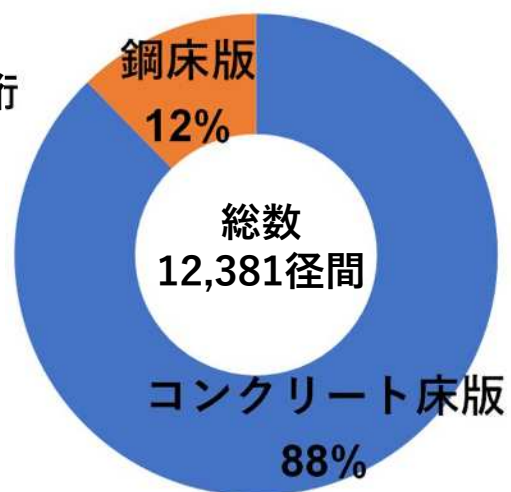
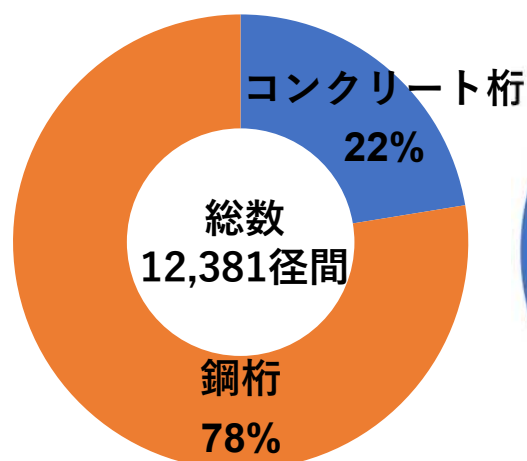
コンクリート桁	鋼桁	計
2,773	9,608	12,381
22%	78%	100%

「床版」径間数

コンクリート床版	鋼床版	計
10,836	1,545	12,381
88%	12%	100%

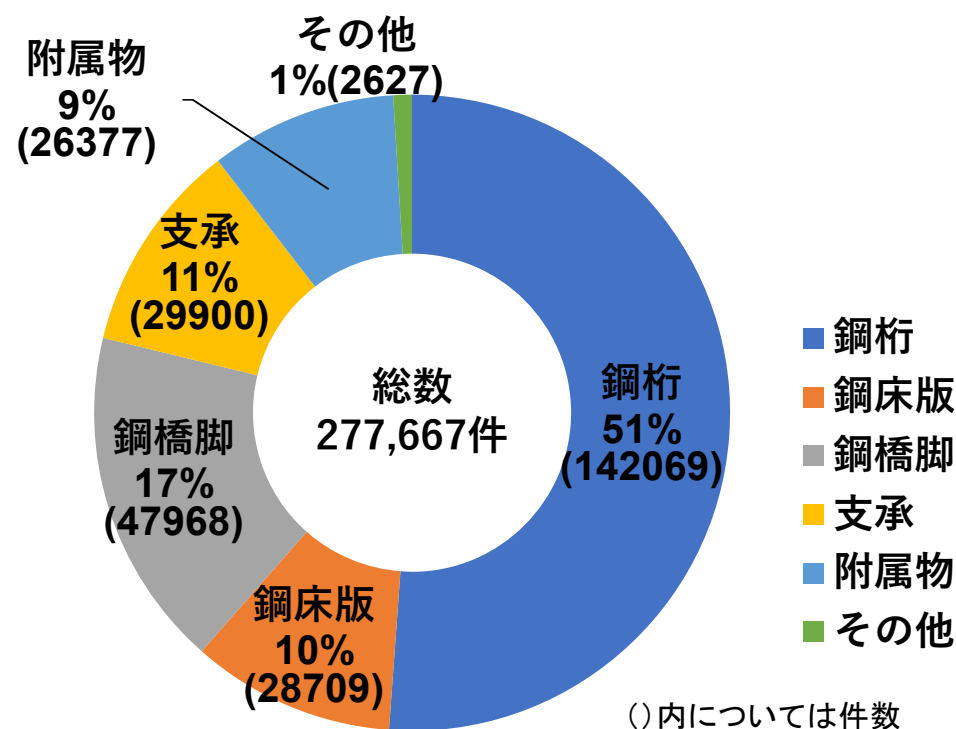
「橋脚」基数

RC橋脚	鋼橋脚	計
5,949	3,183	9,132
65%	35%	100%



## 1.3 鋼構造物の損傷割合

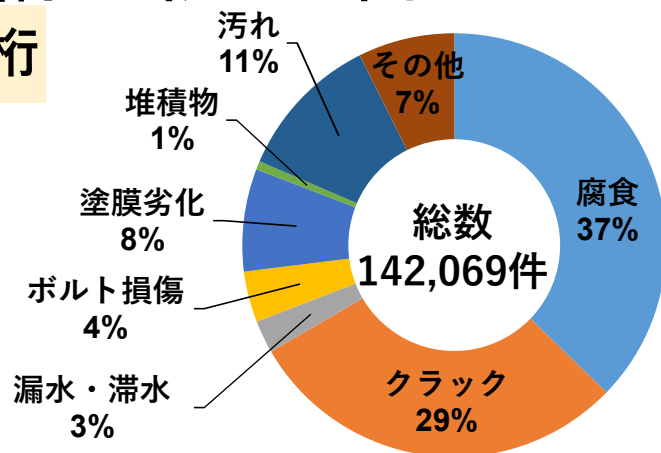
- 鋼構造物における要対応損傷発見数 **約270000件**  
 ※2001年～2020年の発見損傷数より算出  
 ※附属物損傷は「鋼桁・鋼床版・鋼橋脚」発生した損傷を含む



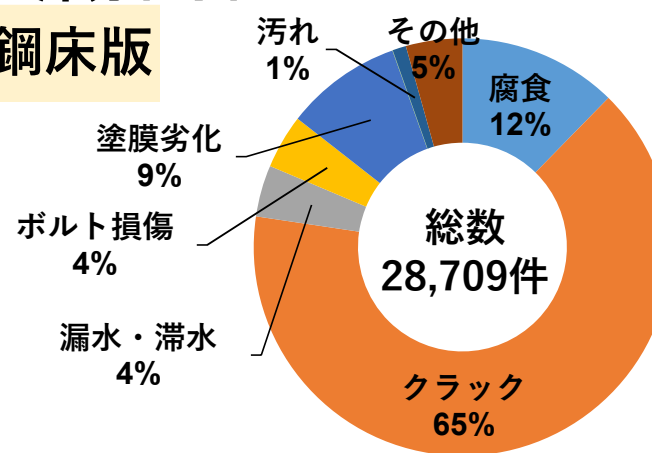
要対応損傷の構造物割合

# 1.4 鋼構造物の部位ごとの損傷割合

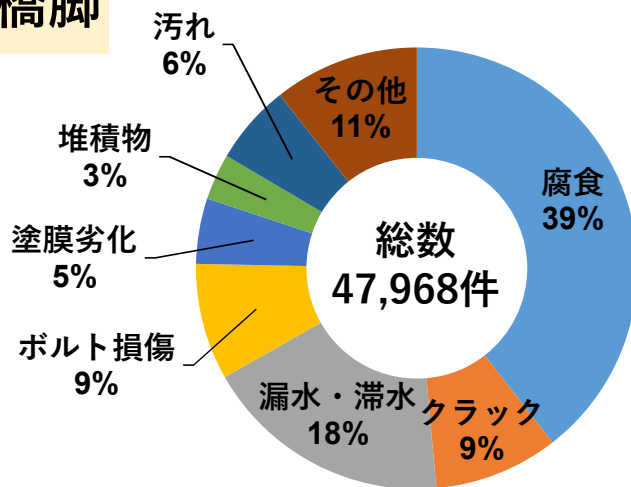
## 鋼桁



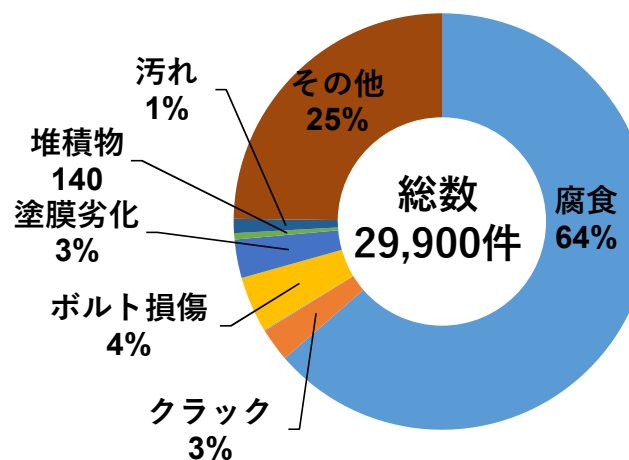
## 鋼床版



## 鋼橋脚



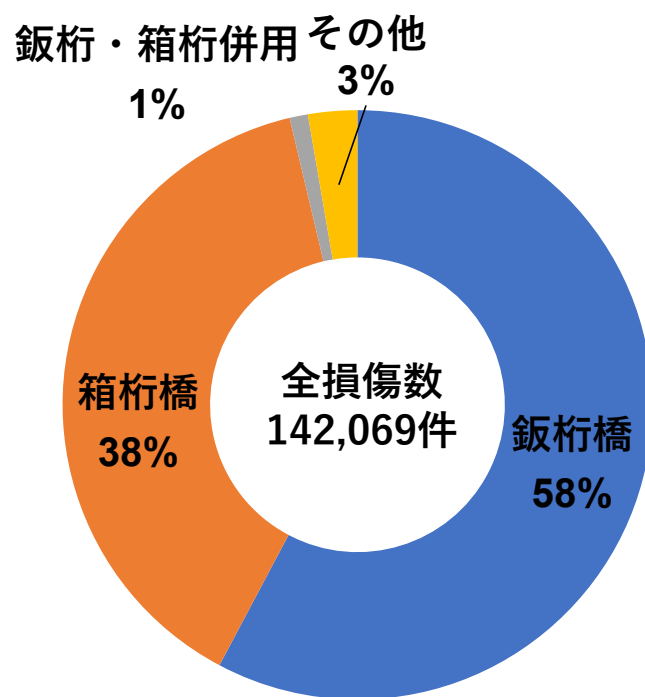
## 支承



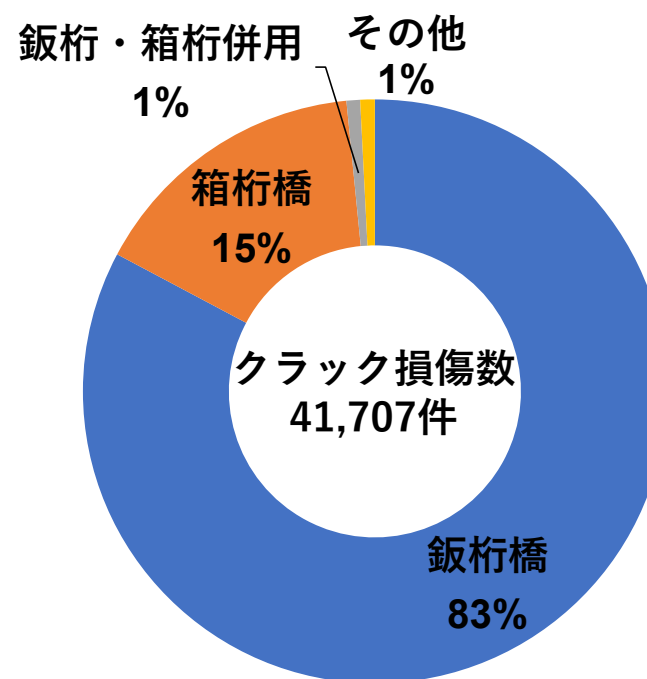


## 1.5 鋼桁・箱桁（鋼床版除く）の損傷割合

- 鋼桁損傷における、鈹桁橋と箱桁橋の損傷割合
- クラック損傷数は鋼床版箱桁を除き鈹桁が多い



全ての損傷における  
鈹桁・箱桁の割合

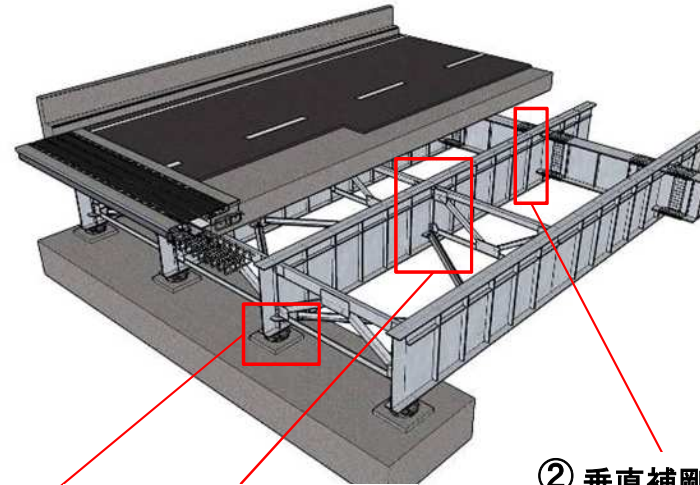
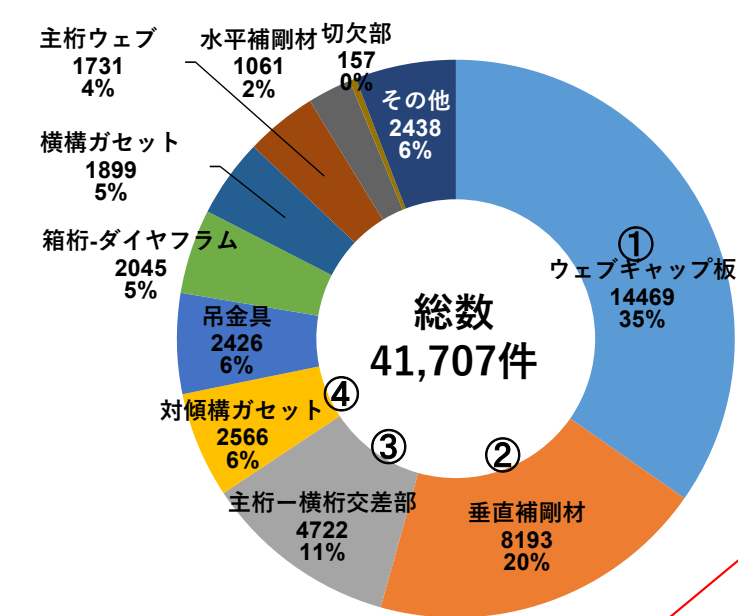


