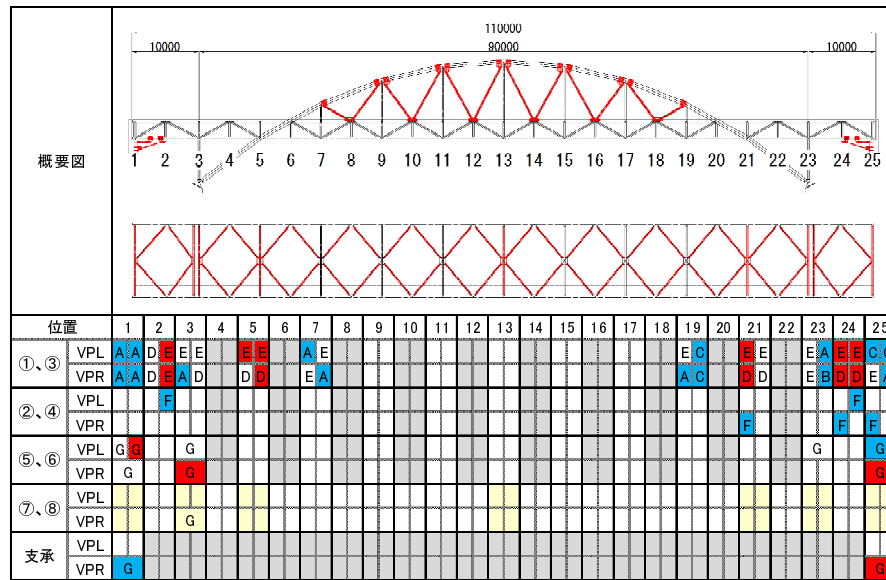


解析手法

§ 1. 解析手法

1. 亀裂の状況

(1) 亀裂発生状況



- : 横桁又は支承が存在しないことを示す
- : 耐震補強時に下横構(水平材)を一時取り外した箇所を示す
- : 亀裂削り取りにて消去箇所
- : ストップホール(一部のみを含む)

亀裂発生状況の考察

■発生位置および比率について

- ・アーチ中央部には亀裂が発生しておらず、両端部から 1/3 付近までに集中している。また、概ね左右対称に発生している。
- ・亀裂は、垂直材と横桁の接続部、下弦材ガセット部、支承部で発生しており、全体の 71% が横桁の上フランジ(①③)であり大半を占めている(図-1.1.1)。
- ・横桁の下フランジ(②④)は、全体の 9% であり、上フランジと比べると大幅に少ない。
- ・ニーブレース(⑤⑥)は、全体の 14% であり、耐震補強工事にて下横構(水平材)の取り外しが行われている。また、発生箇所は、下弦材に補剛リブ(図-1.1.2)が付いた構造となっている。

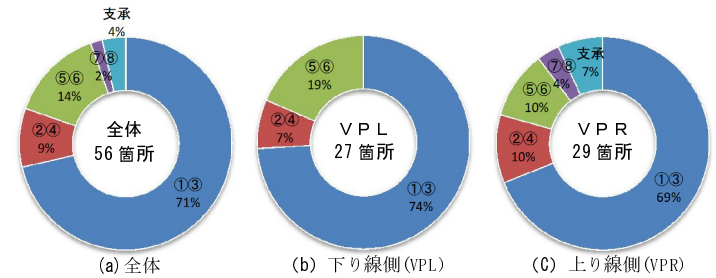
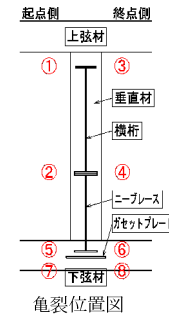


図-1.1.1 亀裂の発生比率

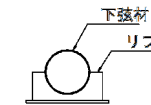


図-1.1.2 下弦材の補強リブ

■亀裂の程度について

- ・上フランジ(①③)の、最大亀裂長は 19cm であり、格点 2 (格点 24) および格点 5 (格点 21) の亀裂長が長い傾向にある(図-1.1.3)。また、亀裂の方向は、コバ面に沿ったものが発達して枝分かれとなっているものが多い(写真-1.1.1)。



