

# 橋梁の変形挙動

## [参考資料 2] 橋梁の変形挙動

### 参 1. 目的

「Ⅱ. 亀裂原因の推定」において、亀裂の原因となる橋梁の変形挙動を整理した。車両走行に伴う橋梁全体系の変形挙動を整理する。

### 参 2. 解析条件

#### 2-1. 解析モデル

全体系梁モデルを適用する。

#### 2-2. 適用荷重

荷重に対する変形挙動を端的に理解できるよう、载荷荷重は集中荷重である T 荷重を適用（「Ⅱ. 亀裂原因の推定」と同条件）する（図-参 1.1(a)）。

#### 2-3. 载荷ケース

車両の走行をモデル化した载荷ケースとして、各格点（格点 1～格点 25） T 荷重を载荷させる 25 ケースを検討する（図-参 1.1(b)）。

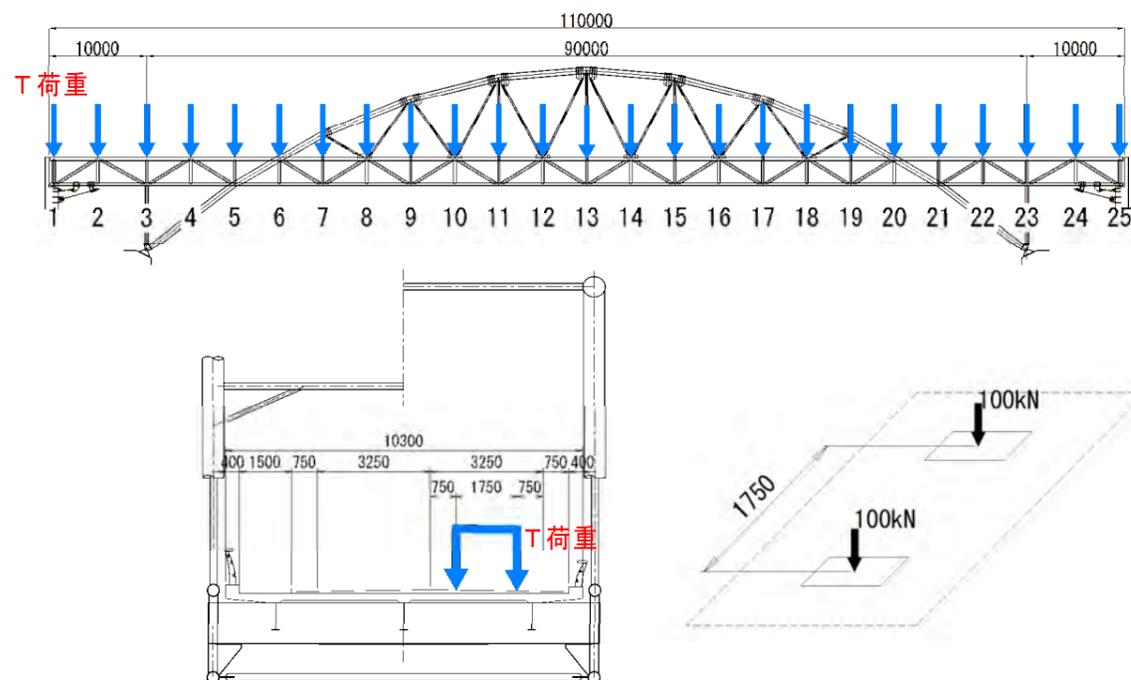


図-参 1.1 载荷状態

### 参 3. 橋梁全体系挙動の整理方針

#### 3-1. 車両走行に対する変形挙動（梁要素）の整理

伊達橋の構造系としては、建設時の構造系（建設時モデル）と、H18年の耐震補強工事を実施した後の構造系（耐震補強時モデル）がある。全体系挙動の整理として、まず亀裂が確認された時点の構造系である耐震補強時の構造系について、車両走行に対する変形挙動を整理する。

