

# 解析手法

### § 3. 解析手法

#### 1. 解析の目的

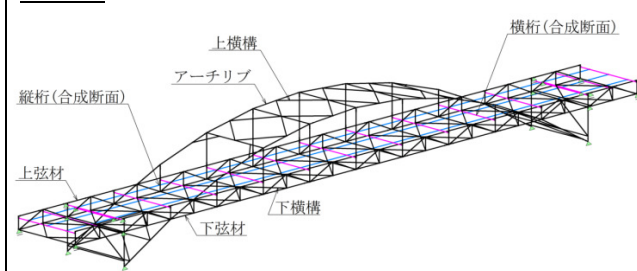
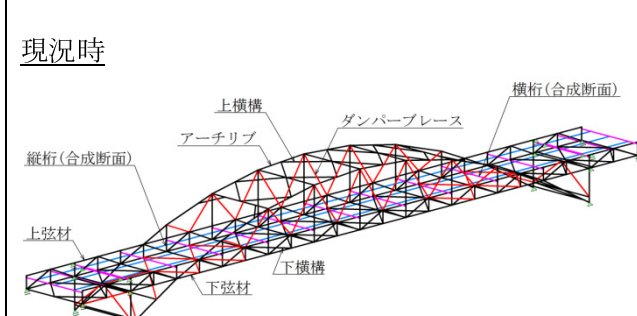
本解析は、亀裂発生の原因究明を行い、また恒久対策の効果の確認および対策工詳細設計時のベースモデルを作成することを目的とする。

亀裂発生の原因究明のための手法としては、試験（载荷試験）と解析の2つが考えられる。亀裂発生前の応力状態は、現況に対する载荷試験では確認できないため、亀裂発生前の応力状態を確認する目的では、解析が唯一の手法となる。

#### 2. 解析モデル概要

解析モデルは、解析の目的に応じて以下のモデルを採用している。

表-4.1 解析モデル

解析モデル	梁要素による橋梁全体系モデル ＜全体解析（梁要素）＞	梁要素とシェル要素（格点部）による全体系モデル ＜全体解析（梁要素+シェル要素）＞
目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>・载荷試験結果を踏まえた解析モデルの検証</li> <li>・構造解析（応力計算）による公称応力の確認</li> <li>・応力度による疲労設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構造解析（応力計算）による、格点部の局部応力の確認</li> </ul>
使い分け	原因究明	<ul style="list-style-type: none"> <li>・疲労照査より上フランジ①③及び下フランジ②④の累積損傷度と亀裂の発生傾向より亀裂発生要因を特定</li> <li>・疲労照査を実施してニーブレース⑤⑥及びガセットプレート⑦⑧の亀裂発生要因を特定</li> <li>・上フランジ①③及び下フランジ②④の応力集中と亀裂の発生傾向より亀裂発生要因を特定</li> </ul>
	恒久対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・恒久対策（例えばブレイキトラス等）の効果の確認および対策工詳細設計のベースモデル</li> </ul>
モデル図	建設時	現況時
		 <p>※シェル要素のモデル化箇所は、ニーブレースの亀裂が発生している箇所を含む全ての格点のタイプとした。（端支点部、アーチ支柱部、アーチリブ交差部、中間部）</p>