クラック損傷における  
鈹桁・箱桁の割合

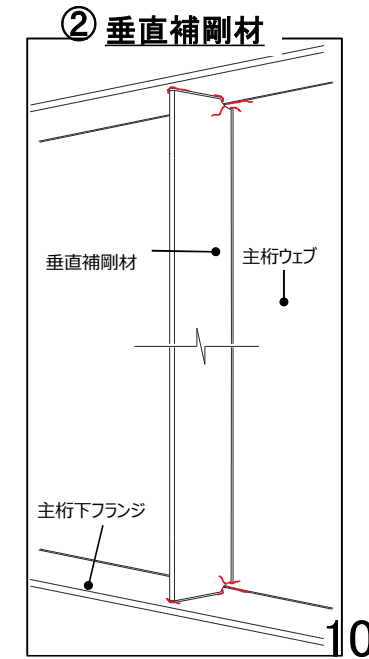
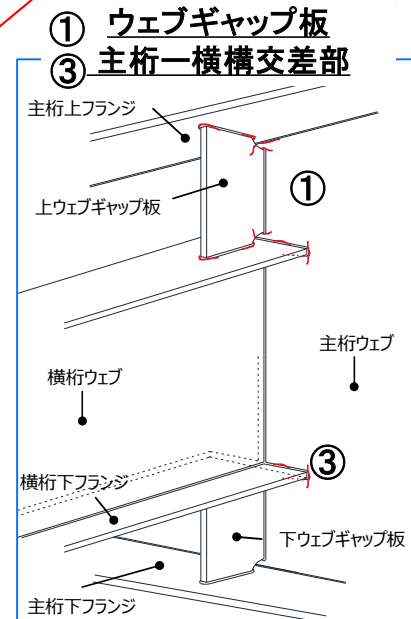
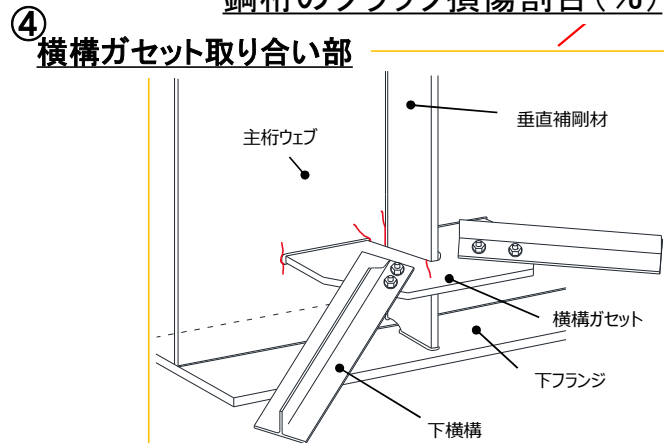
# 講演内容

- 首都高速道路の概要
- 鋼構造物の疲労損傷の発生状況
- **鋼桁の疲労損傷と対策状況（主に鈹桁）**
- 鋼製橋脚の疲労損傷と対策状況
- 予防保全対策例

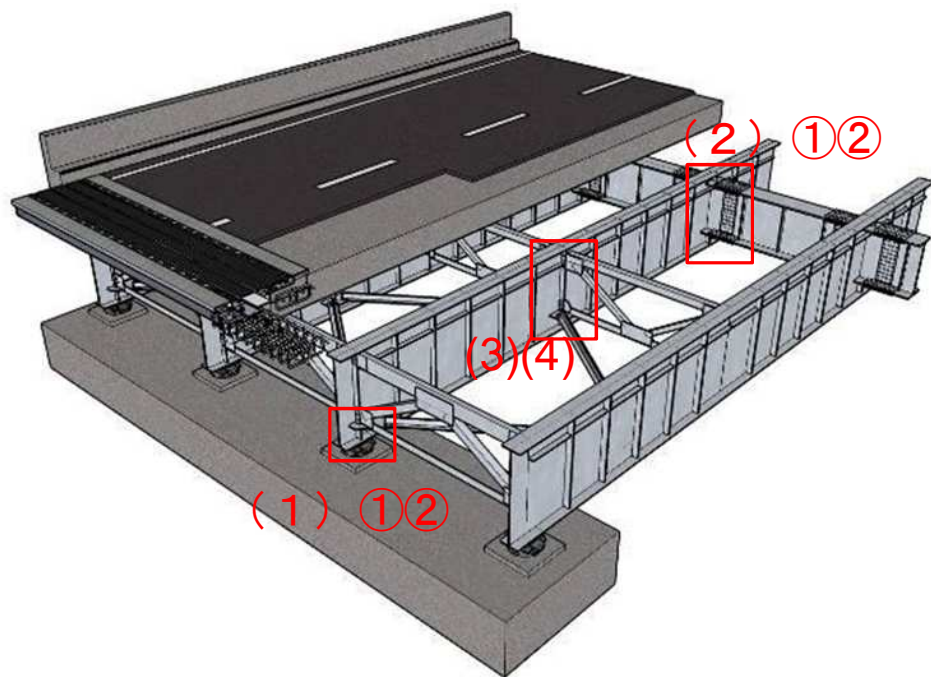
## 2. 鋼桁の疲労損傷



鋼桁のクラック損傷割合 (%)



# <鋼桁の疲労損傷の分類>



## 損傷分類

(1) 支承部付近

① ソールプレート

② 桁切欠部

(2) 主桁・横桁交差部付近

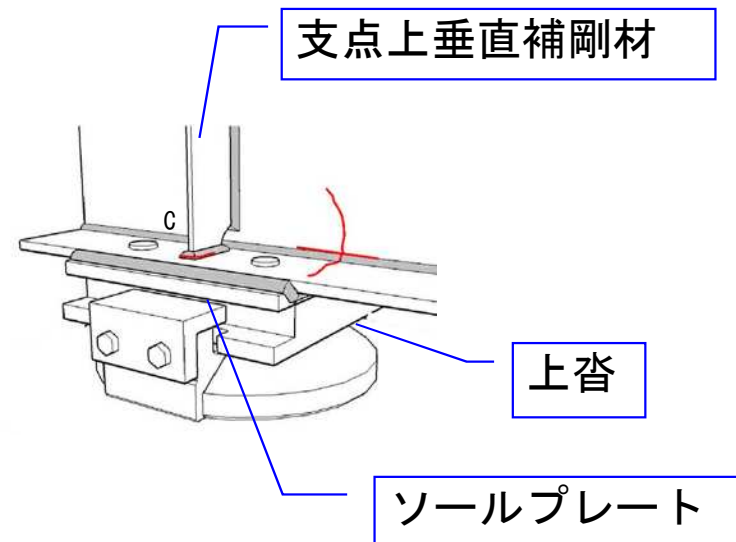
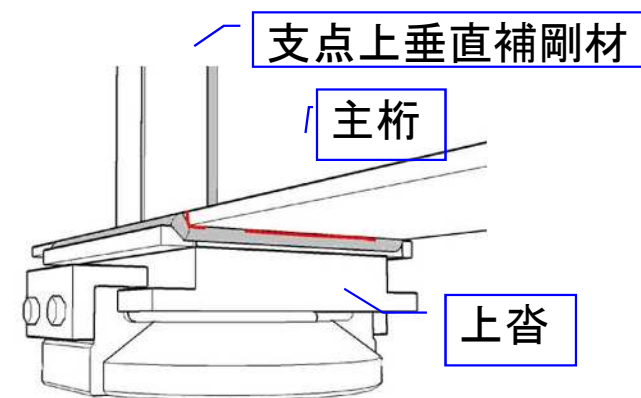
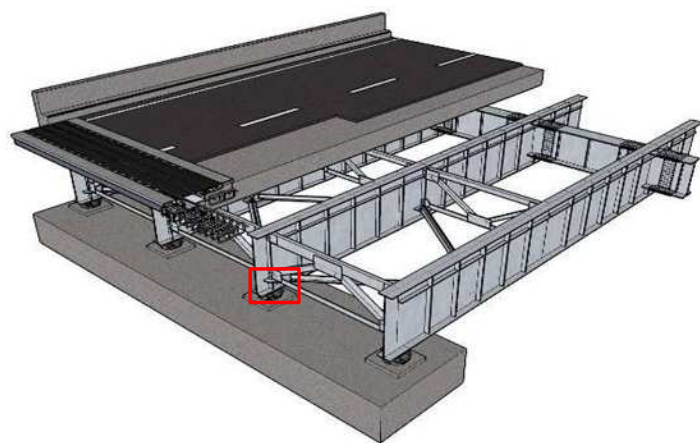
① 主桁下フランジ側横桁交差部

② ウェブギャップ

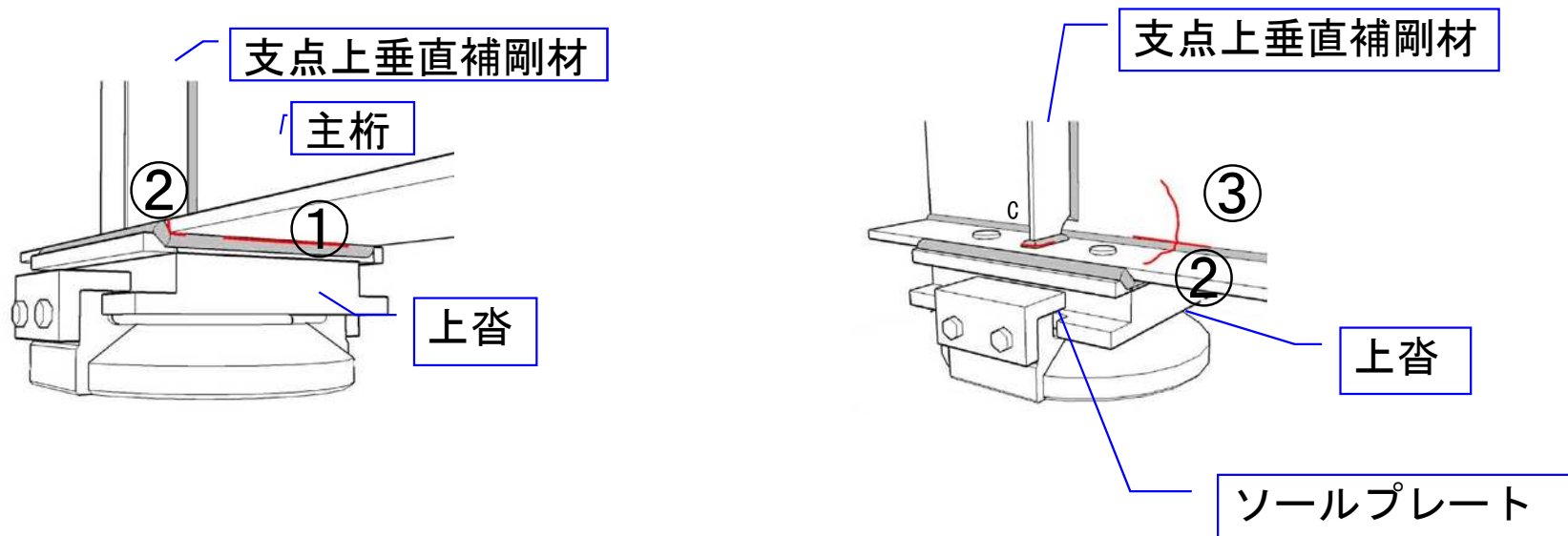
(3) 横構ガセット付近

(4) 対傾構付近

# (1) ① ソールプレートの損傷



# < き裂の進展（ソールプレート） >

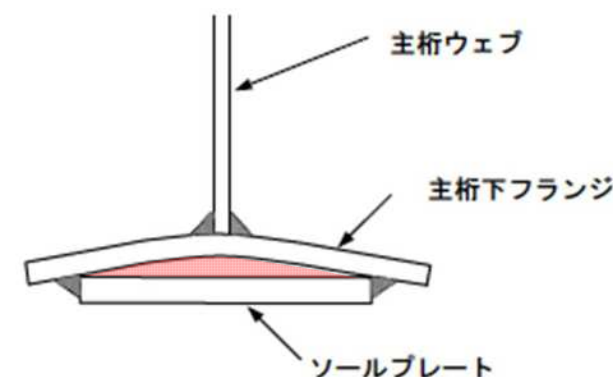


## ・ き裂の進展経路

- ① ソールプレートと主桁のすみ肉溶接部にき裂発生進展
- ② その後、下フランジをき裂が貫通
- ③ 下フランジ貫通後ウェブに進展

## < 損傷発生原因（ソールプレート） >

- ① 疲労強度の低い溶接継手である  
カバープレート溶接継手（F等級）
- ② 製作時下フランジ溶接逆ひずみの影響
- ③ 支承の機能低下による移動拘束の影響

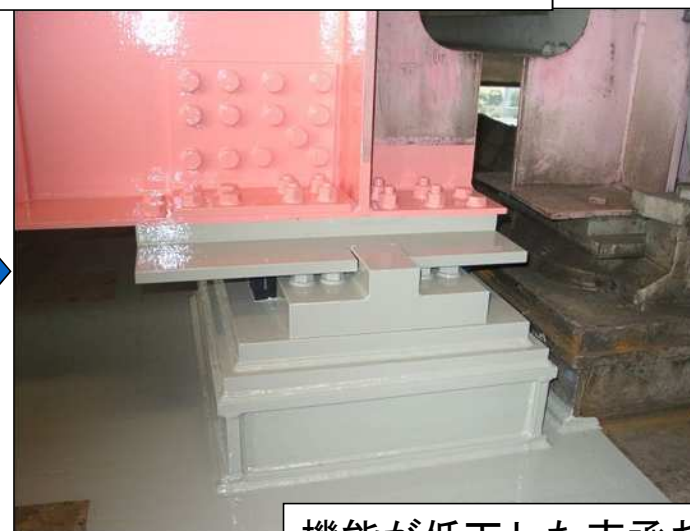


## <ソールプレートの補強>



補強前

き裂が発生した主桁ウェブと  
フランジに補強板を設置

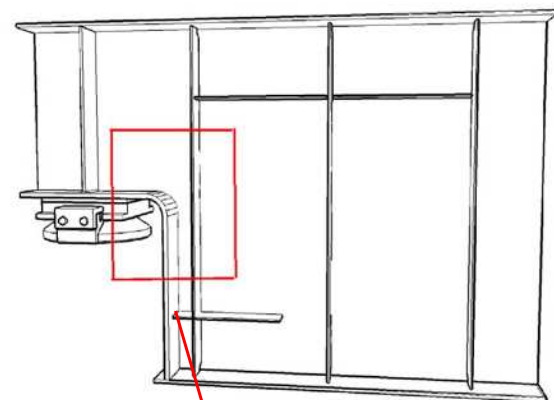
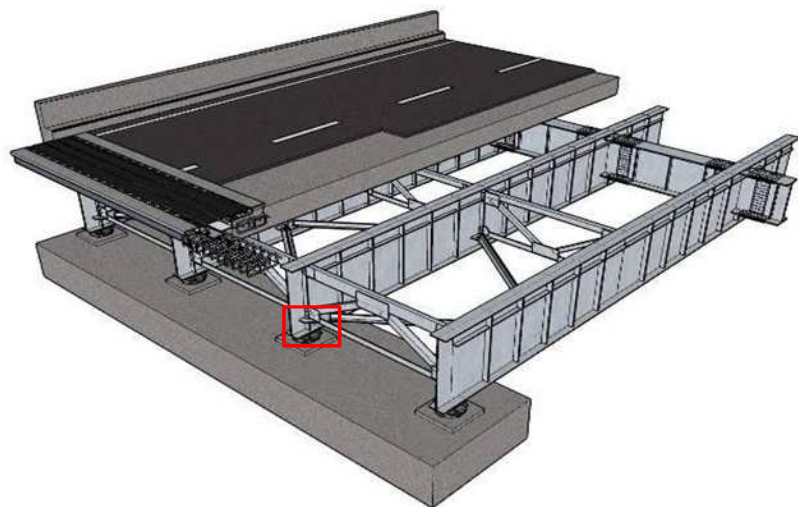