整理にあたっては、図-参 1.2 に示すようにアーチ径間と側径間に分けて、主構（アーチリブ、上弦材、下弦材）と横桁の変形に着目する。

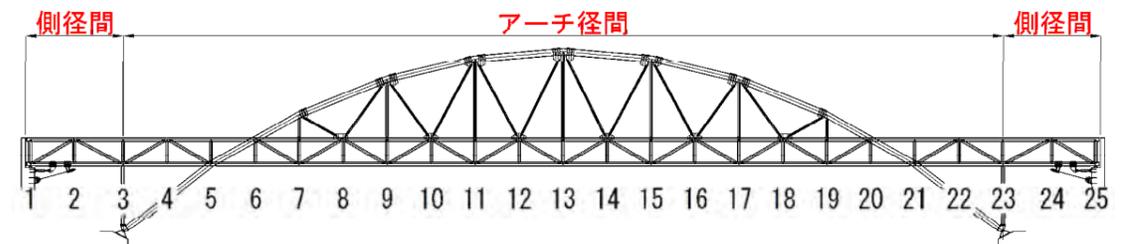


図-参 1.2 側面図

#### 3-2. 建設時と耐震補強時構造系の比較

耐震補強前後の挙動の違いを確認することを目的に、建設時と耐震補強時の構造系の変形挙動を比較する。

#### 3-3. 車両走行に対する格点部の変形挙動（シェル要素）の整理

梁要素では再現できない車両走行による格点部の細部挙動を整理する。

参 4. 橋梁全体系の挙動の整理

4-1. アーチ径間の挙動

4-1-1. 主構の挙動 (アーチ径間)

T 荷重を載荷させた時の主構 (アーチリブ、吊材、耐震ブレース、上下弦材、垂直材、斜材) の変形図を 図-参 1.3、主要点 (格点 13、17、23) のアーチリブ、上弦材および下弦材の R 側の変形波形 (橋軸方向 X、直角方向 Y、鉛直方向 Z) を 図-参 1.4、図-参 1.5、図-参 1.6、アーチリブおよび上弦材の R 側と L 側を重ねた変形波形 (X、Y、Z) を 図-参 1.7、図-参 1.8、図-参 1.9 に示す。