写真-1.1.1 上フランジ

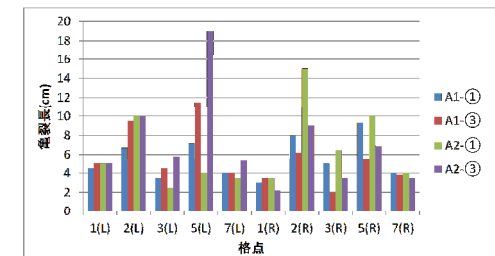


図-1.1.3 亀裂の程度(①③): 上フランジ

- ・下フランジ(②④)では、上フランジ(①③)と比べて亀裂長が短い(図-1.1.4)。また、亀裂の方向は、上フランジと同様にコバ面に沿っている(写真-1.1.2)。



写真-1.1.2 下フランジ

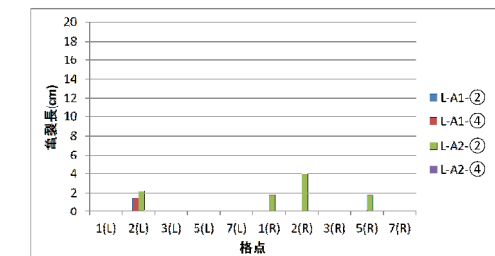


図-1.1.4 亀裂の程度(②④): 下フランジ

- ・ニーブレース (⑤⑥) では、車両が橋梁部に進入する伸縮装置に隣接する VPL1、VPR25 においては、亀裂が下フランジ部に発生しており、他の箇所よりも亀裂長が長い (図-1.1.5)。また、亀裂の方向は、フランジに沿っている (写真-1.1.3)。



写真-1.1.3 ニーブレース

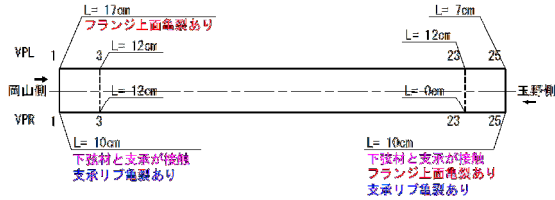


図-1.1.5 ニーブレース⑤⑥の亀裂

(2) 疲労亀裂が生じる可能性がある箇所

以下の箇所については、将来的に疲労亀裂が生じる可能性があるが、現段階では亀裂は確認されていない (図-1.1.6)。

- ・補剛桁 (上弦材) と吊り材との接合部
- ・補剛桁 (上下弦材) と斜材との接合部
- ・アーチリブと補剛桁 (上下弦材) との接合部

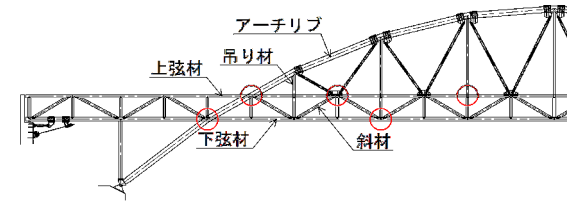


図-1.1.6 疲労亀裂が生じる可能性がある箇所

■亀裂の切削状況について

- ・ビード部に収まるタイプ ABCF の亀裂については、応急対策として切削を実施したところ、全ての箇所で亀裂が消去 (最大切削 7mm) できた (表-1.1.1)。
- ・ビード部に収まらないタイプ E の亀裂については、VPL3-③にて試験切削を実施したところ、貫通していることが判明した (表-1.1.1)。

表-1.1.1 亀裂の削り取り状況

	A	B	C	E	F
V P L	01-① 3mm		19-③ 5mm	03-③ 貫通	02-④ 3mm
	01-③ 7mm		25-① 5mm		24-④ 3mm
	07-① 5mm		25-③ 5mm		
	23-③ 5mm				
V P R	01-① 2mm	23-③ 5mm	19-③ 4mm		21-② 3mm
	01-③ 5mm				24-② 3mm
	03-① 5mm				25-② 3mm
	07-③ 5mm				
	19-① 5mm				
	25-③ 4mm				