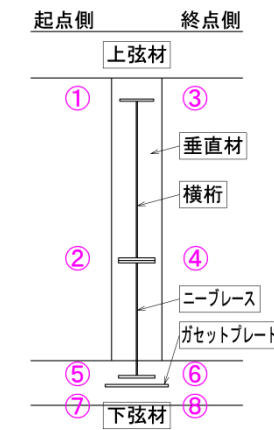


図-4.1 亀裂位置図

#### 3. 解析フロー

全体解析（梁要素）および全体解析（梁要素+シェル要素）の解析フローを図-4.2 に示す。

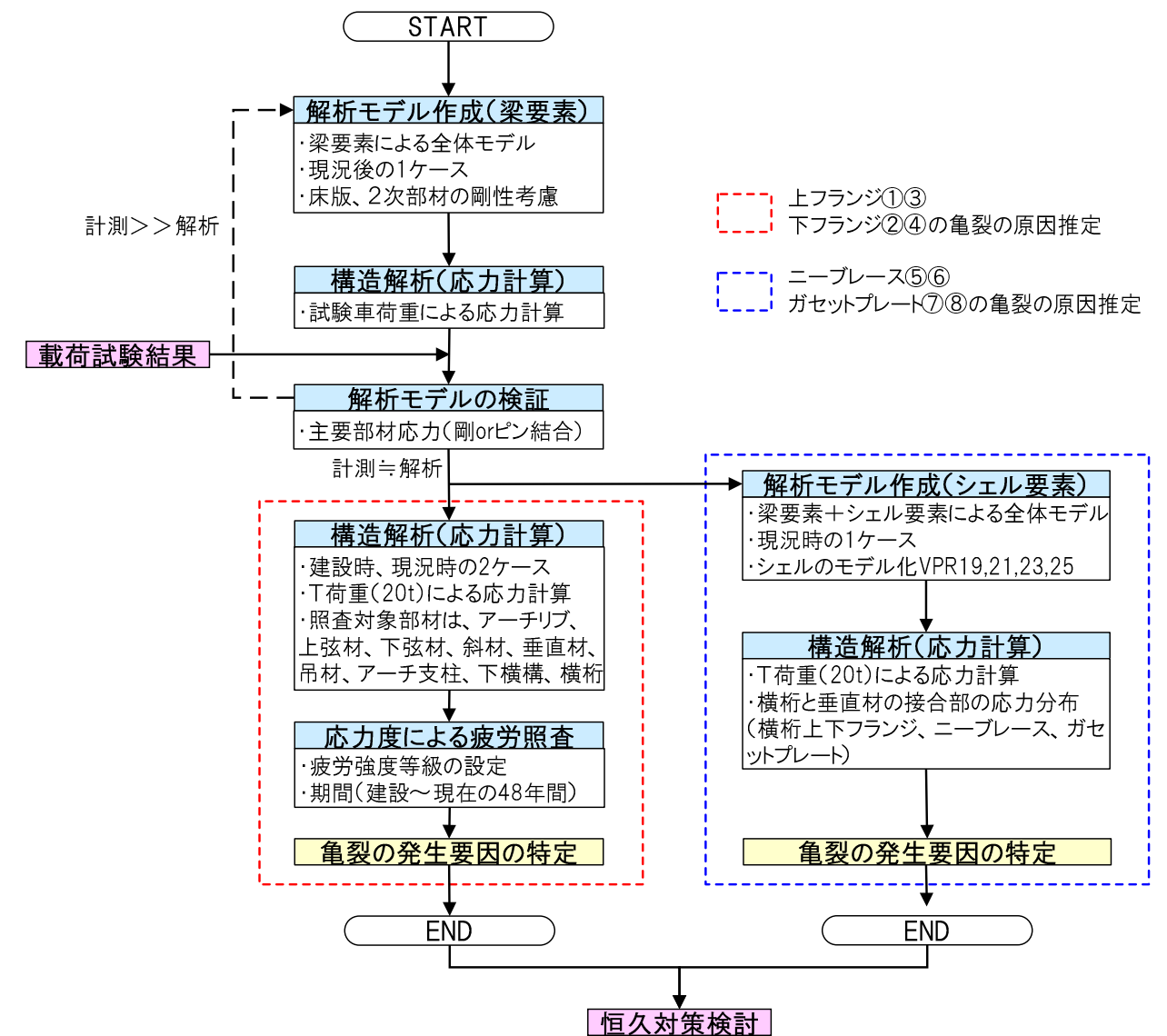


図-4.2 解析フロー

#### 4. 解析結果の処理方針

##### (1) 全体解析（梁要素）

###### 1) 載荷試験結果を踏まえた解析モデルの検証

『計測した主要部材の応力』と『同じ載荷条件にて解析モデルで再現した主要部材の応力』の対比を行い、格点部の接合条件、床版、2次部材の剛性寄与度、支承部の拘束条件を確認して原因究明や恒久対策で用いる解析モデルを確定する。

###### 2) 梁要素を用いた構造解析（応力計算）

各部材（アーチリブ、上弦材、下弦材、斜材、垂直材、吊材、アーチ支柱、下横構、横桁）の応力照査を行い、面内および面外の最大応力および応力範囲を確認することで亀裂の発生傾向の検証を行う。また、亀裂が発生している横桁と垂直材の接合部に着目して活荷重による横桁と垂直材の応力変化から関連性を確認する。