機能が低下した支承および  
ソールプレートを交換

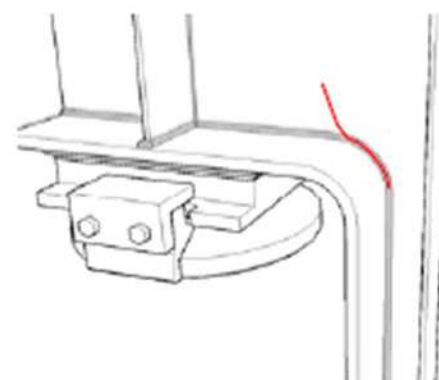
補強後



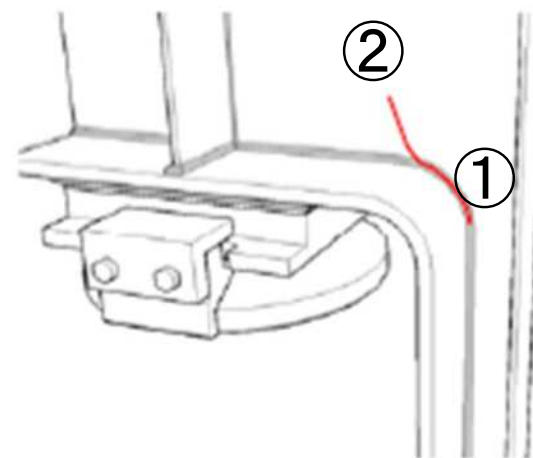
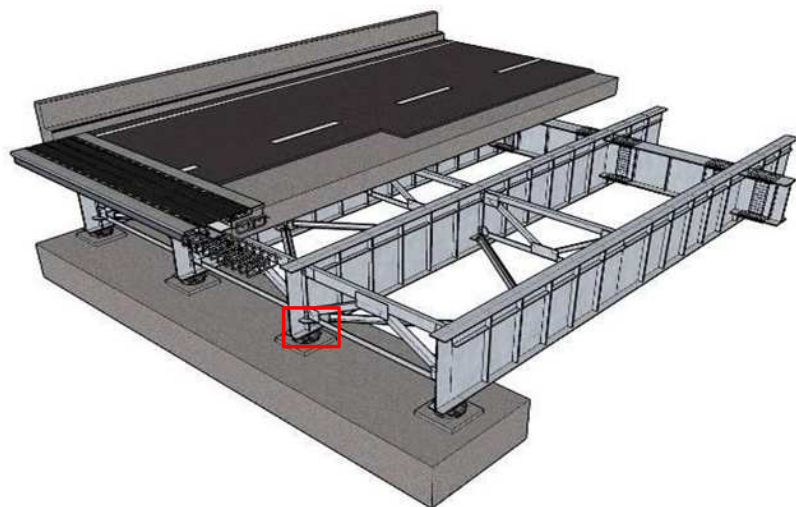
# (1) ② 桁端切欠き部の損傷



桁端切欠き部



## <き裂の進展（桁切欠き部）>

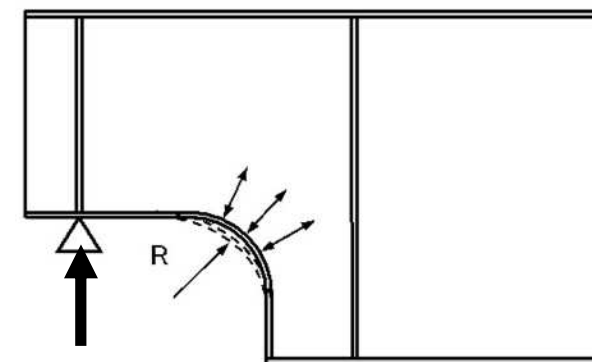
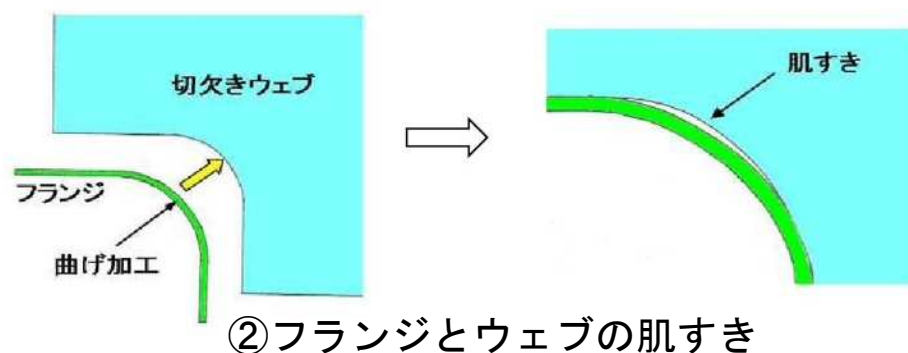


### ・き裂の進展経路

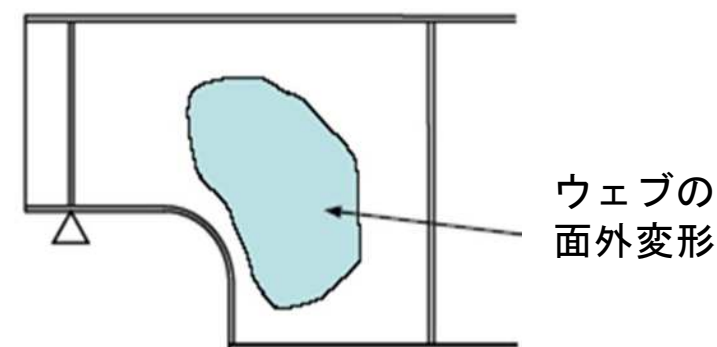
- ①切欠き部R部にき裂が発生
- ②その後、ウェブをき裂を貫通

## < 損傷発生原因（桁切欠き部） >

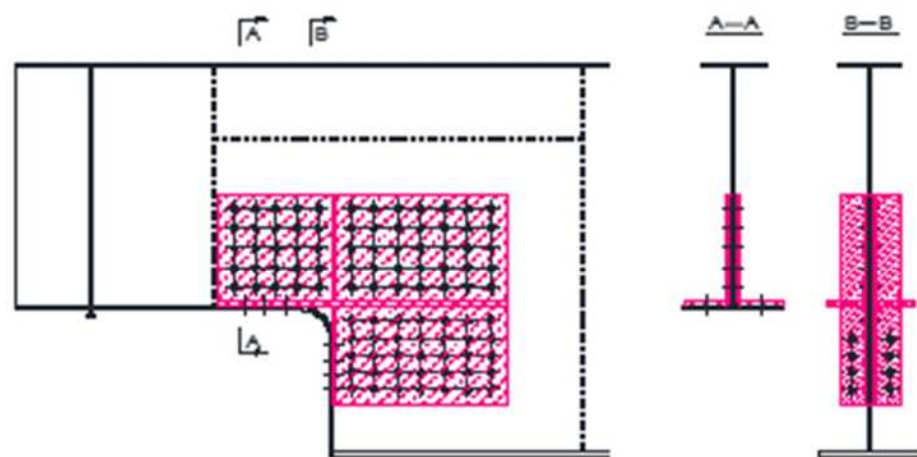
- ①切欠き部が開く挙動
- ②製作上、ウェブRとフランジにギャップ（肌すきが発生しやすい）
- ③ウェブ面のフランジ溶接によるひずみによる面外曲げの発生



活荷重により切欠きR部が内側に変形（点線部）



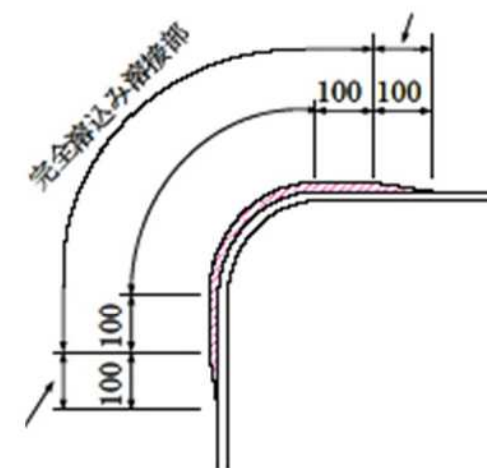
# <桁切欠き部の補強>



当て板補強

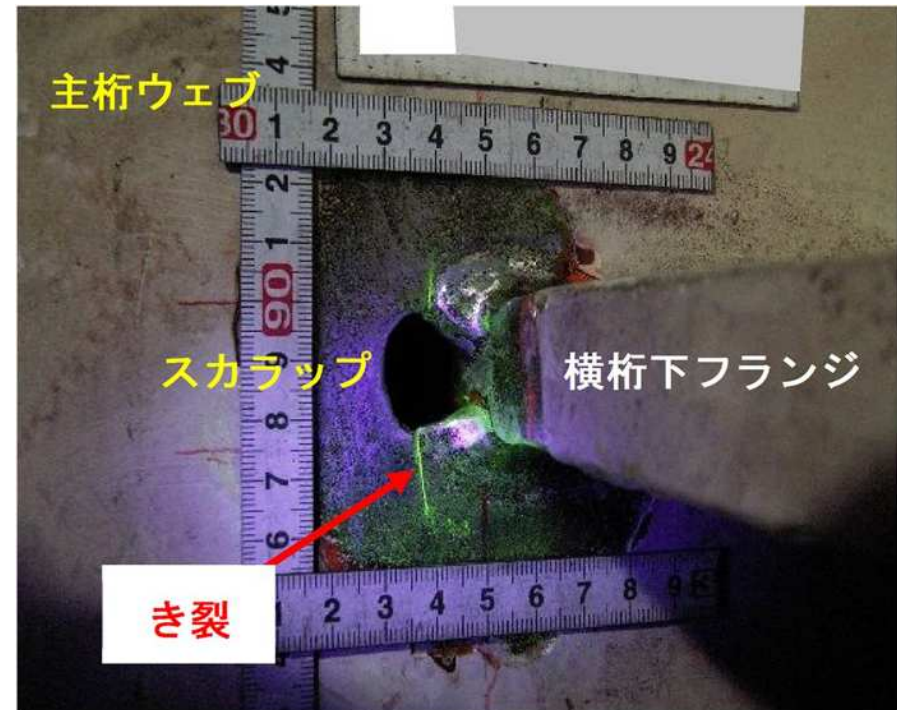
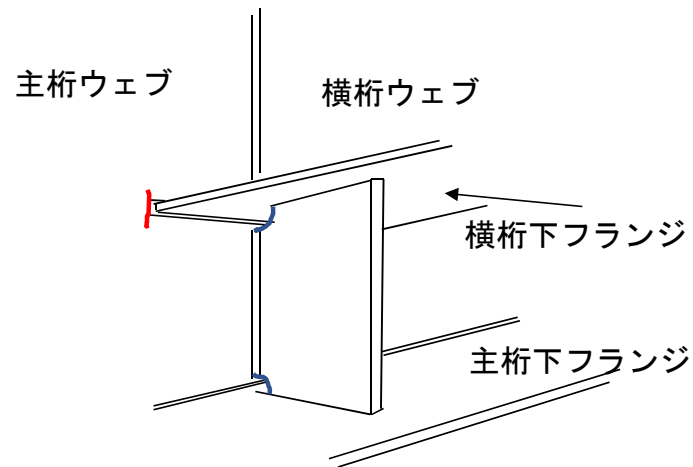
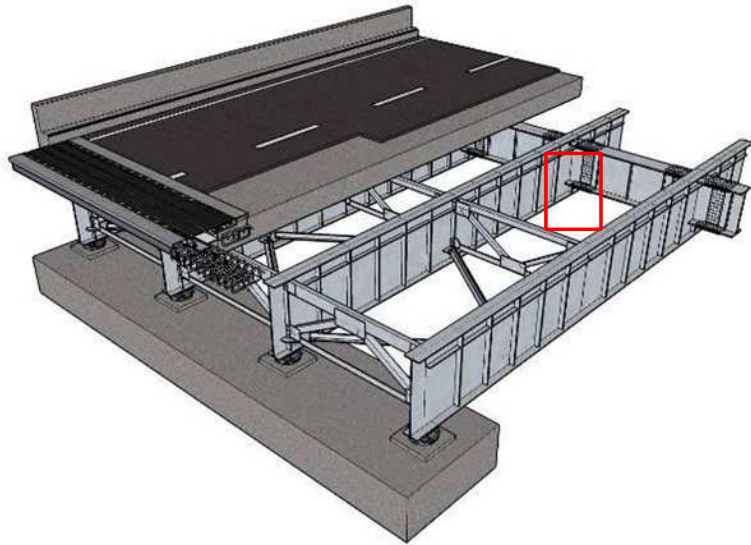


開先遷移区間

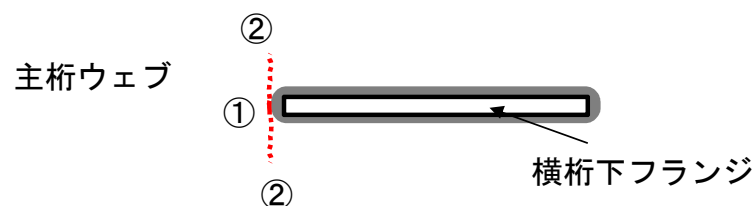
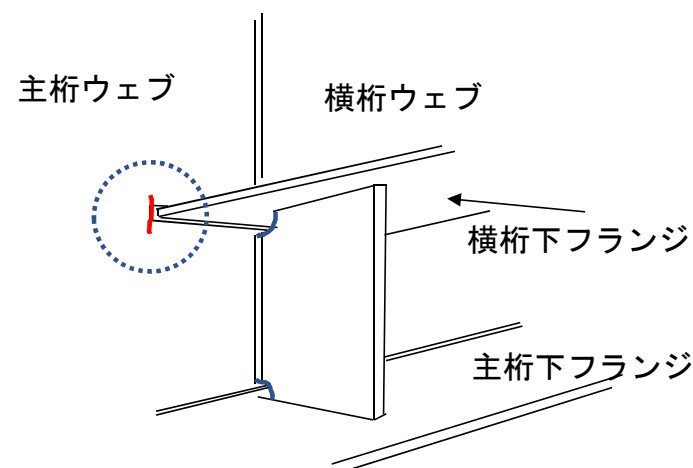
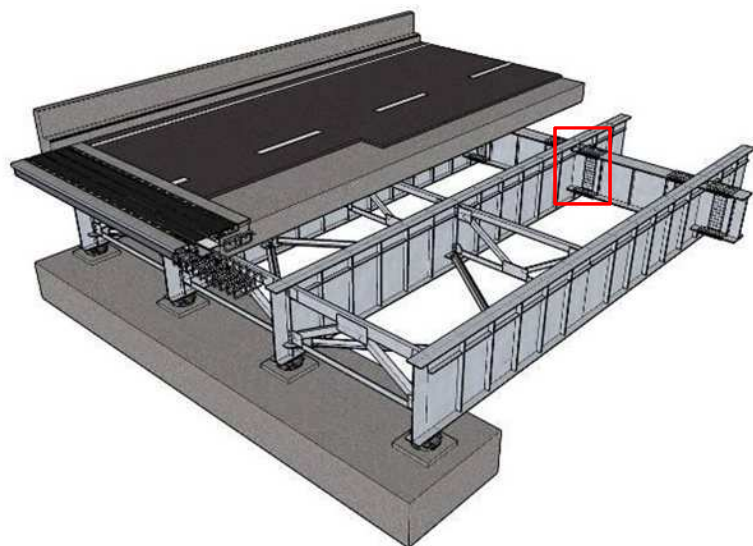


R部溶接補修  
(完全溶込み溶接)