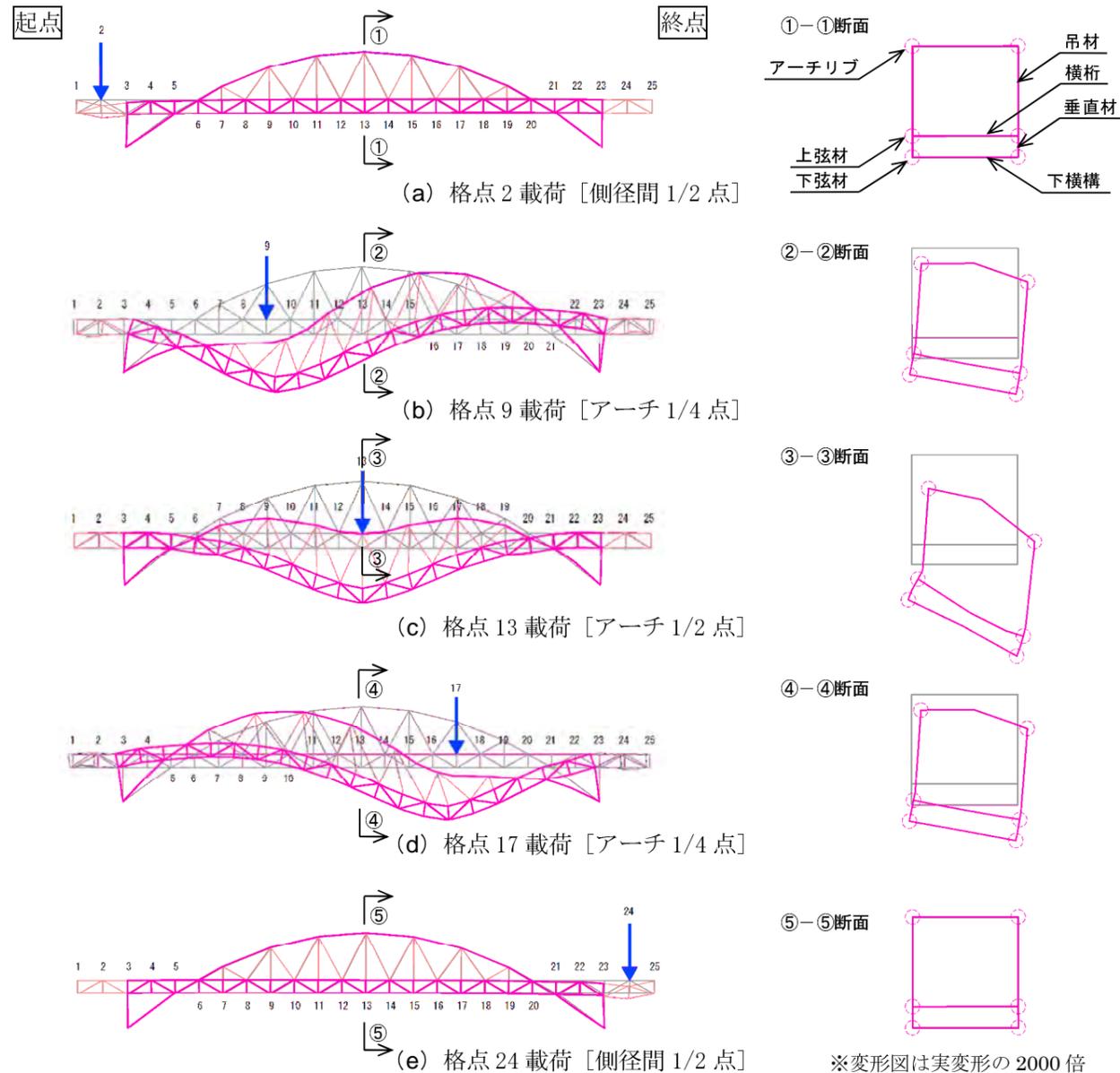


図-参 1.3 アーチ部の挙動 (側面図および断面図)

- 側径間の 1/2 点である 格点 2、24 に載荷 した際は、アーチ径間の主構にはほとんど変形が生じない。 (図-参 1.3 (a) (e))
- アーチ径間の 1/4 点である 格点 9、17 に載荷 した際に、主構 (アーチリブ) の最大変位が生じている。 (図-参 1.3 (b) (d))
- 片側載荷 としているため、活荷重が載荷している側に 主構が倒れ込むような変形が生じる。 (図-参 1.3)

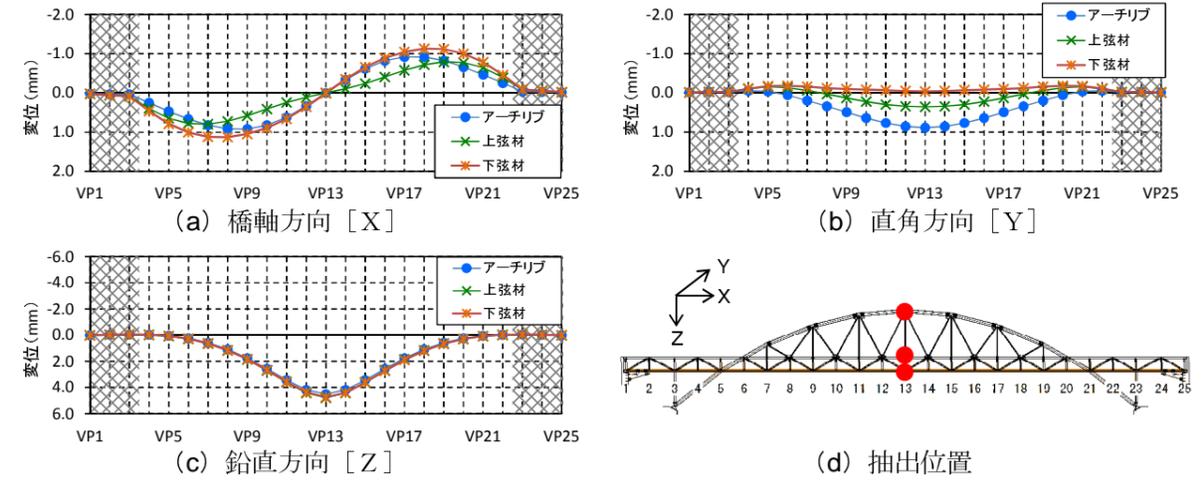


図-参 1.4 R側変形波形図 (VP13 着目)