###### 3) 応力度による疲労照査

継手強度等級を仮定して亀裂が発生している横桁と垂直材の接合部の疲労照査を実施することにより、亀裂の発生状況と関連性を確認して亀裂の発生要因を特定する。

##### (2) 全体解析（梁要素+シェル要素）

###### 1) 梁要素+シェル要素を用いた構造解析（応力計算）

梁要素ではI断面の桁を1つの梁要素とするため、亀裂が発生している上下フランジやニーブレースの接合部（図-4.3）の複雑な流れや板曲げによる応力分布や変形が把握できないことから、シェル要素による構造解析により把握し、応力集中による局部応力と亀裂の発生状況との検証を行う。また、亀裂が発生している横桁と垂直材との接合部、ニーブレースと下弦材の接合部に着目して、亀裂の発生の要因となる応力を特定する。

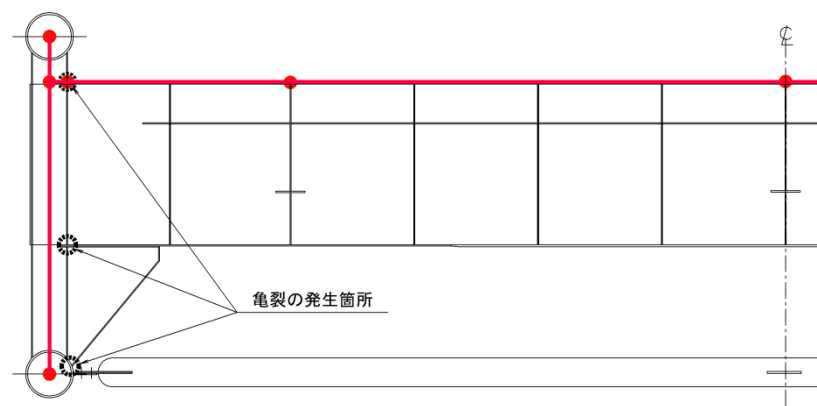


図-4.3 横桁のモデル化

#### 5. 全体解析（梁要素）

##### (1) 解析モデル

目的：梁要素による全体モデルにて横桁上下フランジ①③、②④に着目した疲労照査による亀裂の発生原因を推定する。

解析対象：橋梁全体

使用要素：梁要素（図-4.4 参照）

部材のモデル化：表-4.2 参照