## (2) ①主桁・横桁交差部付近（横桁下フランジ側交差部）



# <き裂の進展（横桁下フランジ側交差部）>



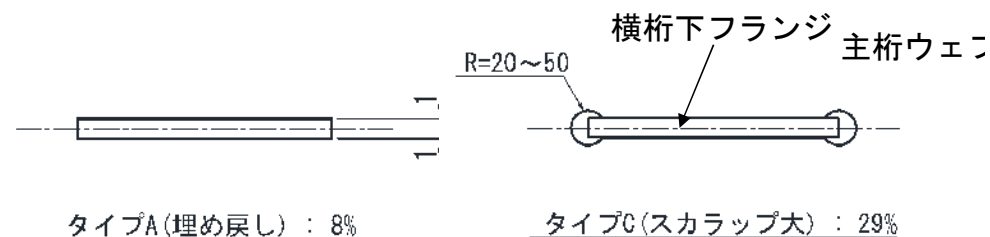
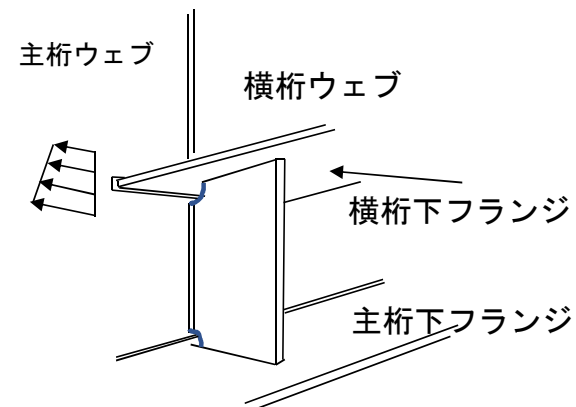
## ・き裂の進展経路

- ①主桁・横桁交差部横桁下フランジコバ部の廻し溶接部にき裂発生
- ②その後、主桁ウェブ母材方向へ進展

# ＜損傷発生原因（主桁下フランジ側横桁交差部）＞

- ① 主桁系の曲げ応力により発生
- ② 主桁に横桁フランジを貫通させるためのスリットを設けた構造であり、製作時の溶接欠陥が生じやすい（発生起点となりうる）構造

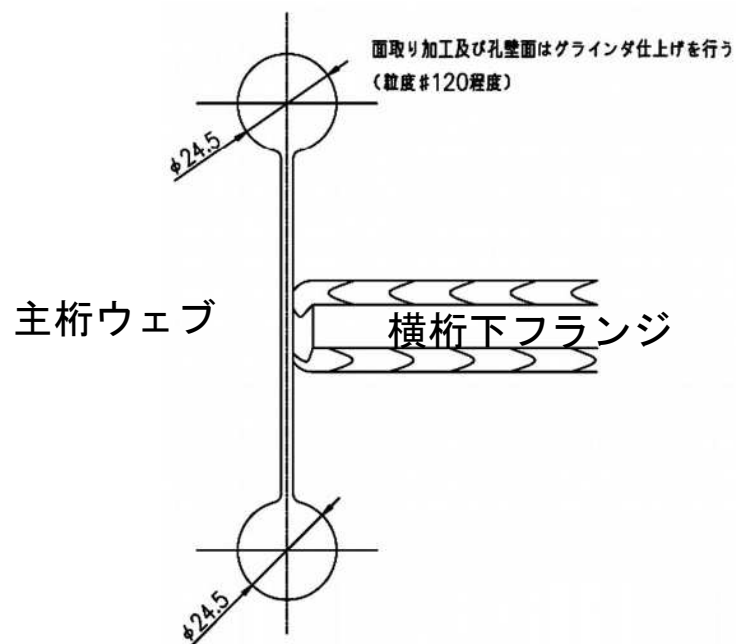
主桁ウェブき裂進展後、脆性破壊を起こす可能性のあるき裂



# ＜横桁下フランジ側交差部の補強＞

## き裂先端部の応力集中緩和

スリット加工



主桁ウェブに貫通孔施工後、セーバーソーにてスリット加工

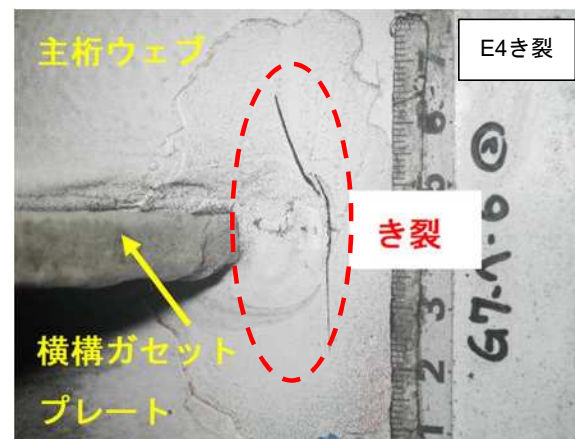
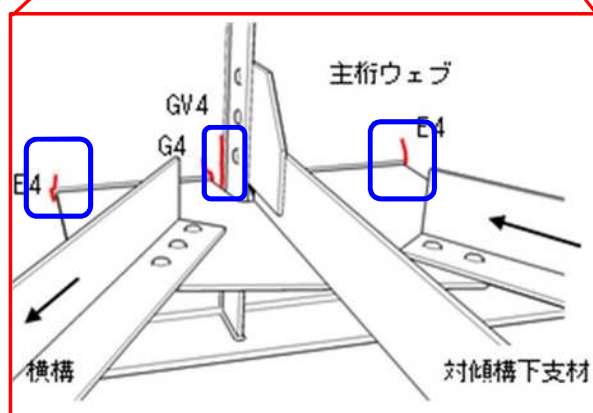
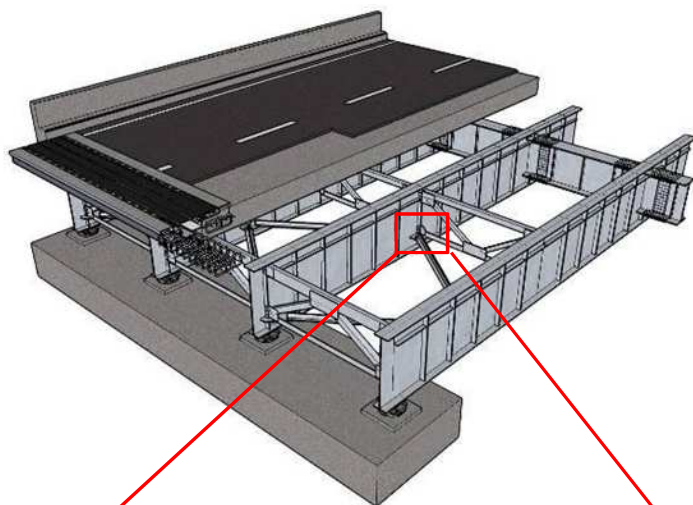
## 当て板補強



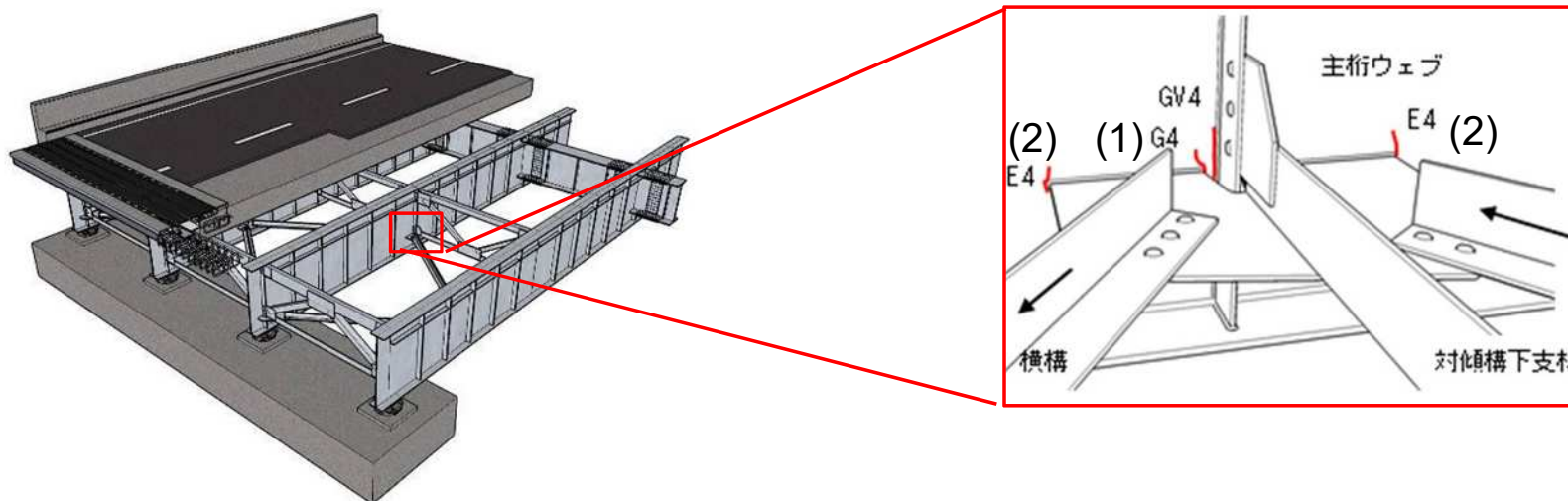
主桁ウェブに平板による当て板補強



### (3) 主桁-下横構ガセット付近の損傷



# <き裂の進展（下横構ガセット）>



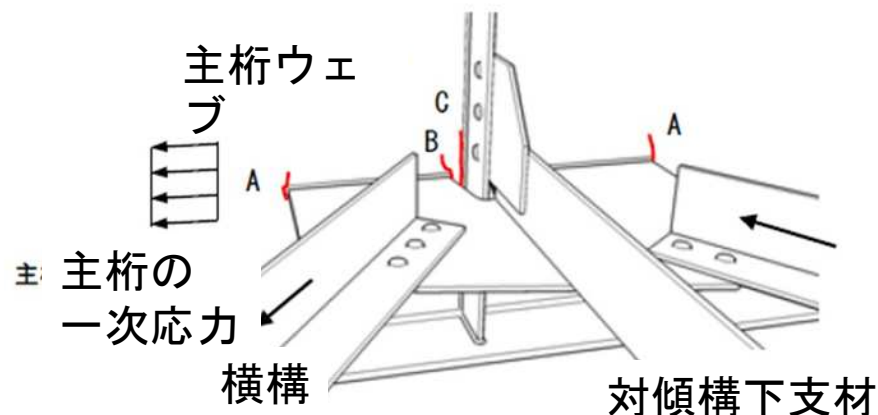
## (1) ガセットスカラップ付近

- ①ガセットに設置されたスカラップ廻し溶接部からき裂が進展
- ②その後、主桁ウェブ方向へ進展

## (2) ガセット端部付近

- ①ガセット端部の廻し溶接部よりき裂が進展
- ②その後、主桁ウェブ方向へ進展

## < 損傷発生原因（下横構ガセット） >

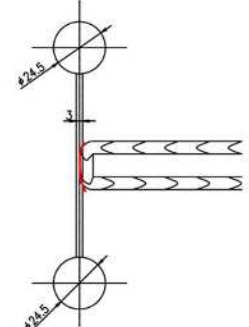



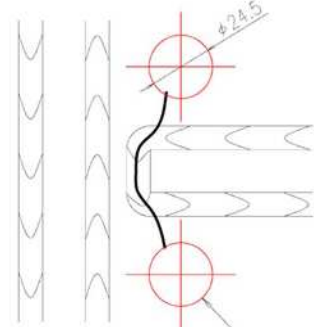
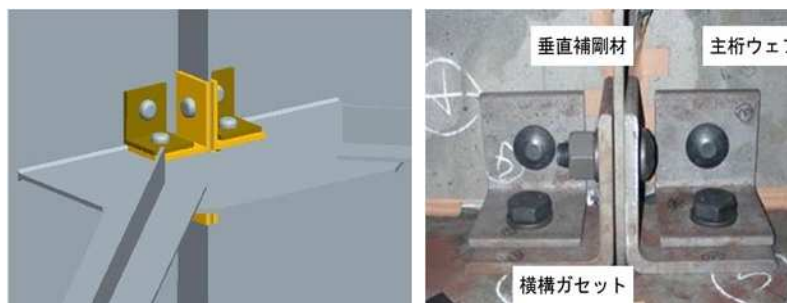
- 活荷重による主桁の曲げ応力（主桁の1次応力）（A）
- 活荷重の载荷によって発生する主桁間の相対変位により横構に部材力が繰返し発生。この部材力により、
  - ①主桁ウェブ面外方向の変形挙動
  - ②垂直補剛材を中心としたガセットの回転変形挙動が発生し溶接部に局所変形による応力集中が発生
  - ③スカラップと垂直補剛材の間の主桁ウェブが板曲げ変形（B, C）

# <下横構ガセットの補修・補強>

応急対策

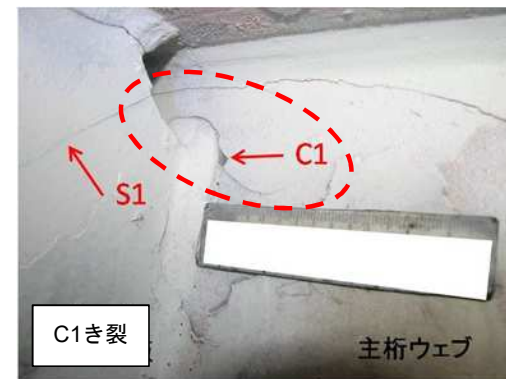
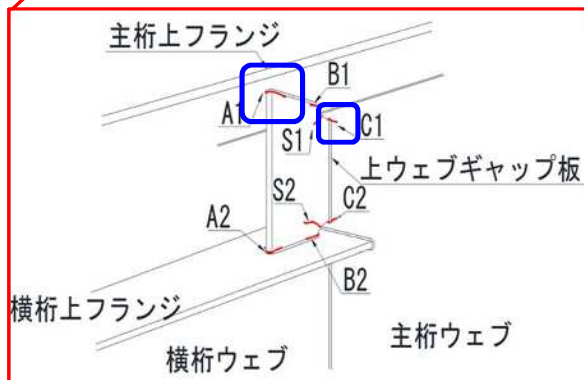
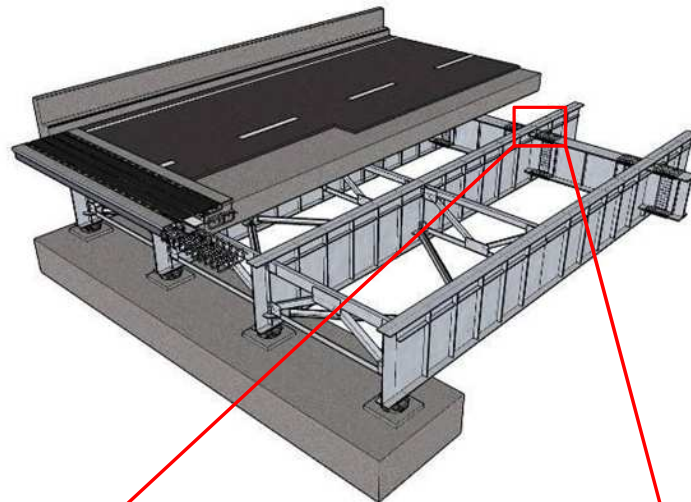
恒久対策