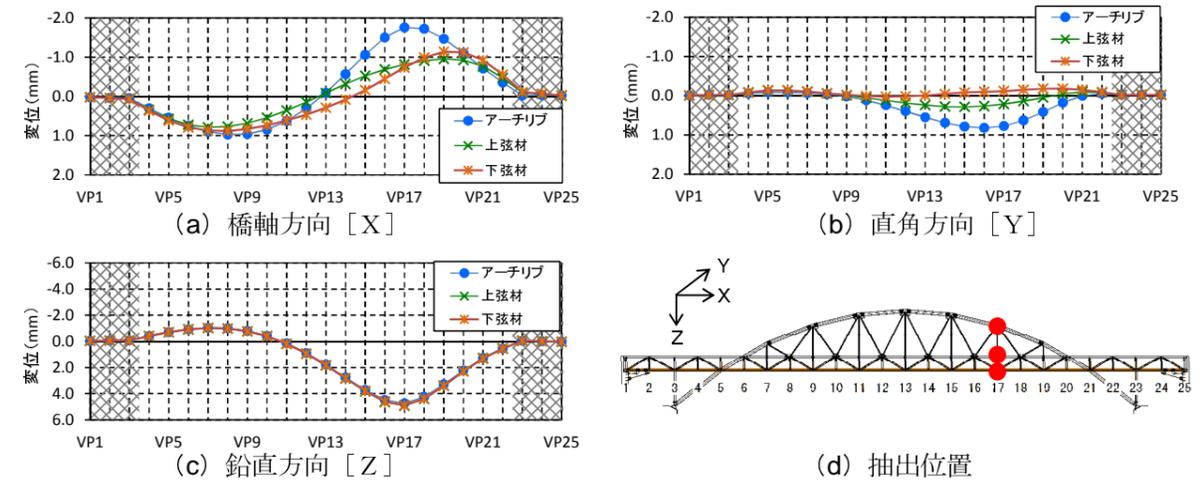


図-参 1.5 R側変形波形図 (VP17 着目)

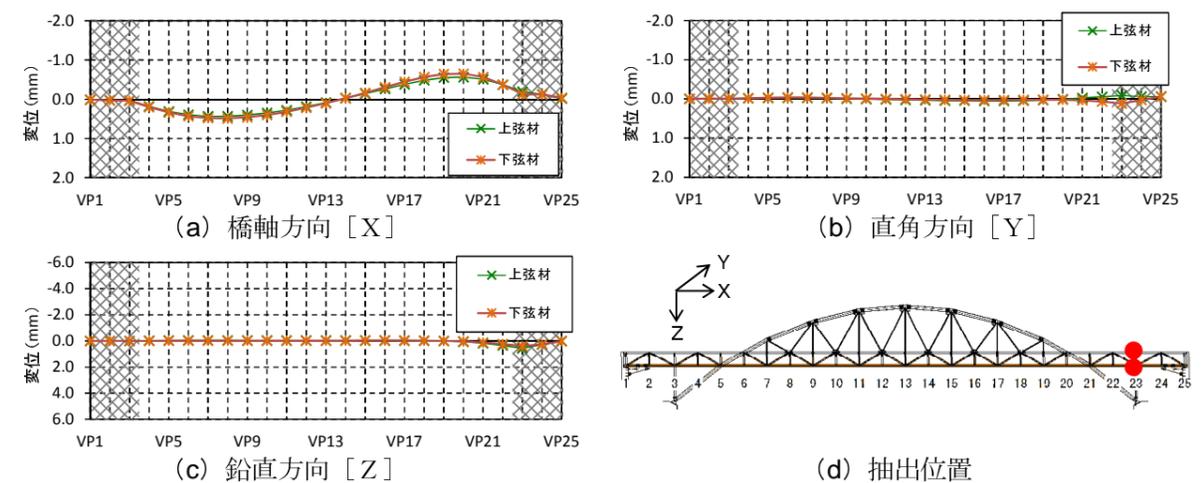


図-参 1.6 R側変形波形図 (VP23 着目)