格点部のモデル化：剛結合（結合部の剛域考慮、図-4.5 参照）またはピン結合（図-4.6 参照）

支持条件：可動（端支点部、上弦材鞘管構造部）、ピン（ゲルバー部、下弦材アーチ基部）

設計荷重：死荷重、活荷重（T 荷重）

疲労強度等級：各部材で最も厳しい等級を採用（図-4.8 参照）

解析ケース：2 ケース（建設時、現況時）

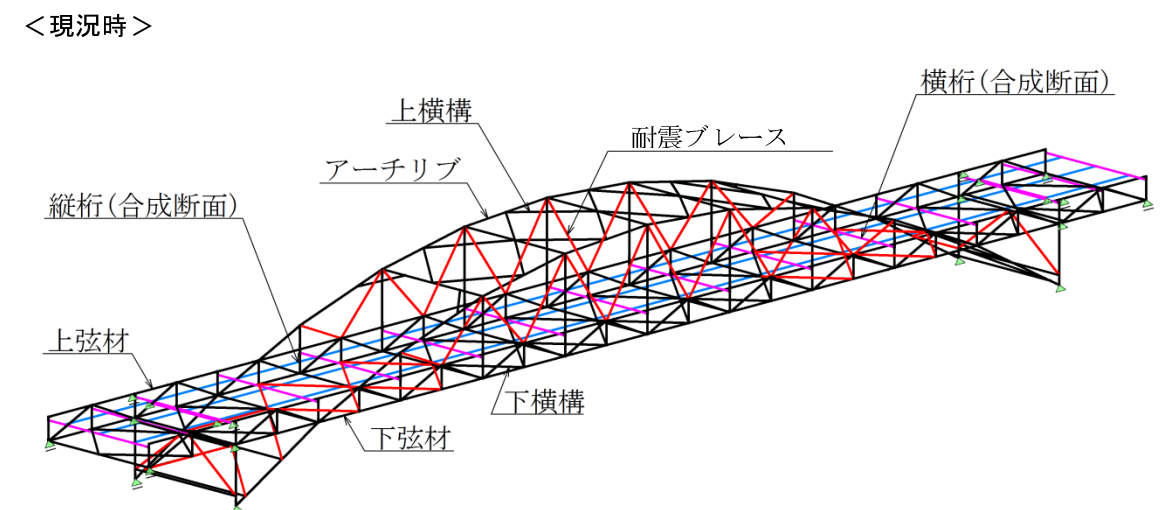
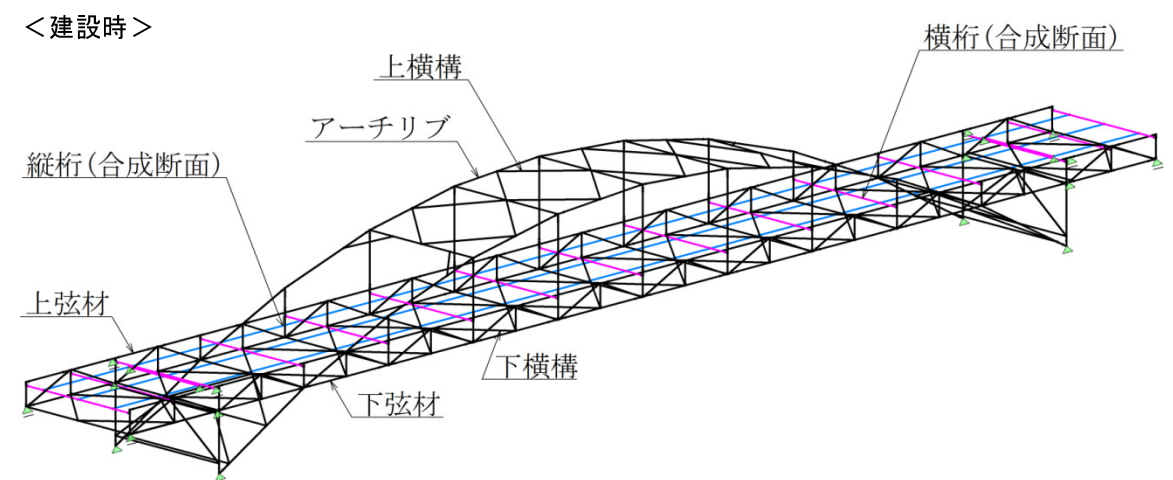


図-4.4 解析モデル

表-4.2 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-4.1参照)
舗装	×	×	構造系の剛性に大きな影響がないため考慮しない
高欄	×	×	構造系の剛性に大きな影響がないため考慮しない
縦桁	○	○	RC床版と合成断面としてモデル化 (図-4.7参照)
横桁	○	○	RC床版と合成断面としてモデル化 (図-4.7参照)
横構 (上下)	○	○	梁要素でモデル化
耐震ブレース (斜材)	○	○	芯材のみ線形部材としてモデル化
端支点ダンパー	×	×	活荷重解析では大きな影響がないため考慮しない