 <p>スリット加工 (E4 (長いき裂) を対象※)</p>	 <p>当板補強 (平鋼)</p>
--	--

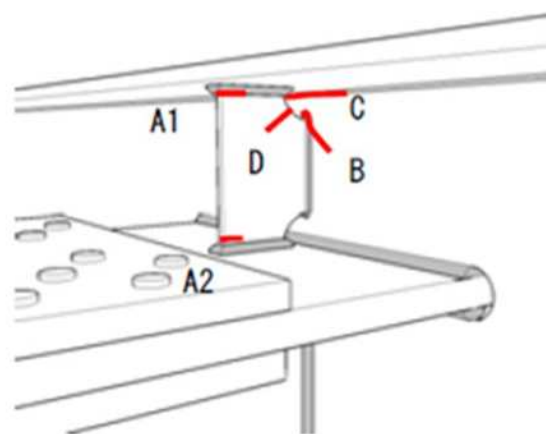
 <p>SH施工 (G4対象)</p>	 <p>当板補強 (山形鋼)</p>
---	--

※止端部付近のき裂深さが小さい場合はUITによる補修を実施 (当て板補強実施せず)

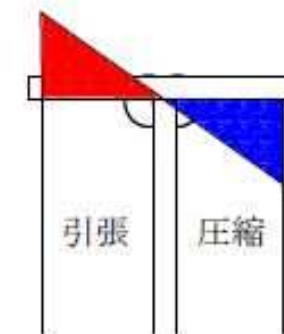
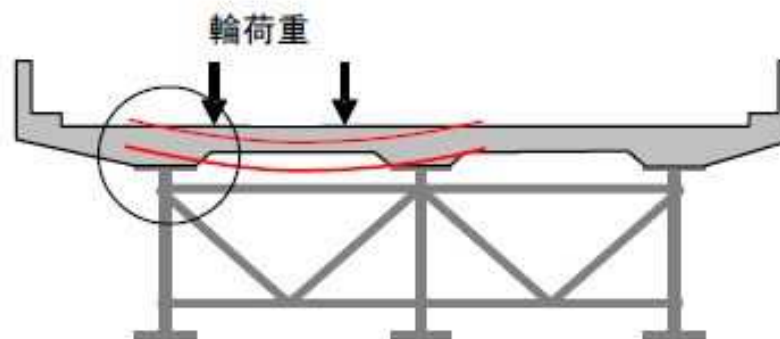
## (2) ② 主桁・横桁交差部付近の損傷（ウェブギャップ）



# < 損傷発生原因（ウェブギャップ部） >



(a) 上フランジ側

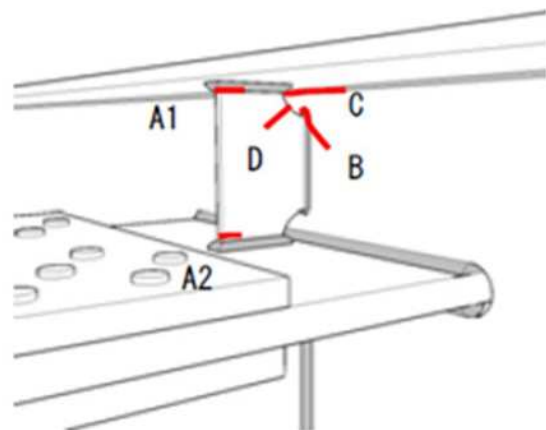


○床版たわみにより発生する応力に起因(A1)(B)(C)

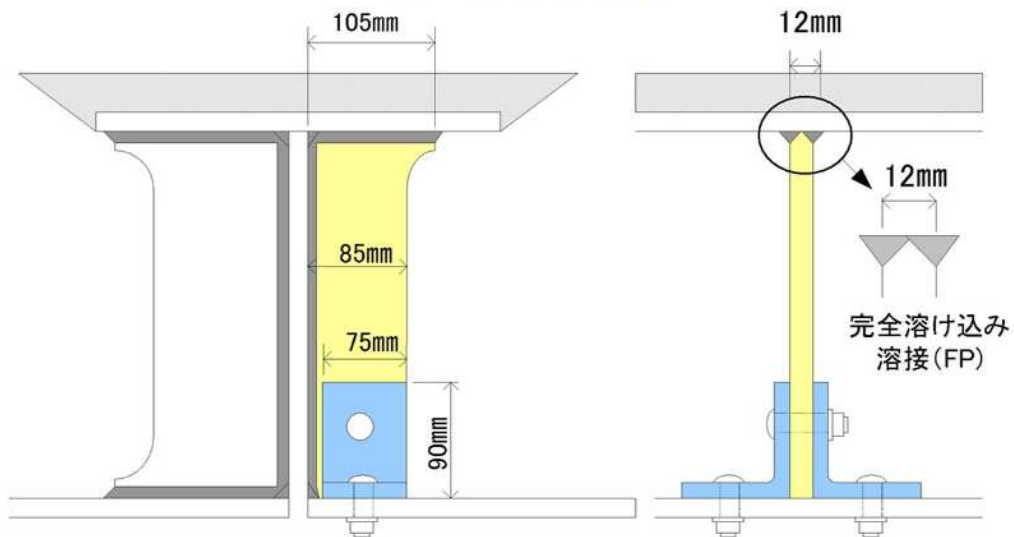
※(A1)と(B, C)の同時発生もある

○主桁間の相対的なたわみ差により発生する応力に起因(A2)(D)

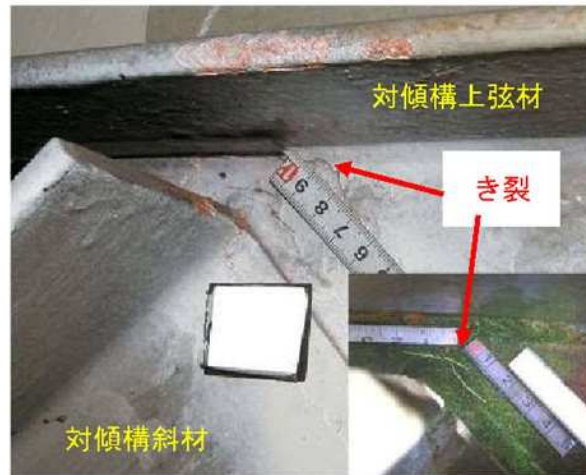
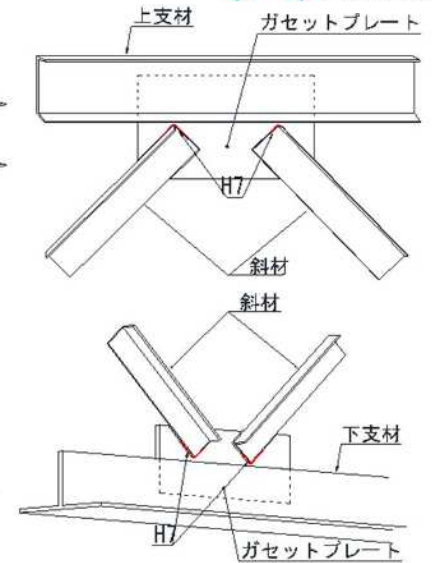
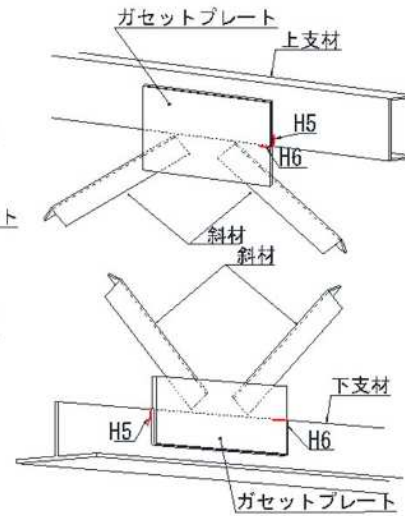
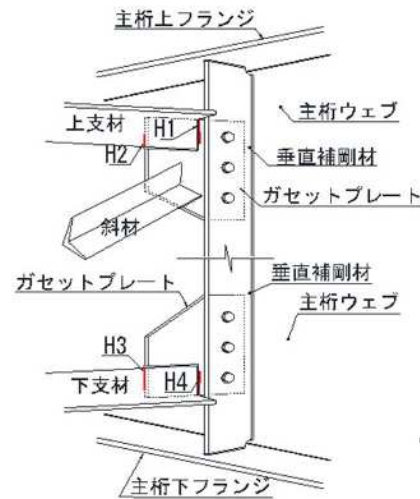
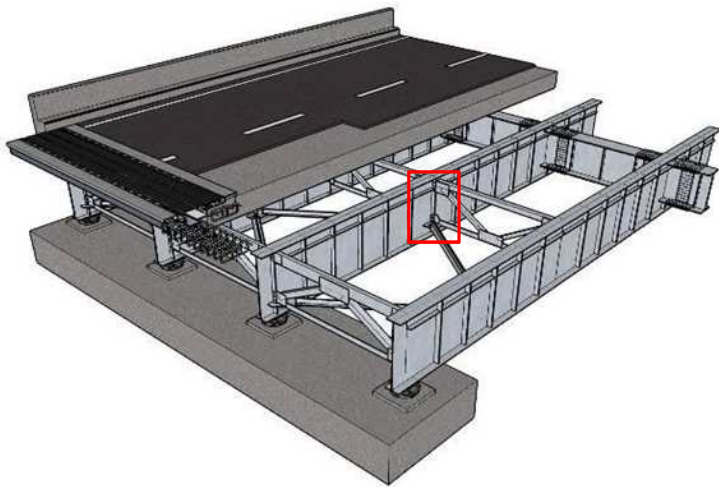
# <ウェブギャップ部の補強>



(a) 上フランジ側



# (4) 対傾構付近



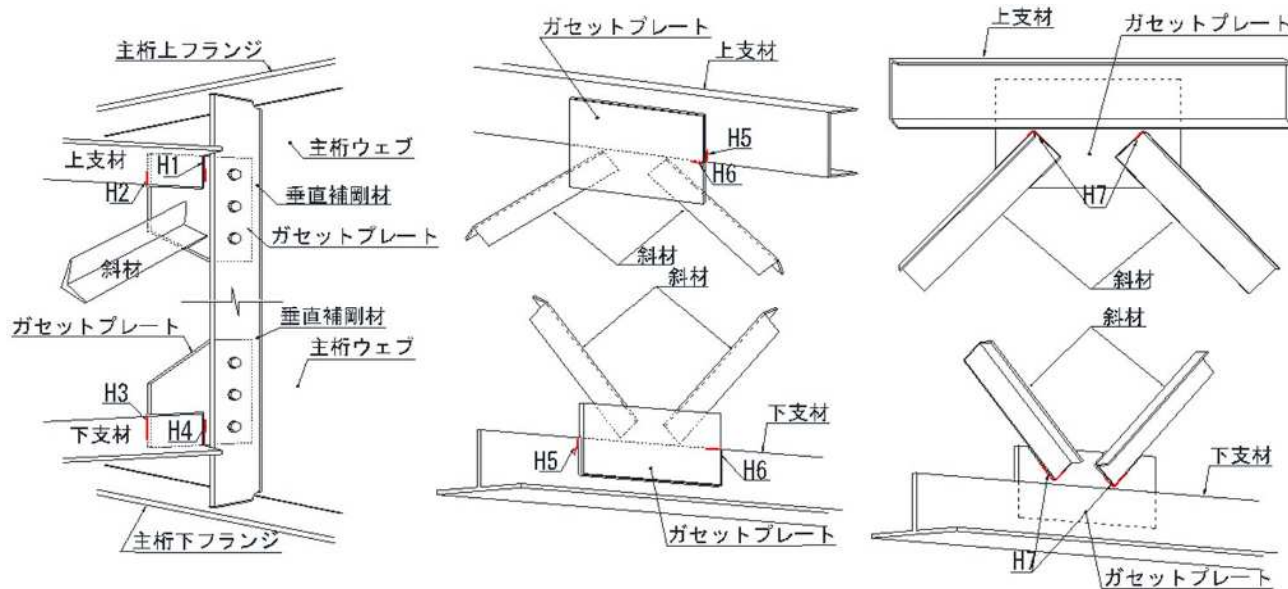
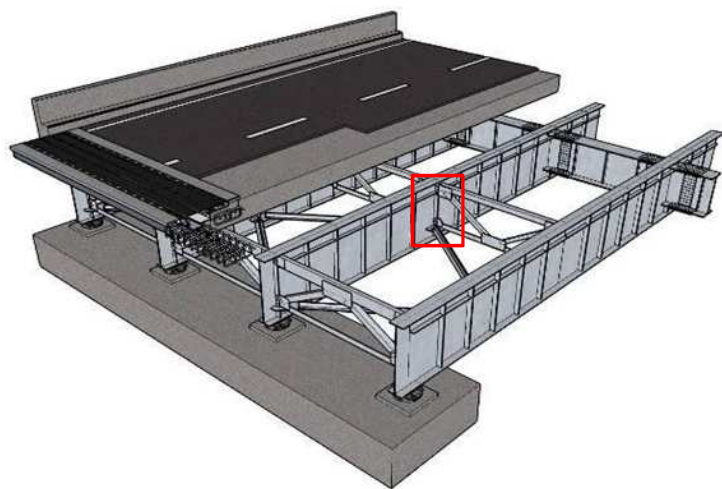
(a)H7 き裂



(b)H4 き裂

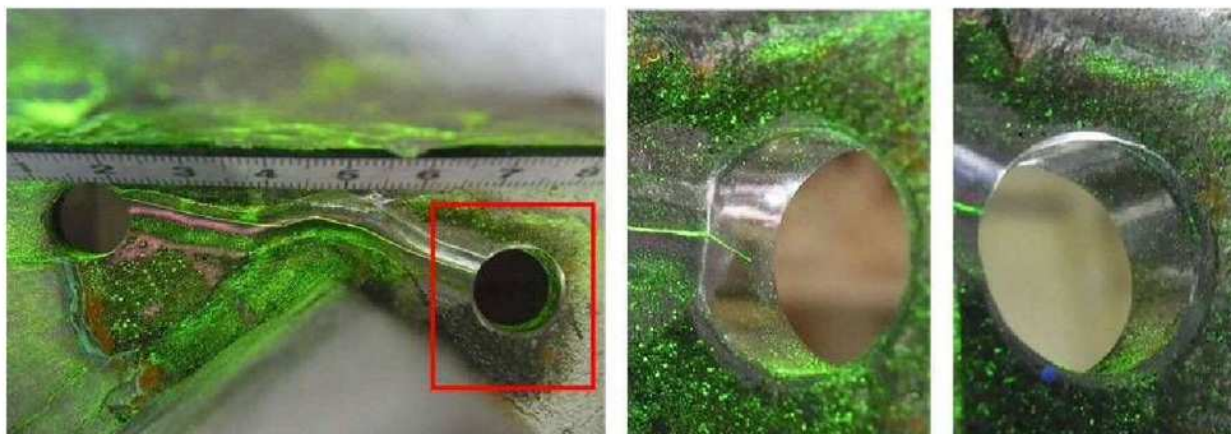
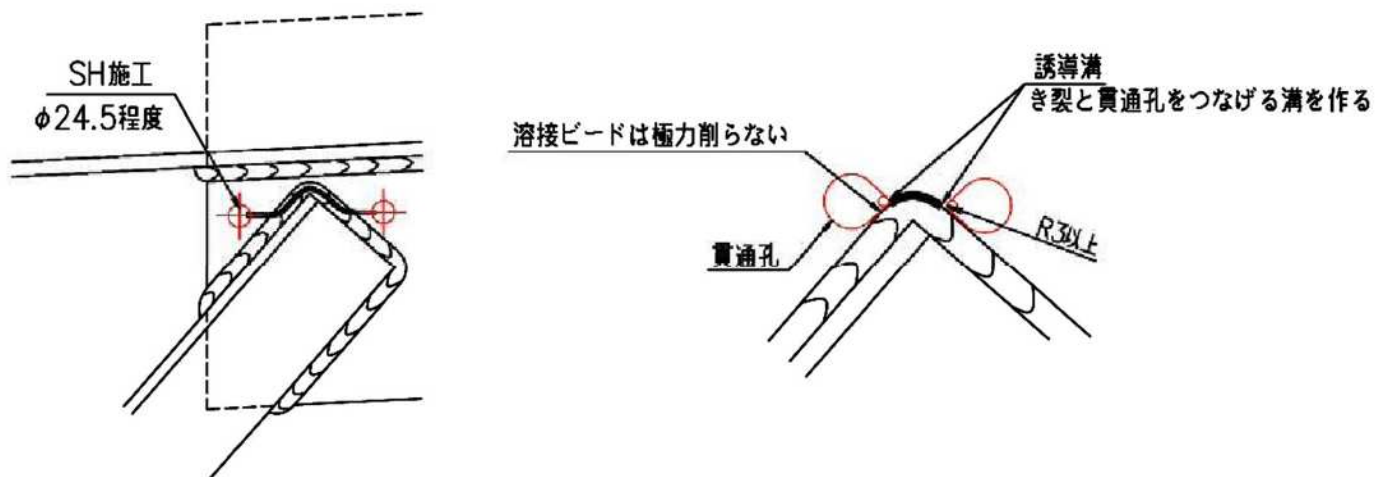