※表中の数値は、亀裂が消滅した深さを示す。

2. 想定される亀裂の発生原因

想定される亀裂の発生原因を表-1.2.1に示す。

表-1.2.1 想定される亀裂の発生原因

項目	内容	確認方法
1 実応力と設計応力との相違	<ul style="list-style-type: none"> 斜材、鉛直材、吊り材の端部結合条件 (図-1.2.1) (設計：ピン結合、実挙動：半剛結合) 横桁の鉛直軸周りの補剛桁との結合条件 (図-1.2.2) (設計：ピン結合、実挙動：半剛結合) 	全体解析 局部解析
2 接合部に生じる局部的な応力集中や板曲げ等の応力	<ul style="list-style-type: none"> 裏当材なしによるパイプ部材の板曲げの発生 (横桁の上下フランジ、ニーブレースのウェブ、フランジの裏当材なし、図-1.2.3) 	局部解析
3 継手の疲労強度不足	<ul style="list-style-type: none"> 疲労強度等級の低い隅肉溶接の使用 溶接のサイズ不足、形状不良 	設計図書 現地調査
4 耐震補強による構造改変	<ul style="list-style-type: none"> 座屈拘束ブレース (BRB) の設置、横構の取替えによる応力分布の変化 下横構撤去時の支承の橋軸直角方向の接触と接触状態の残留 (図-1.2.4) 	全体解析 局部解析
5 現場溶接による残留応力	<ul style="list-style-type: none"> 耐震補強時における現場溶接に伴う収縮による応力分布の変化 	局部解析
6 横桁の面外変形	<ul style="list-style-type: none"> 主構と床版、床組の変位差 (図-1.2.5) 床版、床組の振動 	全体解析
7 伸縮装置部の段差	<ul style="list-style-type: none"> 大きな衝撃を含んだ活荷重 	現地調査

注) 太字は、発生している亀裂に対して影響が大きいと推定される要因を示す。

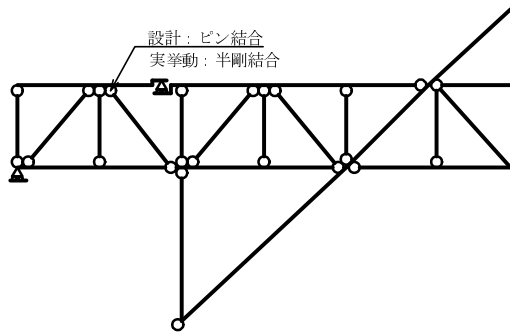


図-1.2.1 補剛桁の格点部の結合条件

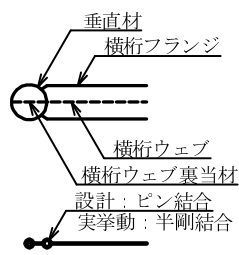


図-1.2.2 横桁の鉛直軸周りの結合条件

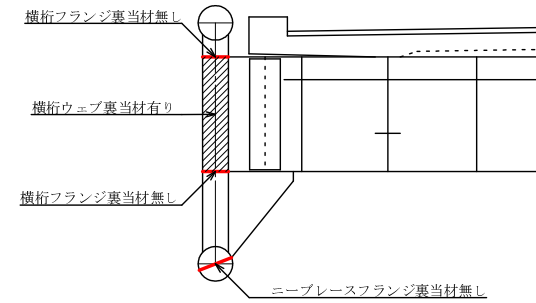


図-1.2.3 裏当材の設置状況

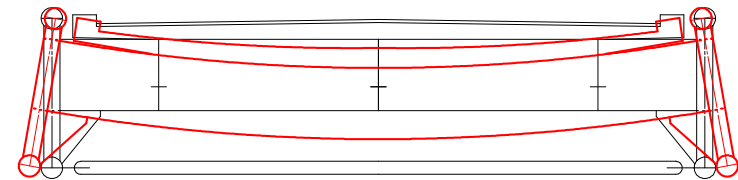


図-1.2.4 横桁の変形 (イメージ)