- 格点 13 着目時の橋軸方向 [X] は、アーチリブ、上弦材および下弦材にずれが生じている。 直角方向 [Y] は、アーチリブが最も倒れ込み、次いで上弦材となる。 鉛直方向 [Z] は、全ての部材の挙動が一致する。 (図-参 1.4)
- 格点 17 着目時の全方向は、格点 13 に着目した場合と同様の挙動となる。 (図-参 1.5)
- 格点 23 着目時の橋軸方向 [X] は、上弦材と下弦材に若干のずれが生じている。 直角方向 [Y] と鉛直方向 [Z] は、全ての部材の挙動が一致する。 (図-参 1.6)

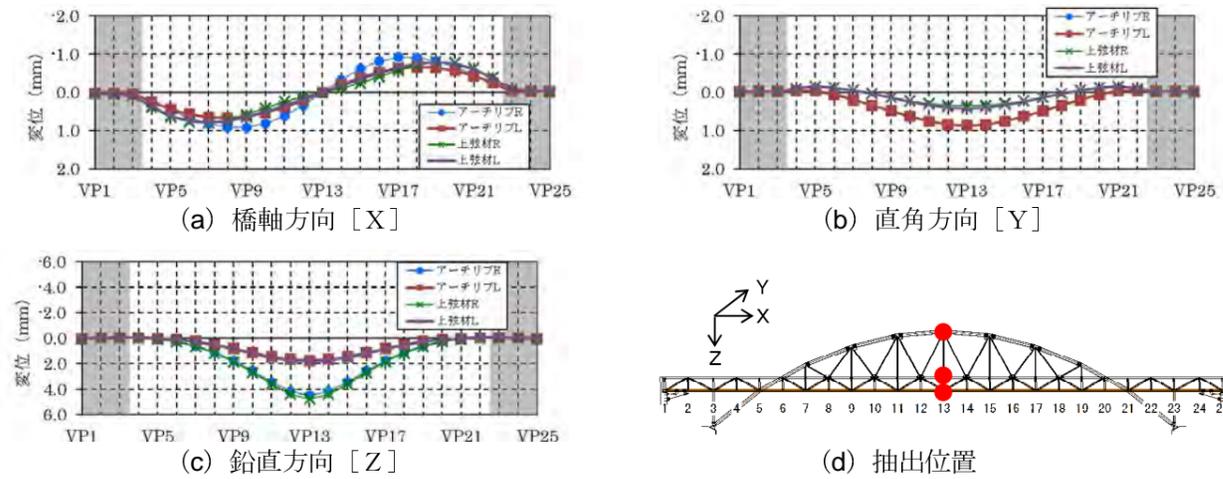


図-参 1.7 L・R側変形波形図 (VP13 着目)

- 格点 13 着目時の橋軸方向 [X] は、アーチリブの L と R にずれが生じている。 直角方向 [Y] は、アーチリブおよび上弦材の L と R に差がないが、鉛直方向 [Z] は、アーチリブおよび上弦材共に R 側の方が変形が大きいことから上部工断面が橋軸回りにねじれる挙動を示している。(図-参 1.7)
- 格点 17 着目時の全方向は、格点 13 に着目した場合と同様の挙動となる。(図-参 1.8)
- 格点 23 着目時の全方向で L と R に差がなく、上部工断面にねじれは生じていない。(図-参 1.9)