注) ○は考慮あり、×は考慮無しを示す。

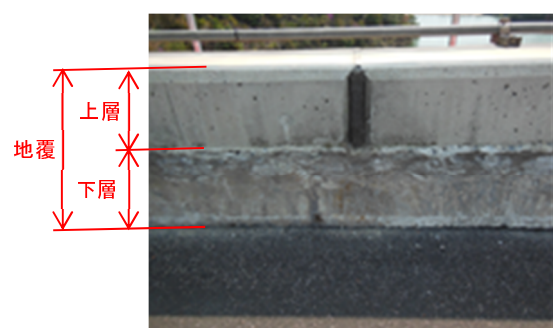


写真-4.1 歩道側地覆

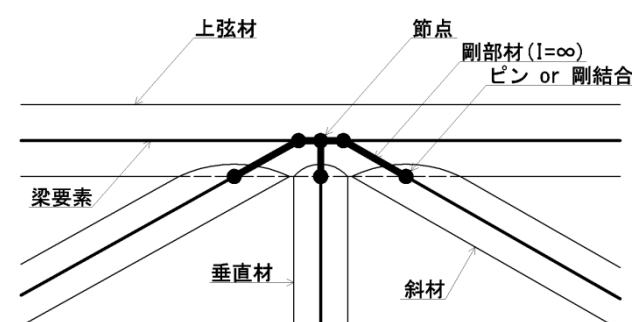
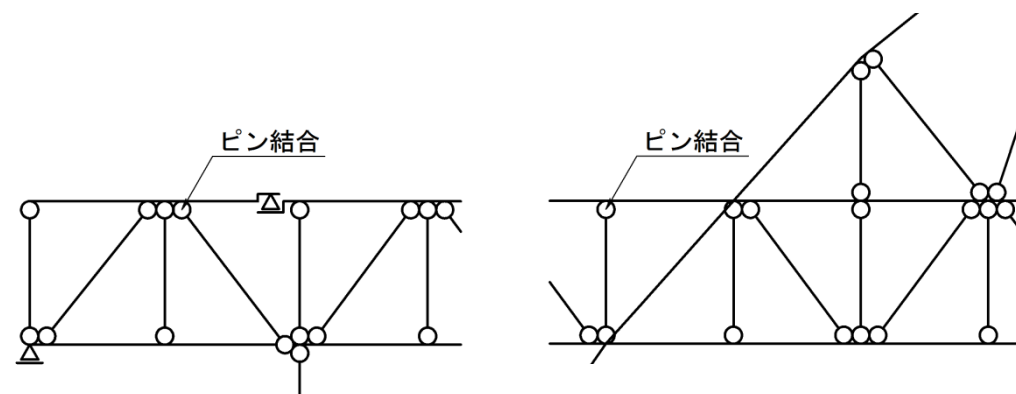


図-4.5 格点部のモデル化



注) 部材が同断面で連続しているアーチリブ、補剛桁の上下弦材は、ピン結合モデルにおいても剛結合とする。また、剛度の低いガセットプレートにより接続しているアーチリブと上横構、下横構、支柱対傾構は、ピン結合モデルおよび剛結合モデル共にピン結合とする。

図-4.6 解析モデル (ピン結合)