写真-1.2.1 支承部

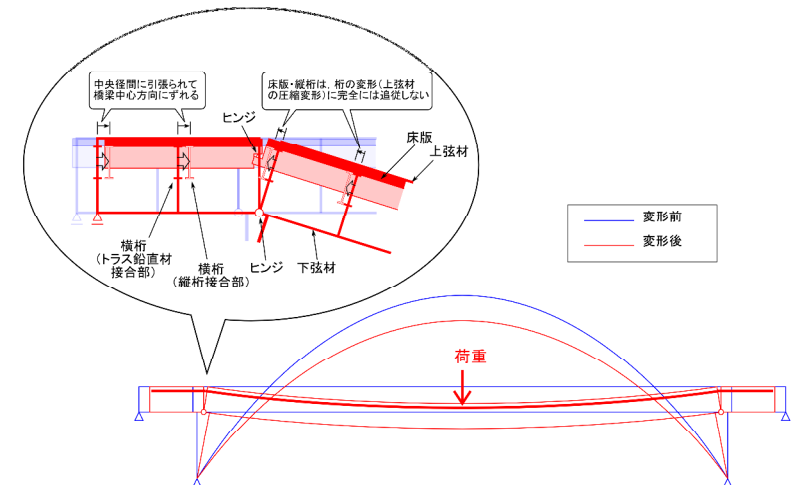


図-1.2.5 主構と床版・床組の変位差 (イメージ)

3. 解析モデル概要

I. 全体解析（梁要素）

モデル作成の留意事項：実応力と設計応力差を小さくするため、格点部のモデル化に配慮し、主構以外の2次部材を考慮する。

- 目的：① 格点部をピン結合とした当初の設計思想による応答値（応力、変位）、固有振動数の把握
 ② 格点部を剛結合とした場合の応答値（応力、変位）、固有振動数の把握
 ③ 実測値（振動数）との対比、モードの確認

解析対象：橋梁全体

使用要素：梁要素（図-1.3.1 参照）

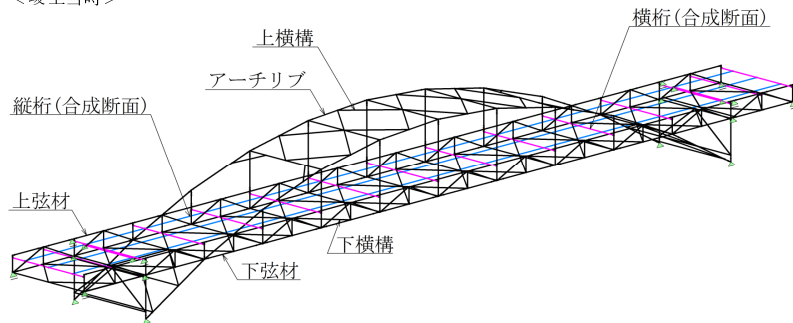
部材のモデル化：表-1.3.2 参照

格点部のモデル化：剛域考慮、端部結合条件（図-1.3.2 参照）

設計荷重：死荷重、活荷重（T 荷重）

解析ケース：2 ケース（竣工当時、現況）

<竣工当時>



<現況>

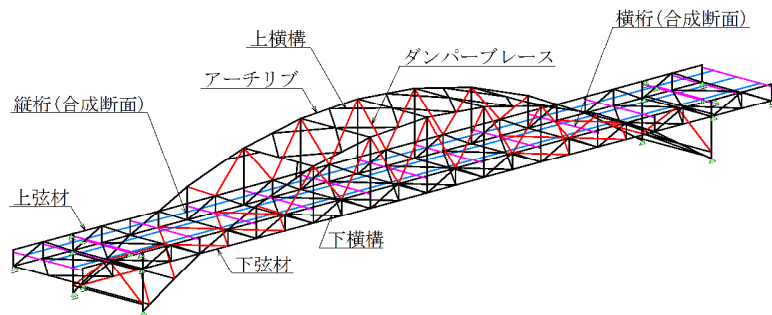
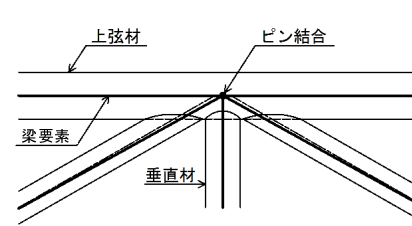


図-1.3.1 解析モデルイメージ

<当初モデル(建設時不明、耐震補強時)>



<今回モデル>

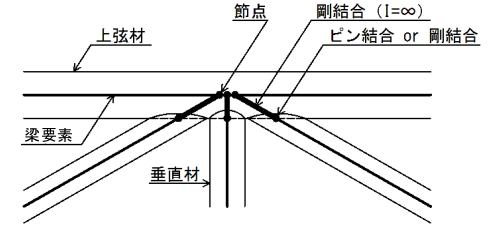


図-1.3.2 格点部のモデル化

表-1.3.2 主構以外の部材のモデル化

部材	断面積	曲げ剛性	備考
床版	○	○	縦桁、横桁と合成断面
地覆	△	△	歩道側の下層のみ考慮（写真-1.3.1 参照）
舗装	×	×	
高欄	×	×	
縦桁	○	○	RC 床版と合成断面としてモデル化
横桁	○	○	RC 床版と合成断面としてモデル化
横構（上下）	○	○	
ダンパープレート	○	○	線形部材としてモデル化
端支点ダンパー	○	○	線形部材としてモデル化（振動結果より設定）