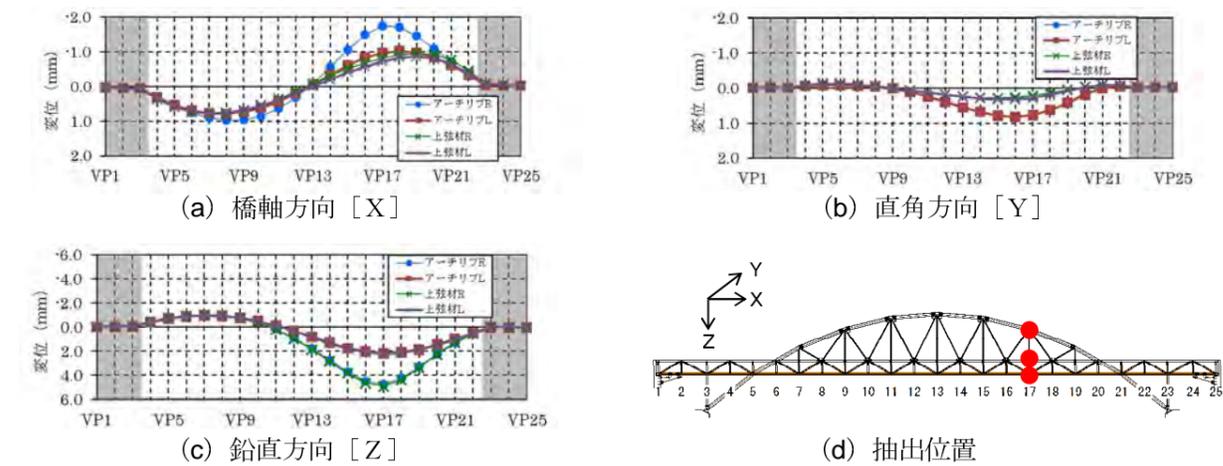


図-参 1.8 L・R側変形波形図 (VP17 着目)

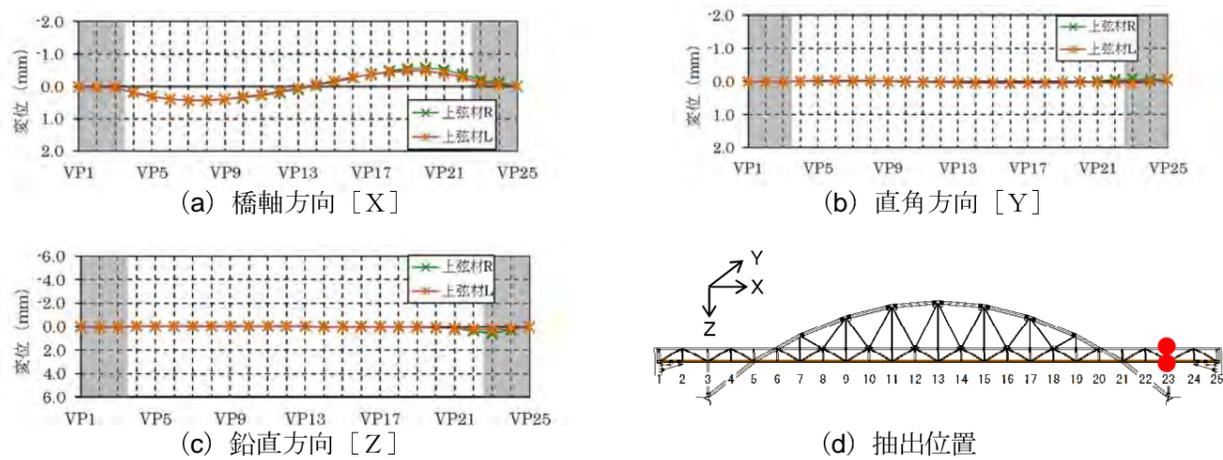


図-参 1.9 L・R側変形波形図 (VP23 着目)

#### 4-1-2. 横桁の挙動 (アーチ径間)

T 荷重を載荷させた時の横桁の変形図を図-参 1.10、主要点 (VP13、VP17、VP23) の上弦材および縦桁・横桁の変形波形 (橋軸方向 X、直角方向 Y、鉛直方向 Z) を図-参 1.11、図-参 1.12、図-参 1.13 に示す。