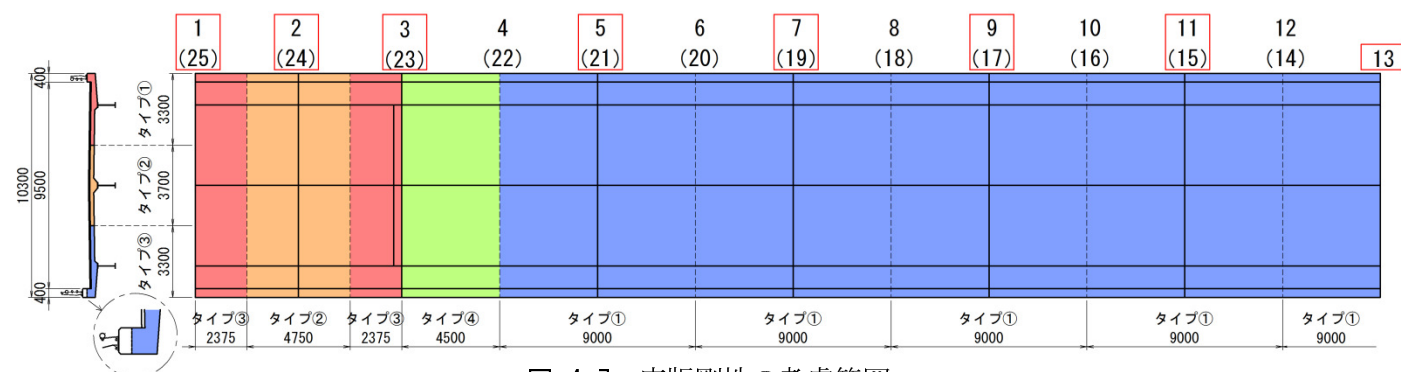
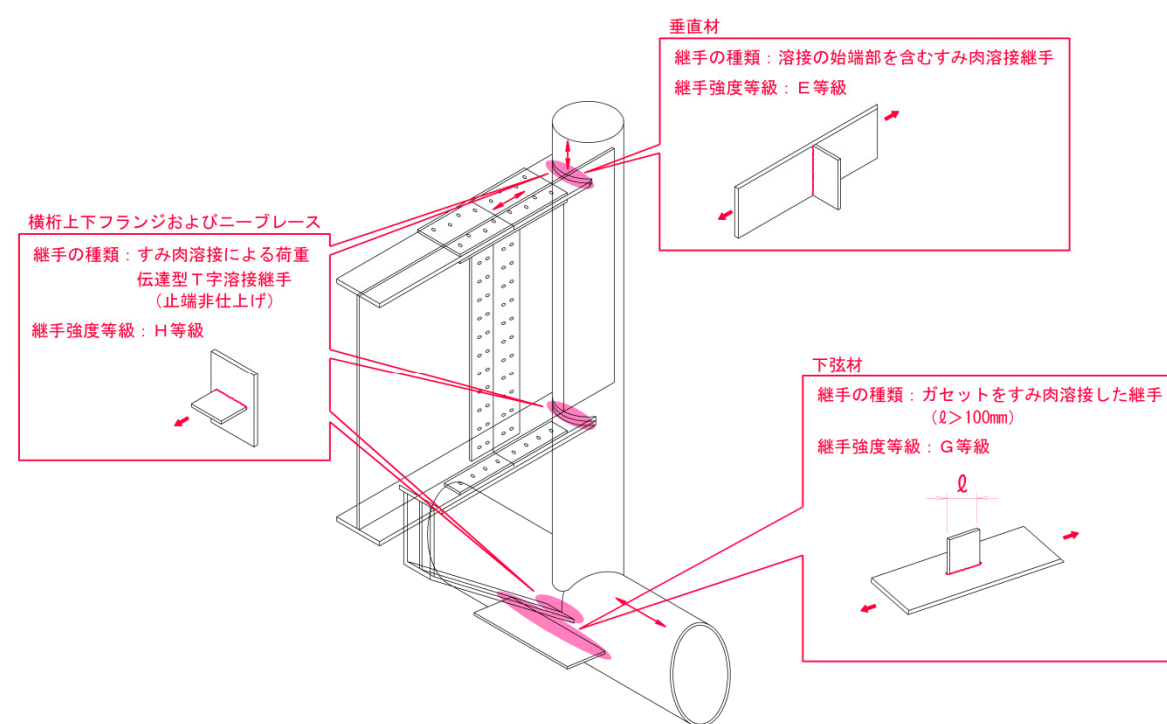


図-4.7 床版剛性の考慮範囲

□ 横桁位置



継手部の疲労強度は、着目する応力方向と継手の形状から、上に示す強度等級とする。なお、横桁フランジの応力に着目した疲労強度においては、『すみ肉溶接による荷重伝達型 T 字溶接継手』の規定がないため、これと同様に荷重伝達型である『すみ肉溶接による荷重伝達型十字溶接継手 (止端非仕上げ)』が F 等級であることを参考に、安全側の設定として 2 ランク下の H 等級とした。

図-4.8 継手の疲労強度等級

(2) 解析モデルの検証 (公称応力の対比による検証)

解析モデルは、載荷試験にて計測した以下に示す主要部材の応力・ひずみに対して、部材結合条件がピン又は剛結合とした 2 ケースでの対比を行い、妥当性を確認すると共に解析モデルを決定する。