注）・○は考慮あり、×は考慮無しを示す。



写真-1.3.1 歩道側地覆

II. 局部解析 (シェル要素)

モデル作成の留意事項：代表的な格点部および亀裂損傷が生じている横桁を選定すると共に、裏当て材を含む現況を忠実に再現する。

- 目的：① 格点部の結合度の算出
② 裏当て材を含む細部のモデル化

解析対象：I の解析結果での格点部のタイプ毎の最大応力度の発生箇所 (図-1.3.3 参照)

タイプ①：アーチリブと (上) 下弦材、斜材、垂直材の格点部

タイプ②：(上) 下弦材と垂直材、斜材の格点部

タイプ③：上弦材と吊材、裏当てのある垂直材の格点部

※ () 内は、他の格点部を流用

横桁 (図-1.3.3 参照)

使用要素：シェル要素 (立体) (図-1.3.4 参照)

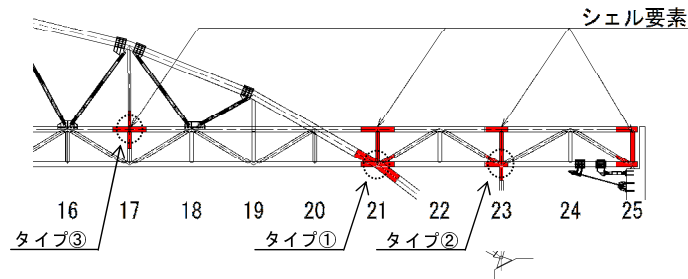


図-1.3.3 格点部のモデル化

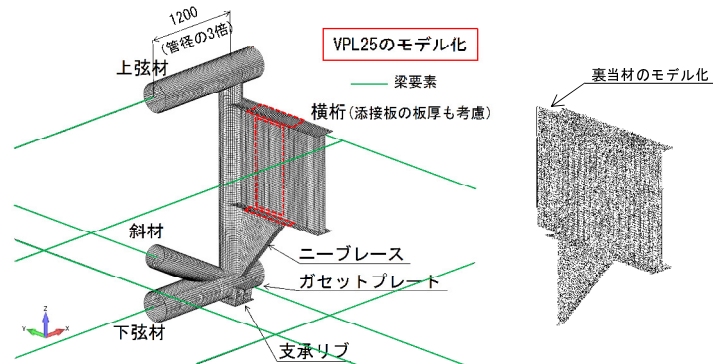


図-1.3.4 横桁部のモデル化

III. 全体解析 (梁要素+シェル要素)

モデル作成の留意事項：格点の結合度は局部解析 II で算出したバネとして反映し、亀裂損傷が生じている横桁部についてはシェル要素としてモデルに組み込む。

- 目的：① 実挙動を反映した応答値 (応力、変位)、固有振動数の把握
② 実測値との対比、モードの確認 (竣工当時、現況)
③ 支承、ヒンジ部の拘束条件の確認
④ 疲労照査
⑤ 対策効果の確認

解析対象：橋梁全体

使用要素：梁要素+シェル要素 (II のモデル) (図-1.3.5 参照)

部材のモデル化：表-1.3.1 参照

格点部のモデル化：梁要素-剛域考慮、端部結合条件 (II で算出した値)

設計荷重：死荷重、活荷重 (T 荷重)

解析ケース：7 ケース (P.6.7 参照)