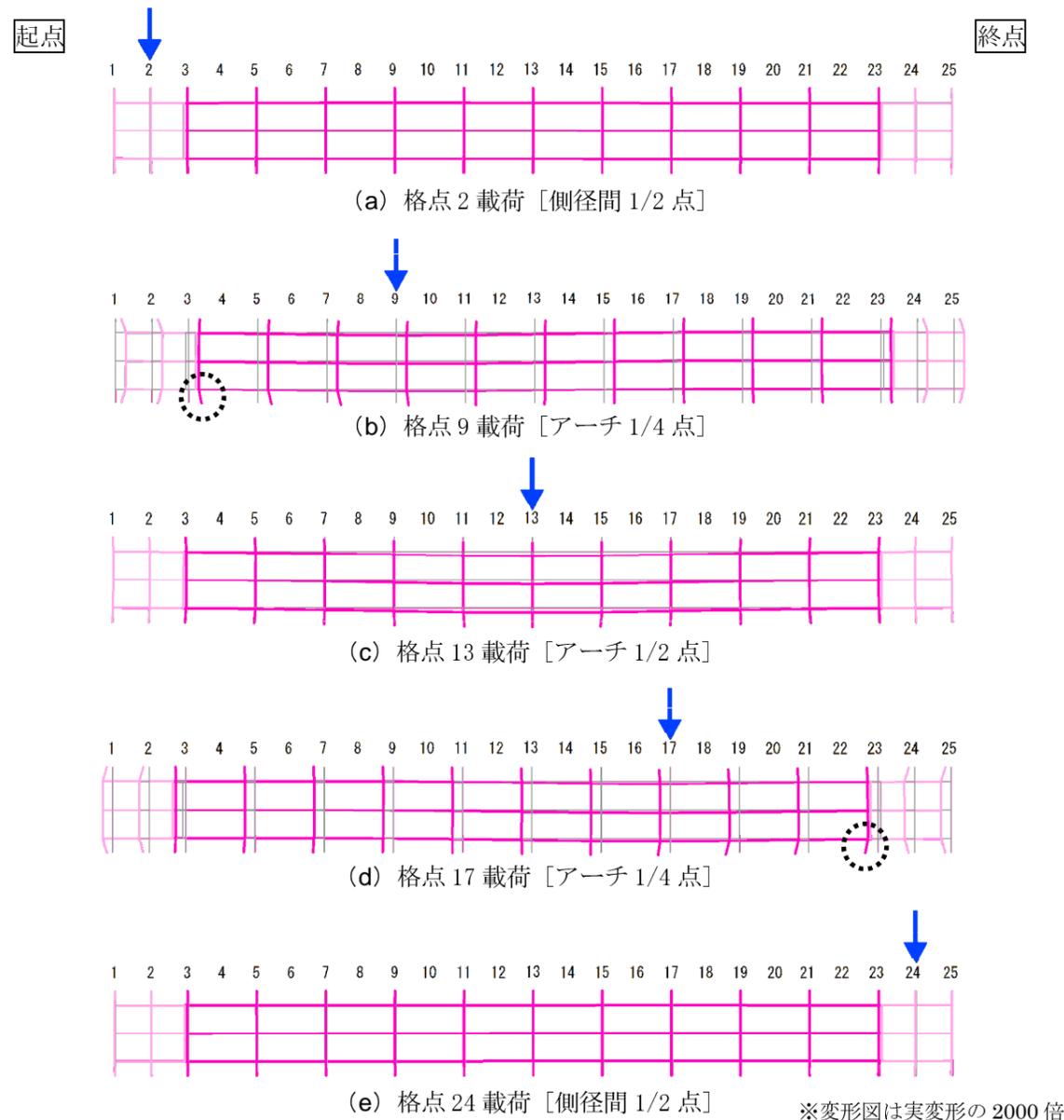


図-参 1.10 横桁の挙動 (平面図)

- 側径間の 1/2 点である 格点 2、24 に載荷 した際は、アーチ径間の 横桁に変形が生じない。  
(図-参 1.10 (a) (e))
- アーチ径間の 1/4 点である 格点 9 に載荷 した際は、床組が全体的に終点側に押される。また、主構の方が終点側に押されるため、主構と床組の相対変位により横桁が折れるような変形が生じる。  
(図-参 1.10 (b))
- アーチ径間の 1/4 点である 格点 17 に載荷 した際は、逆に床組が全体的に起点側に押される。また、主構の方が起点側に押されるため、主構と床組の相対変位により横桁が折れるような変形が生じる。  
(図-参 1.10 (d))