応力の対比は、主部材を対象として下記の部位について行う。(図-4.9)。

- 【アーチ構造】
  - ・アーチリブ
  - ・吊材
- 【補剛桁】
  - ・上弦材
  - ・下弦材
  - ・垂直材
  - ・斜材

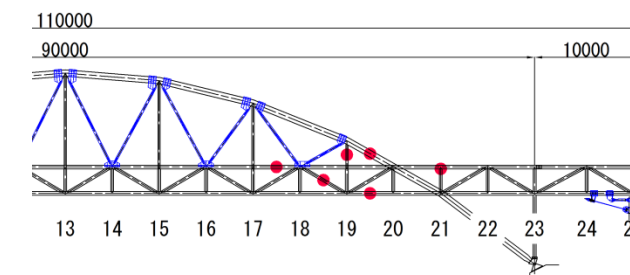


図-4.9 対比応力位置



6. 全体解析（梁要素+シェル要素）

(1) 解析モデル

目的：梁要素では亀裂発生箇所の局部応力が算出できないため、シェル要素を用いてモデル化する。シェル要素でのモデル化対象は、亀裂が発生している箇所を含む全ての格点のタイプ（端支点部、アーチ支柱部、アーチリブ交差部、中間部）としてVPR19、21、23、25の4箇所とする。これら4格点のシェルモデルを組み込んだ梁要素の全体モデルを用いて解析を行い、応力分布を把握する。その上で、以下の項目について確認・検証する。

- ① 横桁フランジと垂直材の接合部の応力度・応力分布
- ② ニーブレースおよび横構ガセットと下弦材の接合部の応力度・応力分布

解析対象：橋梁全体

使用要素：梁要素+シェル要素（図-4.10 参照）

部材のモデル化：全体解析（梁要素）と同じ（表-4.2 参照）

設計荷重：死荷重、活荷重（T 荷重）

解析ケース：1 ケース（現況時）

(2) 解析モデルの検証（局部応力の対比による検証）

載荷試験にて計測した以下に示す格点部（図-4.11）および横桁と垂直材、下弦材との接続部（図-4.12）の応力・ひずみに対して、同じ載荷条件での解析された応力との対比を行い、モデル化の妥当性を確認すると共に解析モデルを検証する。なお、VPR1 についてはシェル要素でモデル化していないことから VPR19 および VPR23 にて検証する。