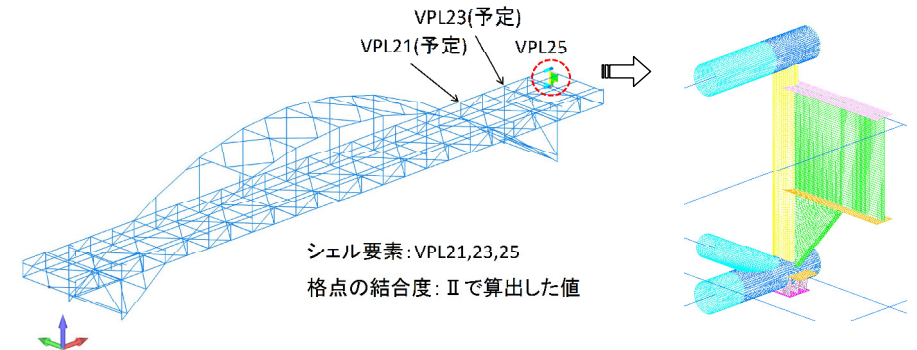
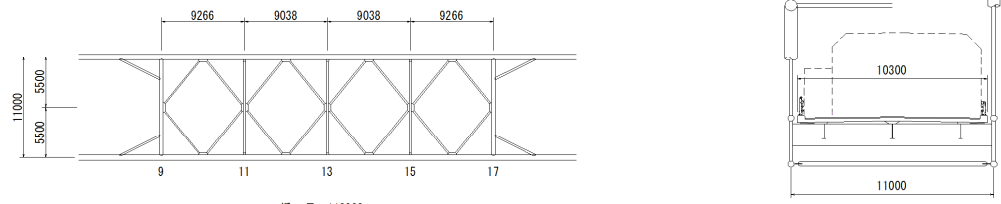


図-1.3.5 解析モデルイメージ

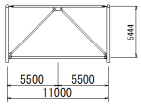
解析ケース①：建設時

上横構

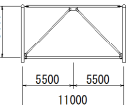


橋長 110000

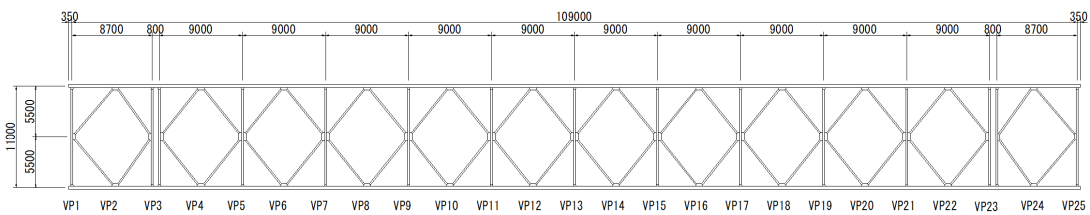
支柱対傾構



支柱対傾構

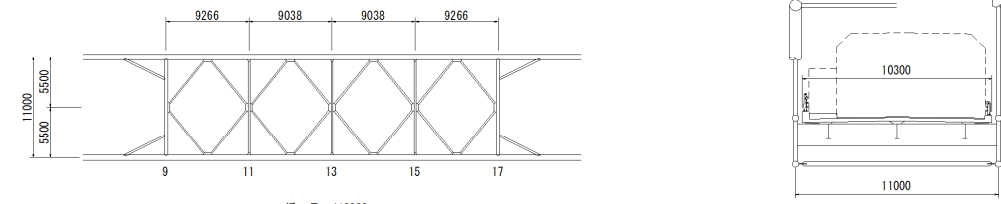


下横構



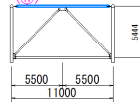
解析ケース③：耐震補強時(下弦材⑱撤去時)