# < 疲労損傷発生原因（対傾構） >

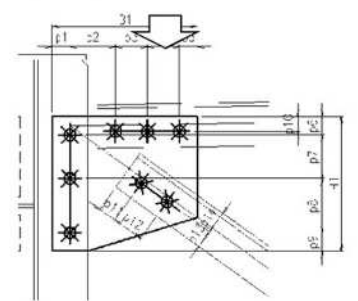
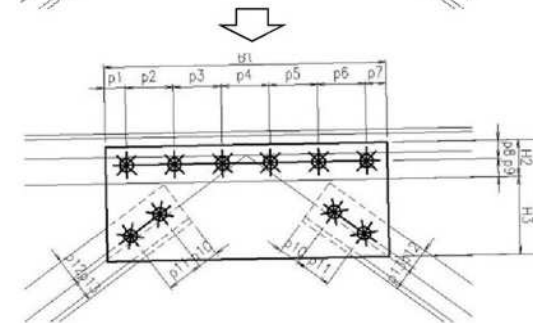
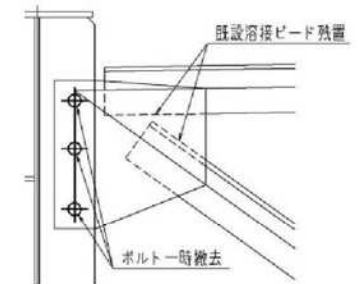
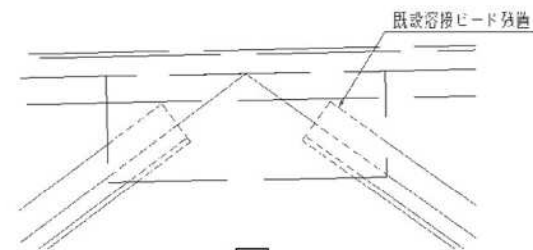


設計時に荷重を分配しないと仮定されているものの実際は荷重が伝達されており、主桁のたわみ差による曲げモーメントとせん断力が作用していることに起因し、損傷が発生

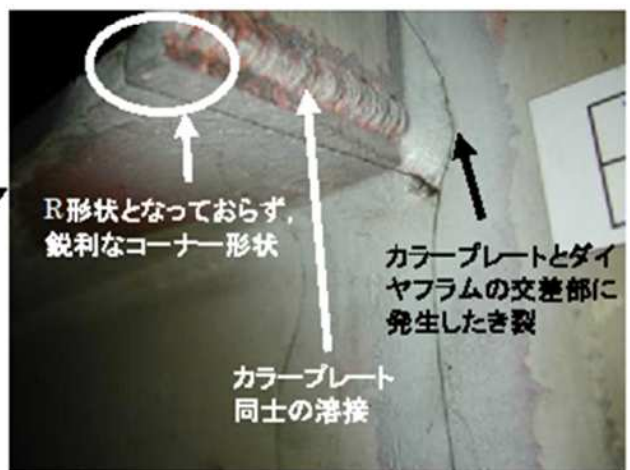
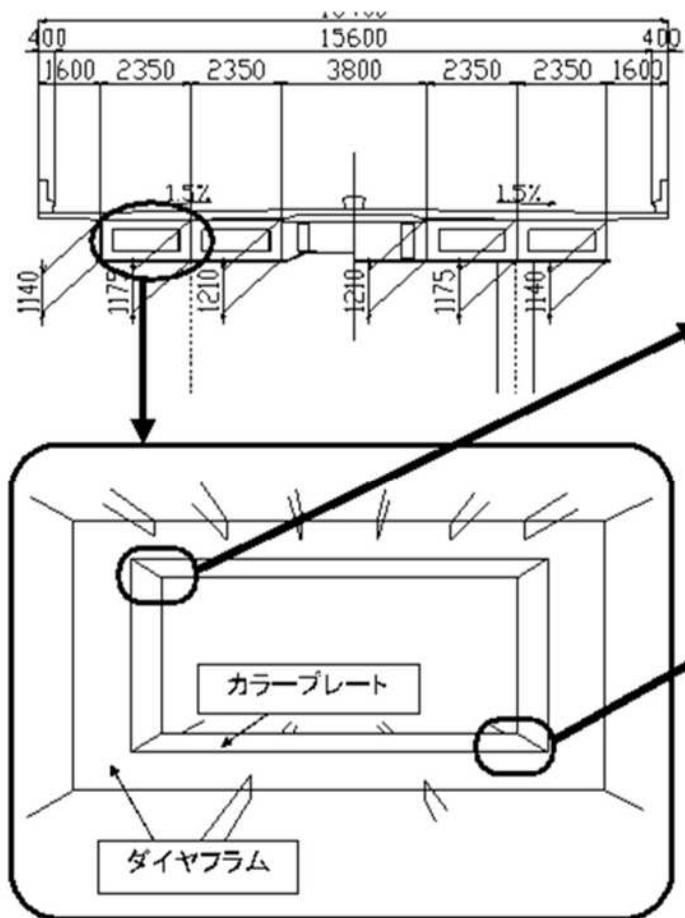
# ＜対傾構の補修（母材進展）＞



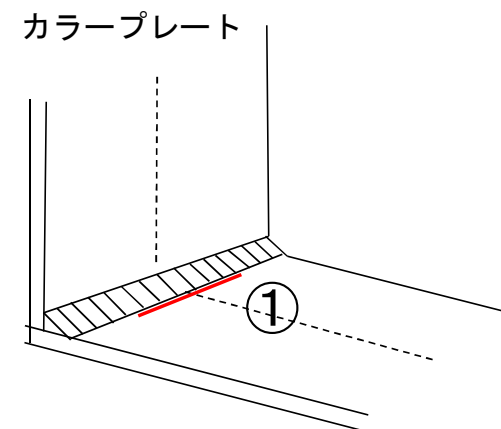
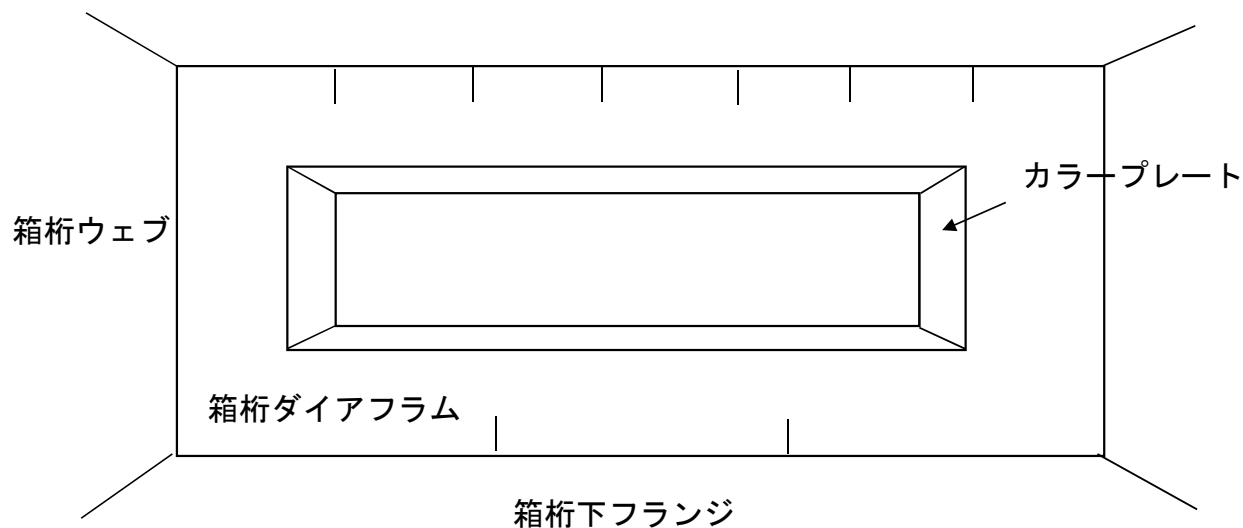
# < 対傾構の補修（非母材進展） >



# 箱桁（特殊構造）の疲労損傷の一例（ダイヤフラム）

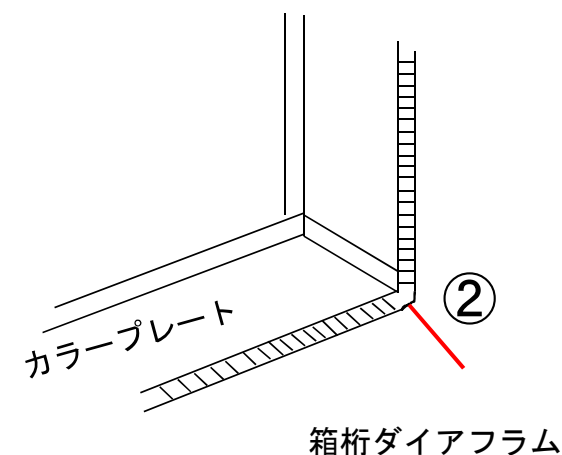


# <き裂の進展（箱桁ダイヤフラム）>

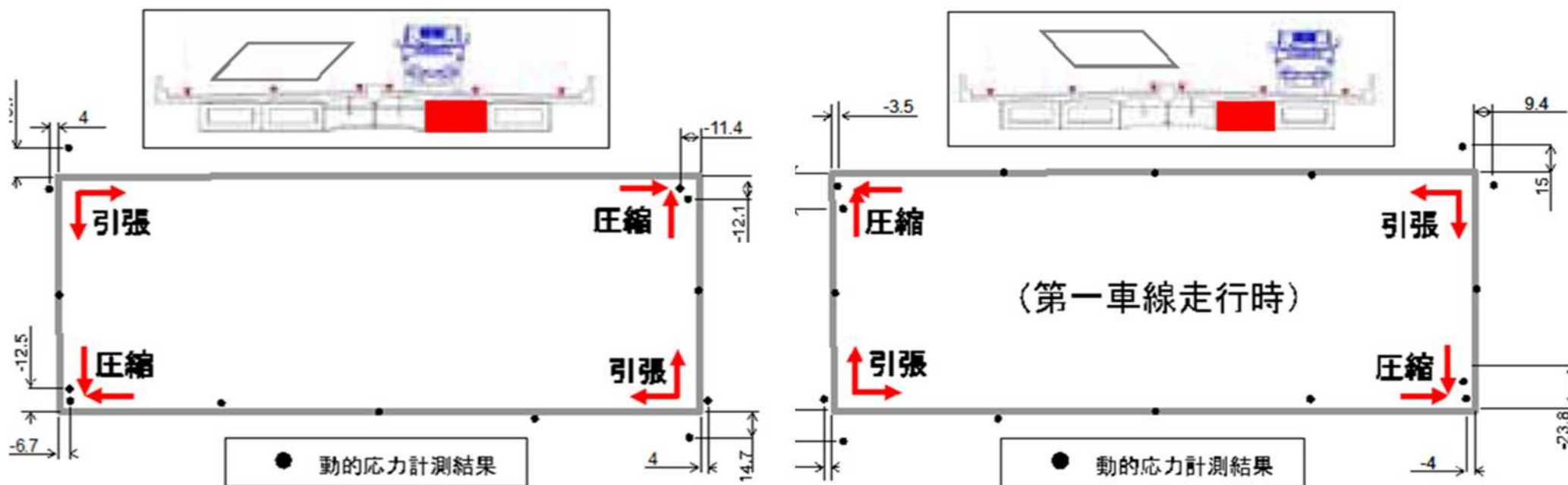


## ・き裂の進展経路

- ①ダイヤフラムカラープレート溶接部よりき裂が進展
- ②ダイヤフラムコーナー部の不完全溶込部よりき裂が発生し、ダイヤフラム母材に進展

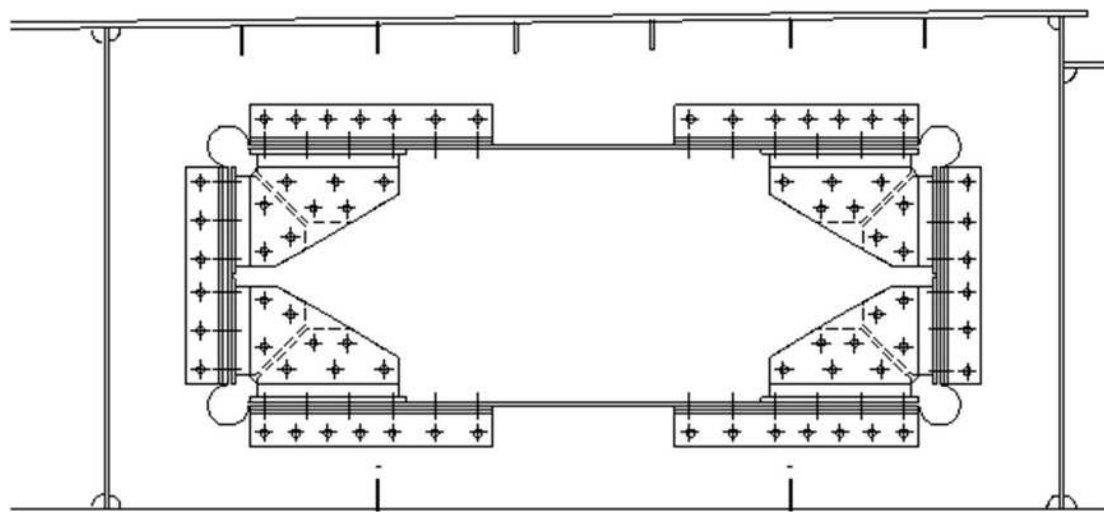


# ＜疲労損傷発生原因（箱桁ダイアフラム）＞



ダイアフラム開口部がせん断変形するような挙動により損傷が発生

## <箱桁ダイヤフレームの補強>

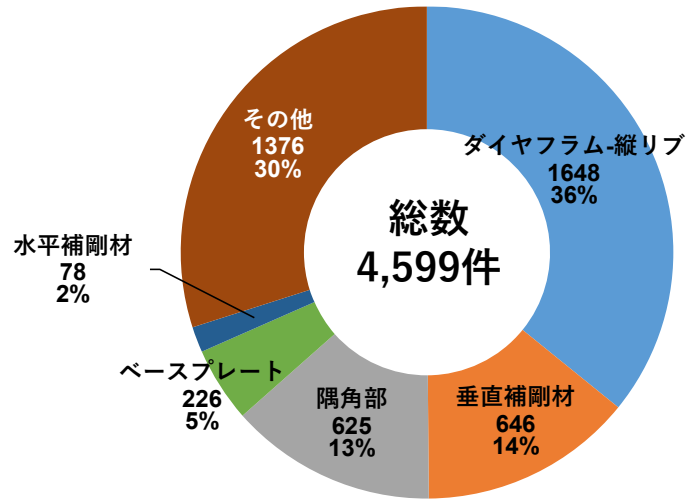


- ・ダイヤフレーム開口部がせん断変形するような挙動を抑制するため、コーナー部を当て板補強
- ・ダイヤフレームコーナー部をカラープレートを含めコア抜きにより補修