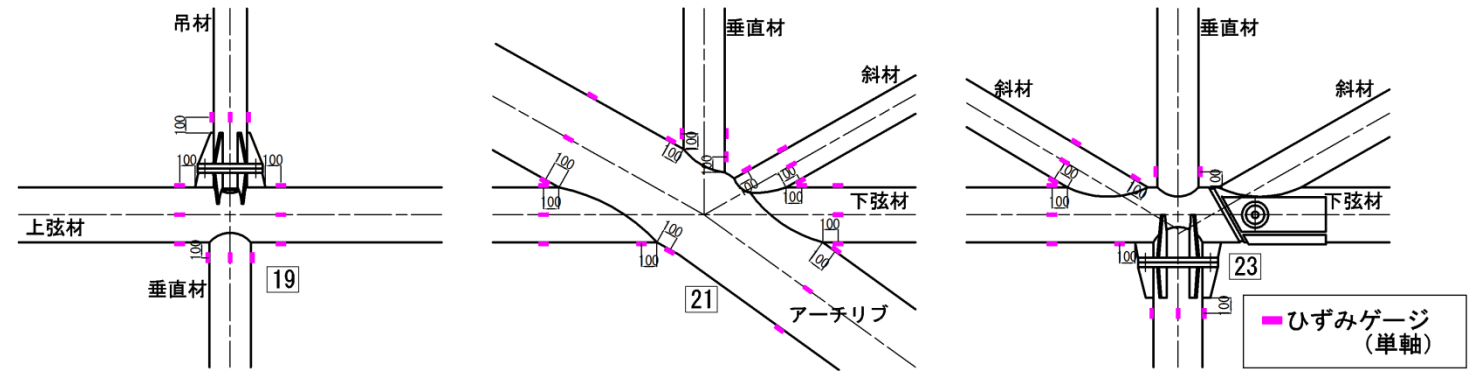


図-4.11 対比応力位置（格点部）

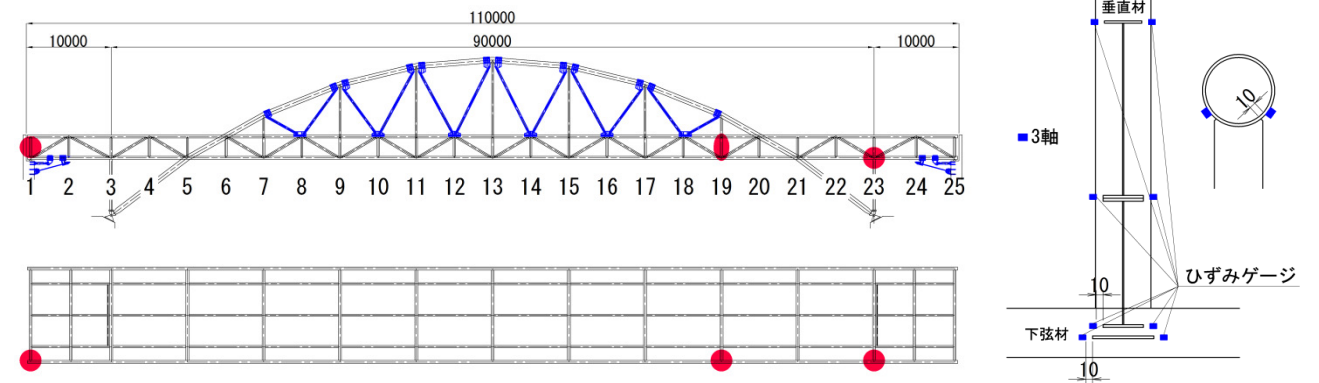
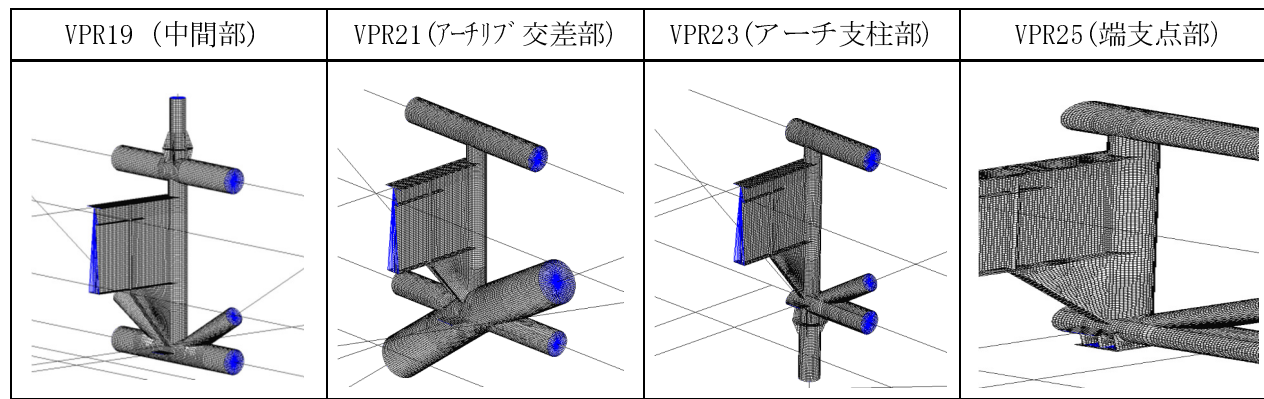


図-4.12 対比応力位置（横桁と垂直材、下弦材との接続部）

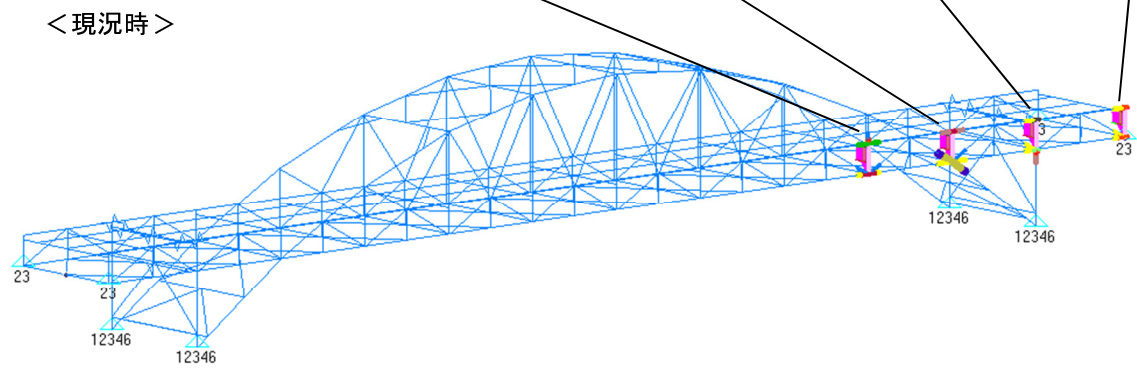


図-4.10 解析モデル