上横構

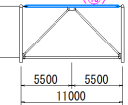


橋長 110000

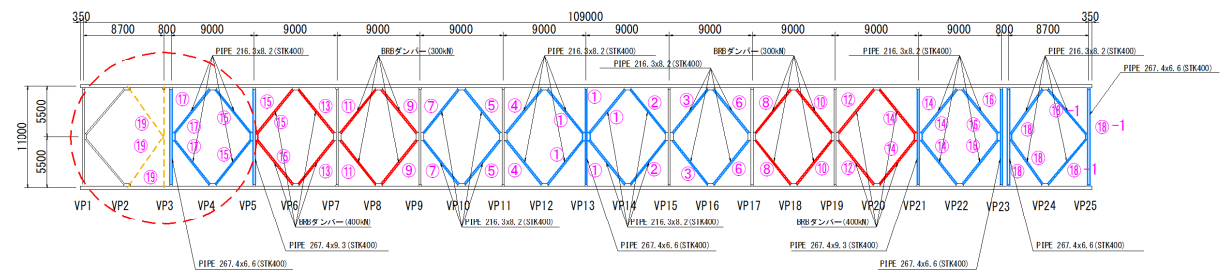
支柱対傾構



支柱対傾構



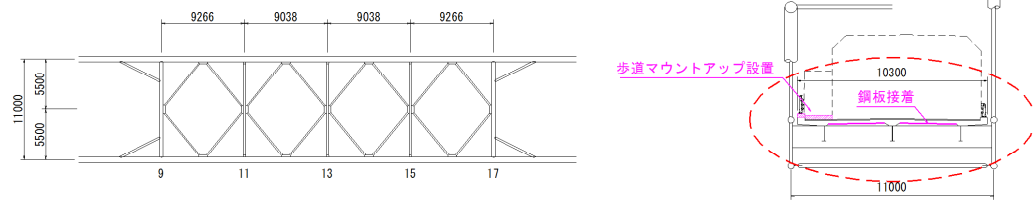
下横構



- 耐震補強部材(取替)
- 耐震補強部材(ダンパーに取替)
- - - 撤去部材

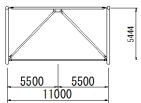
解析ケース②：歩道設置+鋼板接着時

上横構

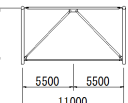


橋長 110000

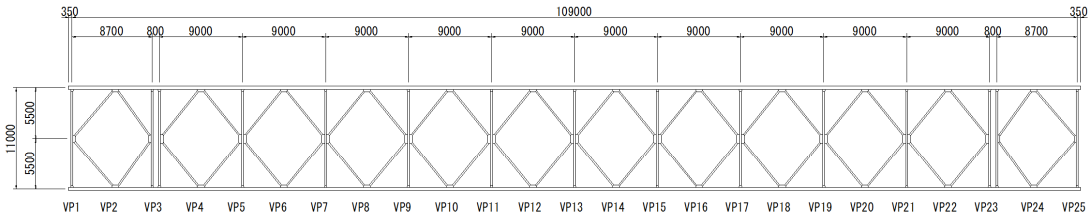
支柱対傾構



支柱対傾構

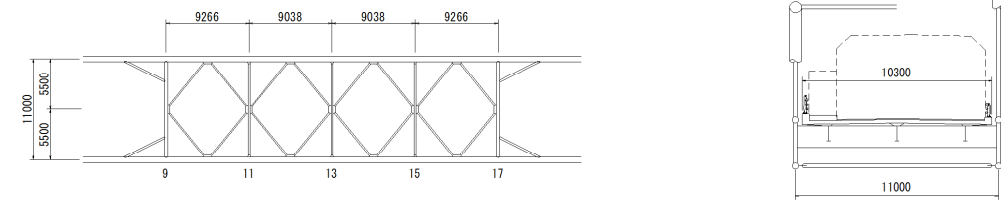


下横構



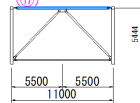
解析ケース④：耐震補強時(下弦材⑱-1撤去時)

上横構

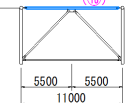


橋長 110000

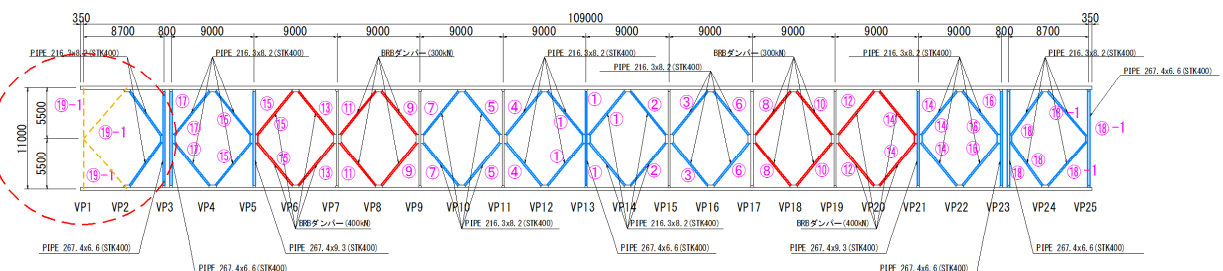
支柱対傾構



支柱対傾構



下横構



- 耐震補強部材(取替)
- 耐震補強部材(ダンパーに取替)
- - - 撤去部材