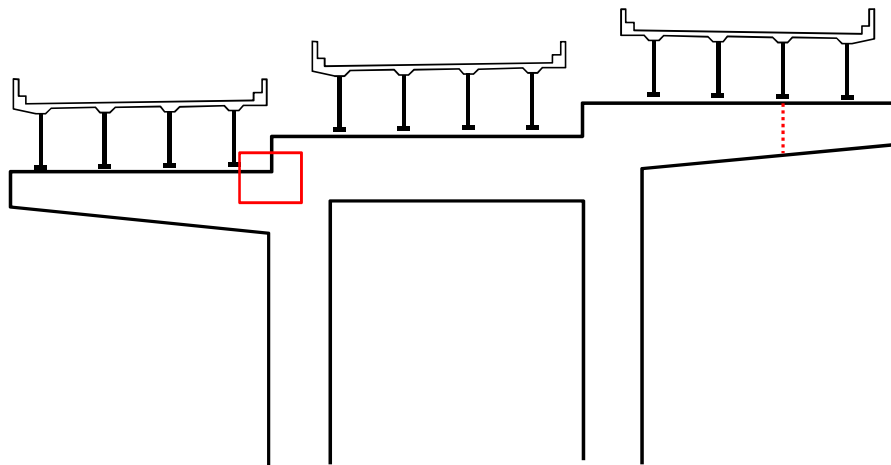
- 首都高速道路の概要
- 鋼構造物の疲労損傷の発生状況
- 鋼桁の疲労損傷と対策状況（主に鈹桁）
- **鋼製橋脚の疲労損傷と対策状況**
- 予防保全対策例



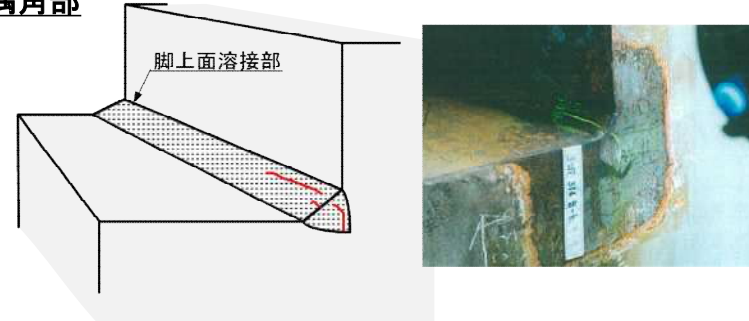
# 3. 鋼製橋脚の損傷



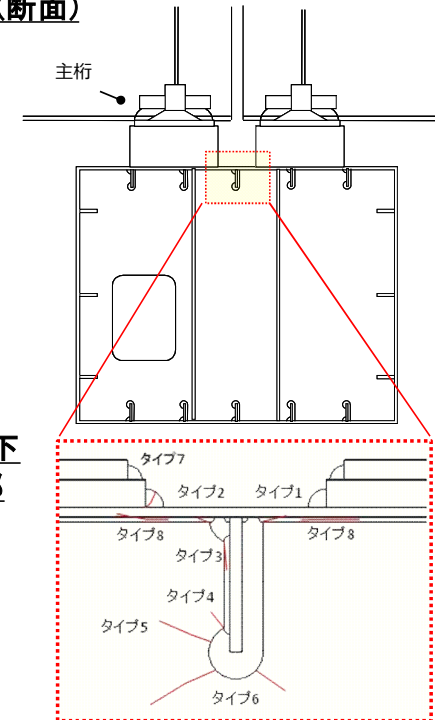
鋼橋脚のクラック損傷割合 (%)



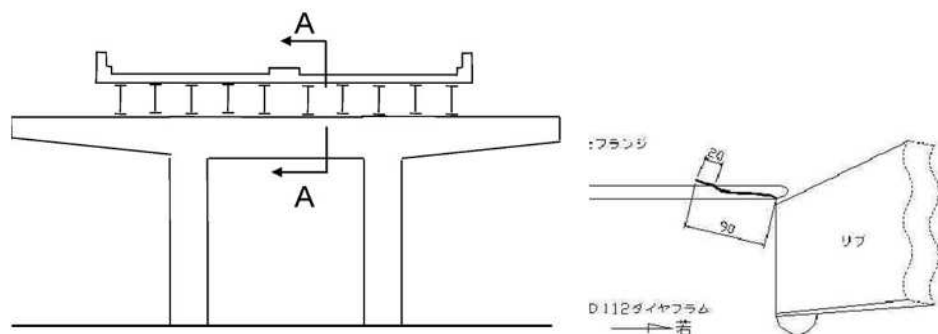
隅角部



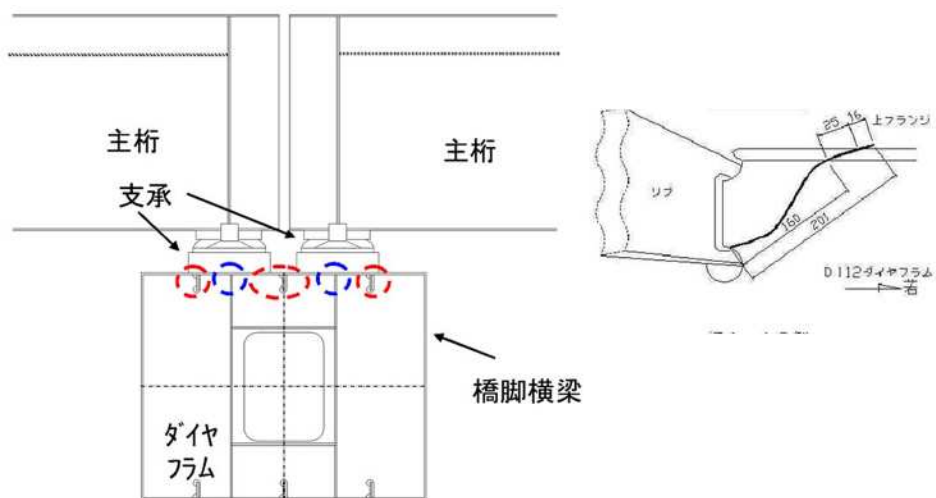
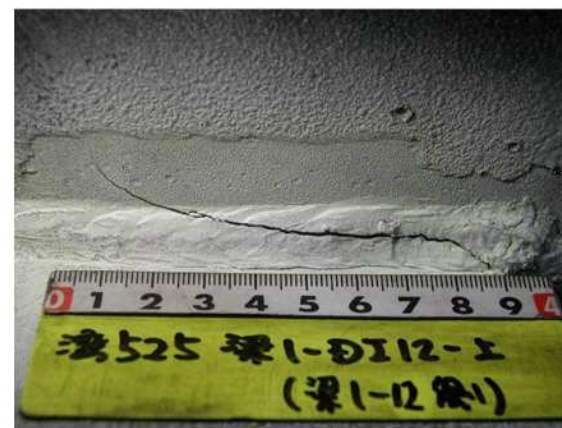
横梁側面(断面)



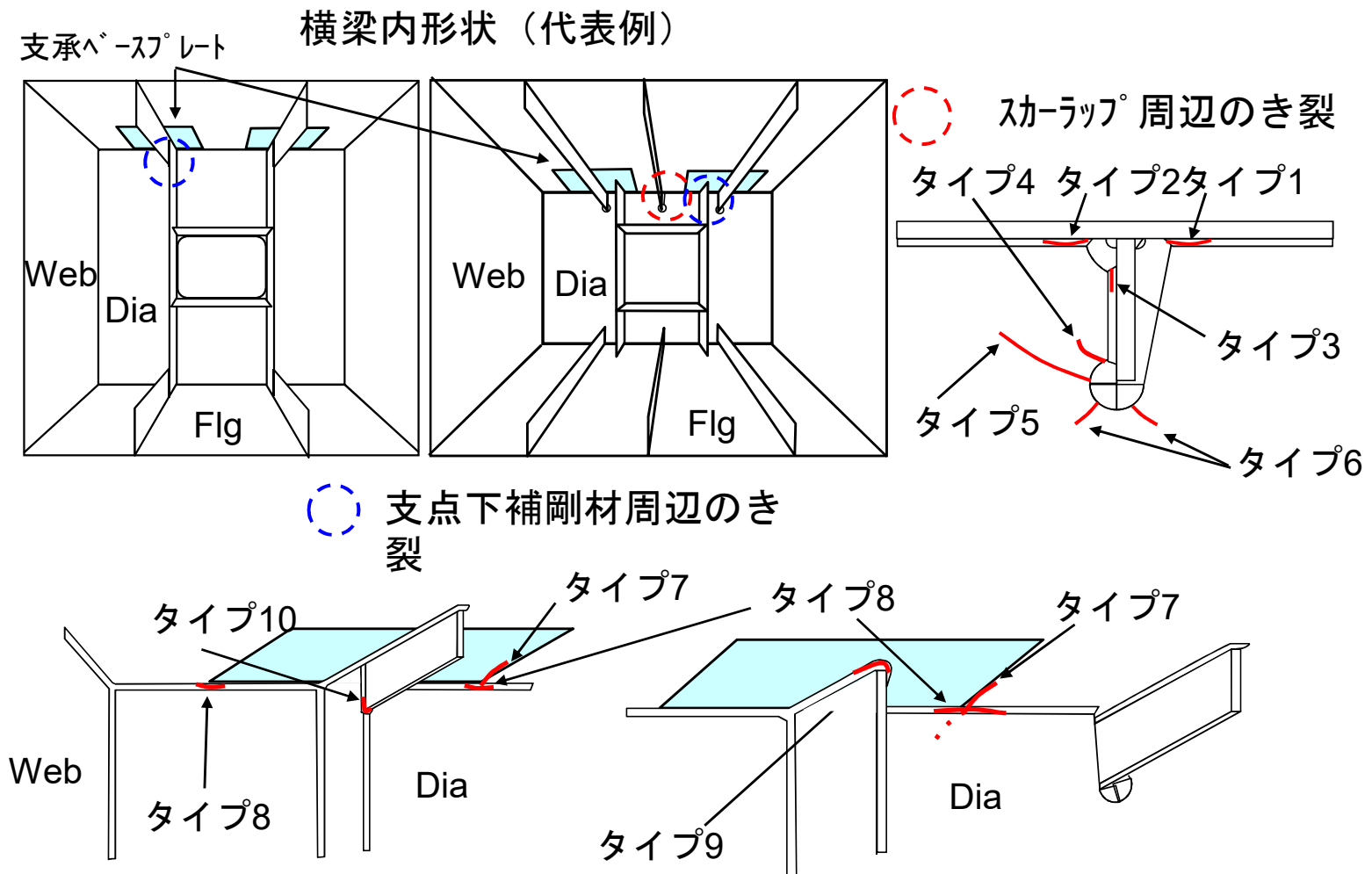
# ①鋼製橋脚横梁支点下ダイヤフラムの損傷



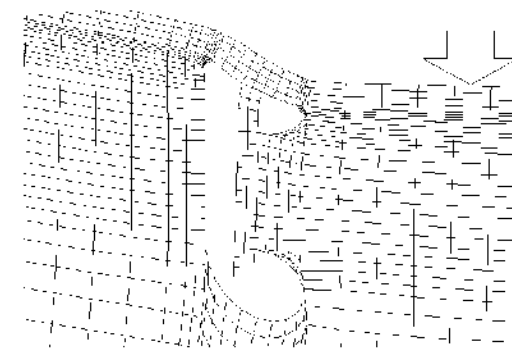
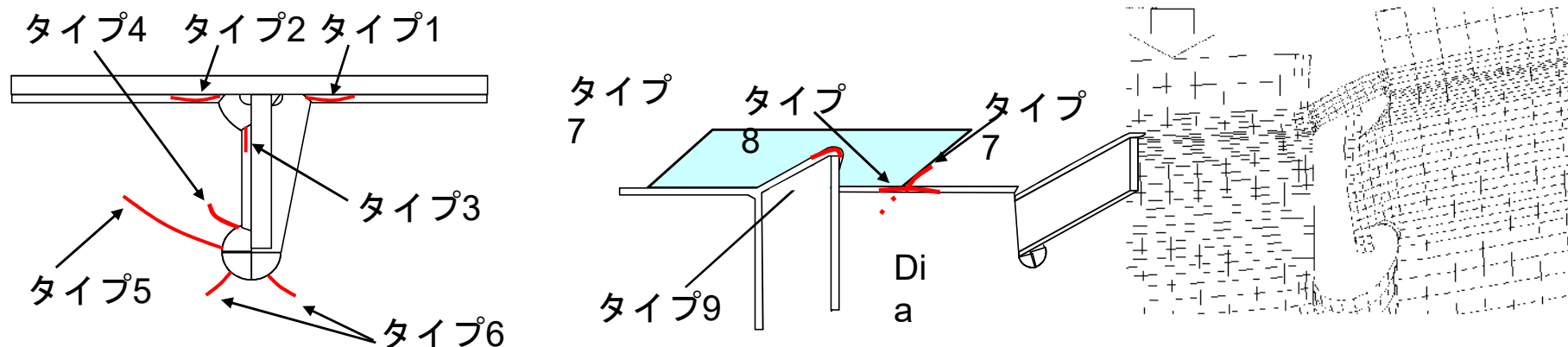
A-A断面



# < 損傷タイプ分類 >



# <鋼製橋脚支点下ダイヤフラムの損傷発生原因>



## ○スカラップ廻りの損傷

- ・車両の走行に伴い、スカラップが変形
- ・横梁上フランジとダイヤフラムが角変形挙動し、タイプ1き裂のような損傷が発生

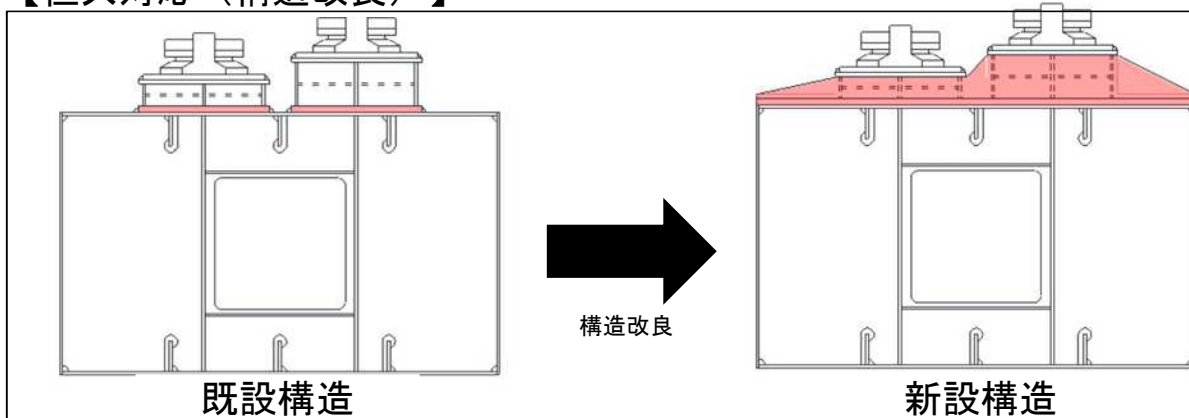
○横梁上フランジとダイヤフラムのすみ肉溶接部に支承からの活荷重応力を繰返し受け、タイプ8き裂が発生

# ＜鋼製橋脚横梁支点下ダイヤフラムの補強＞

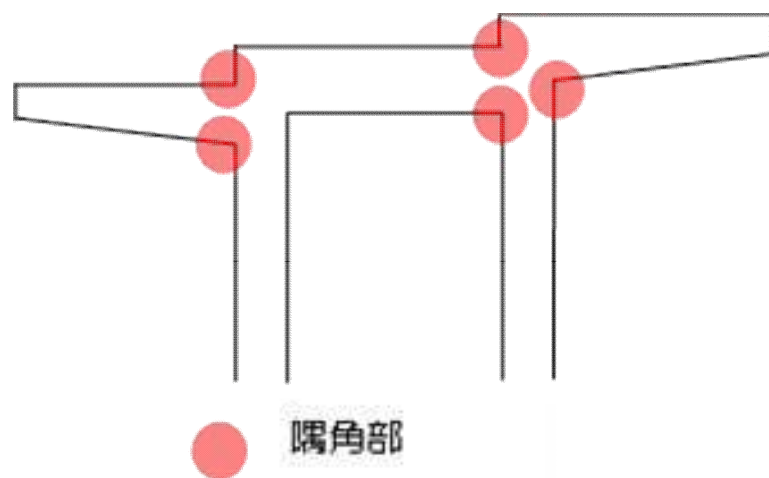
## 【き裂部の補修・補強（L型補強）】



## 【恒久対応（構造改良）】



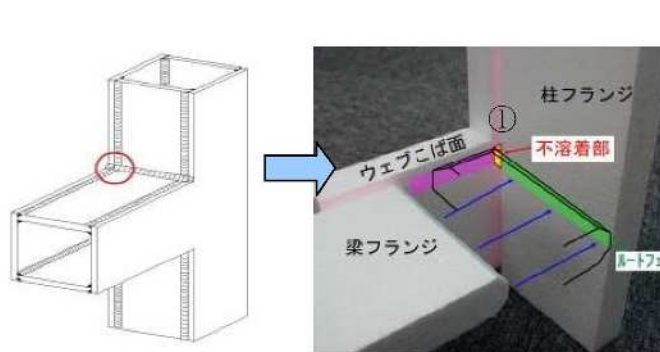
## ② 鋼製橋脚隅角部



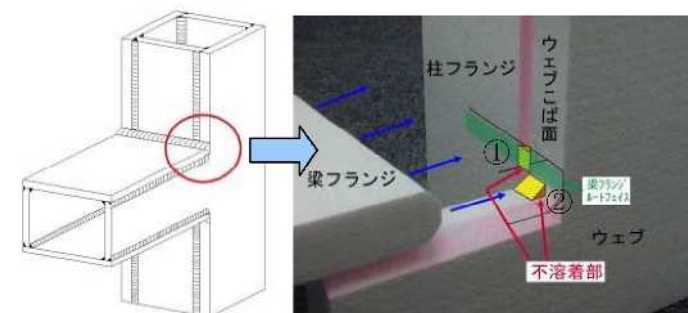
# < 損傷発生原因（損傷発生原因） >

## ○せん断遅れによる応力集中

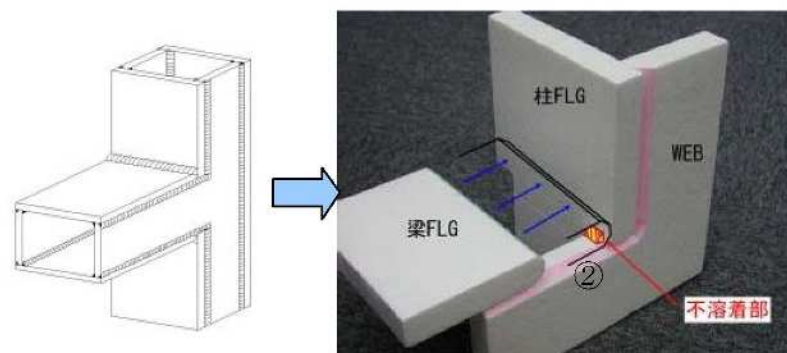
- ・隅角部近傍にせん断遅れによる応力集中部の存在
- ・橋脚板組により不完全溶込部が存在。これを起点に疲労き裂発生



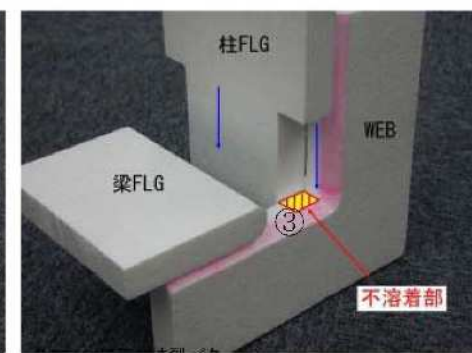
(a) 板組WWのΔゾーン



(a) 板組WFのΔゾーンと不溶着面 角WF(46箇所78き裂パターン)



(a) 板組FFのΔゾーンと不溶着面



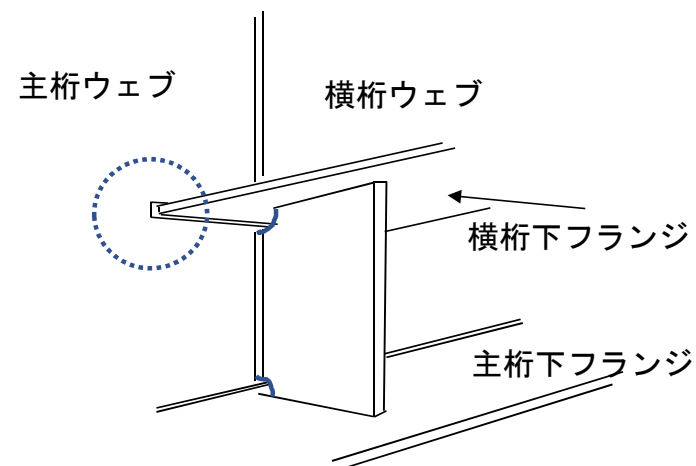
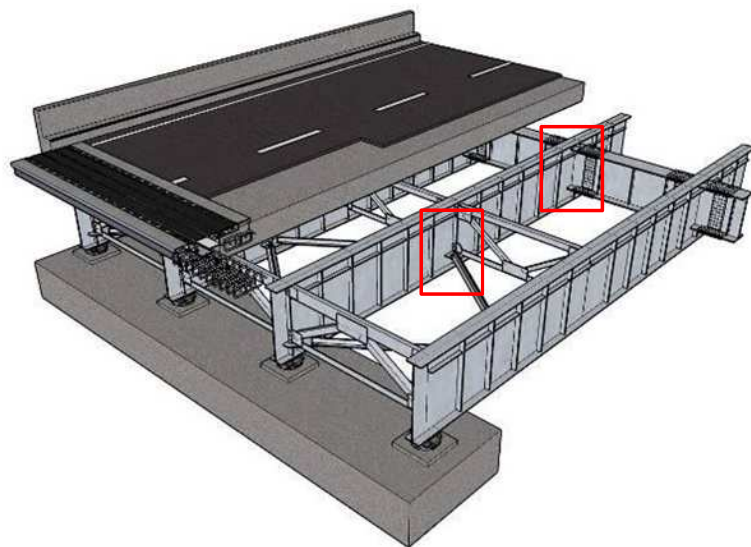
## <鋼製橋脚隅角部の補修補強>



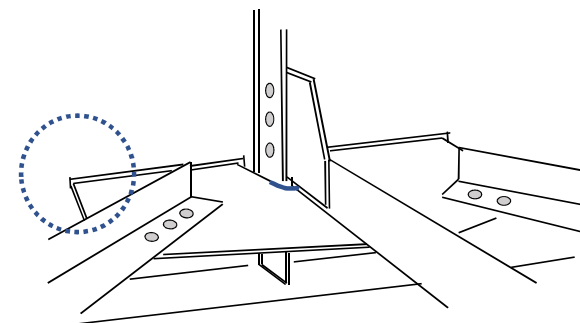


- 首都高速道路の概要
- 鋼構造物の疲労損傷の発生状況
- 鋼桁の疲労損傷と対策状況（主に鈹桁）
- 鋼製橋脚の疲労損傷と対策状況
- 予防保全対策例

## 4. 予防保全対策例



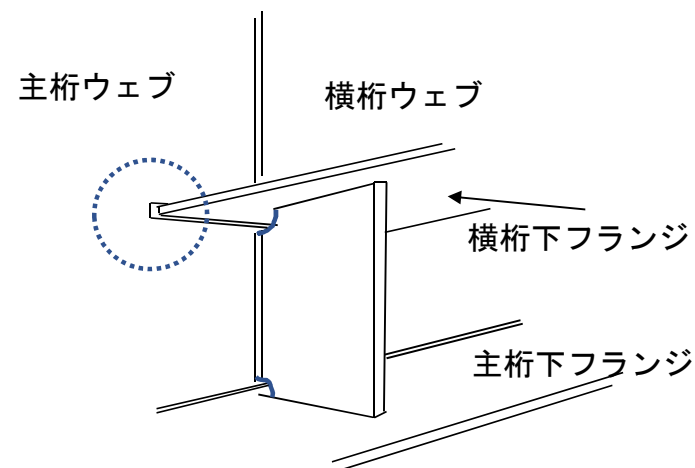
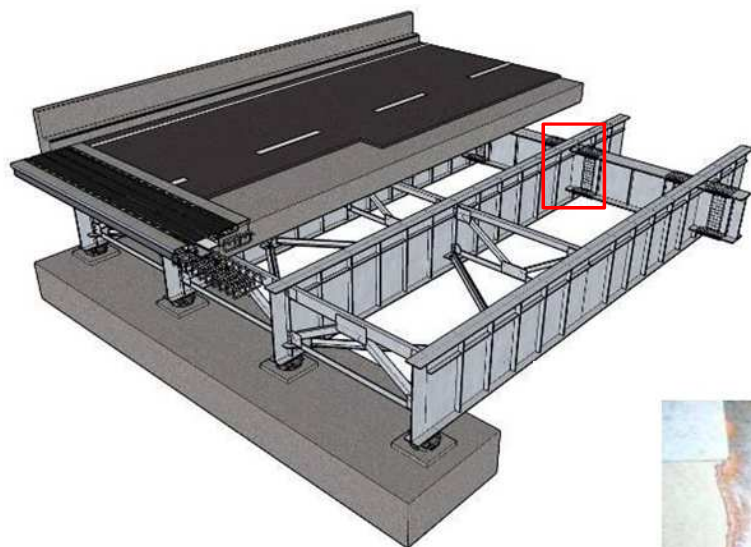
主桁・横桁交差部付近（横桁下フランジ側交差部）



主桁-下横構ガセット付近

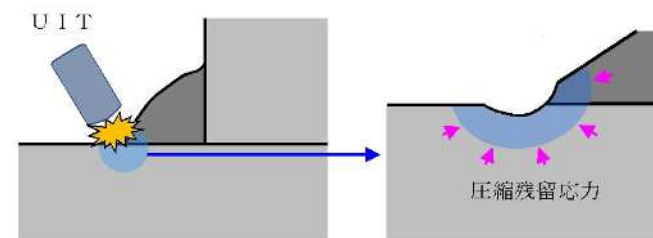
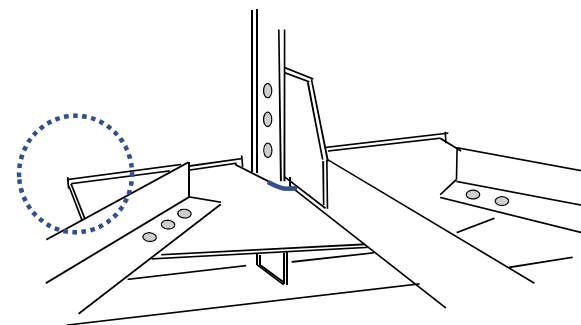
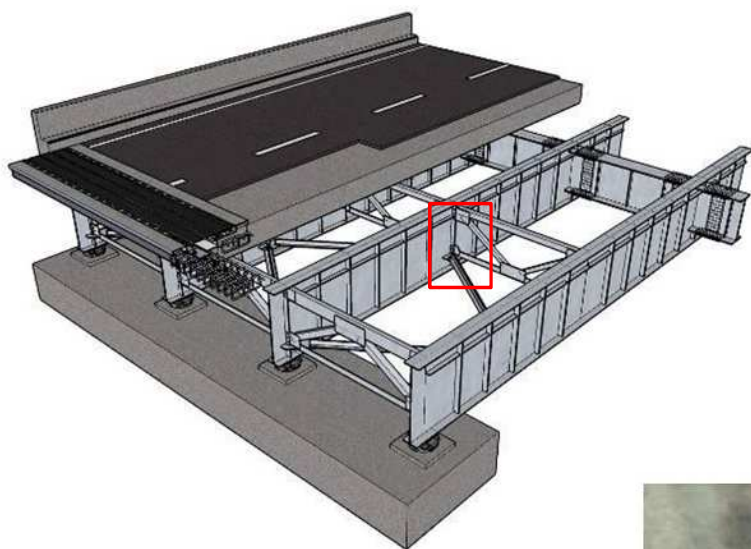
疲労損傷を未然に防止するため積極的に対策を実施

# 予防保全対策例（横桁下フランジ側交差点部）



主桁ウェブに平板による当て板補強

# 予防保全対策例（主桁-下横構ガセット付近）



超音波ピーニング処理(UIT:超音波衝撃処理)により廻し溶接部を打撃し、塑性変形させることにより、圧縮残留応力を導入し疲労強度を向上

# まとめ

- 首都高速道路における主に桁に関する疲労損傷対策について紹介した。
- 疲労損傷対策は、その対象数が多いことや施工が小規模となることが多いことから合理的に対策を実施していくことが重要である。
- 一方で疲労損傷は、各々損傷の発生原因が異なる場合が多く、常に損傷発生原因を検討し、それに対する補修補強対策を実施していく必要があり、それが対策の基本であると考えている。
- 損傷原因を考えず盲目的に補強・補修を適用することは、対策した内容により、新たな損傷を発生させることがあり、慎重な対応が必要である。
- そのためには、疲労損傷を現場で確認することがその1歩であると考えている。