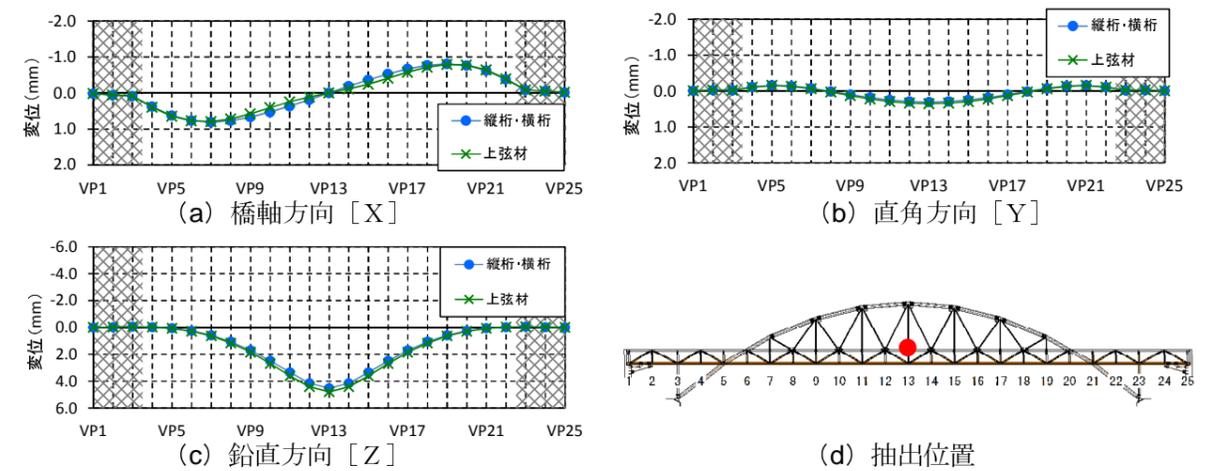


図-参 1.11 R 側変形波形図 (VP13 着目)

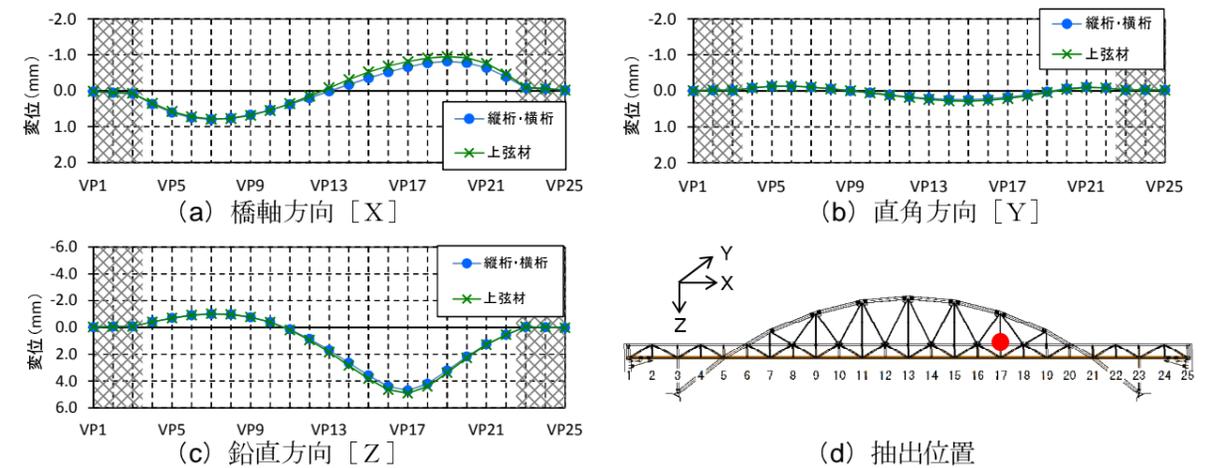


図-参 1.12 R 側変形波形図 (VP17 着目)

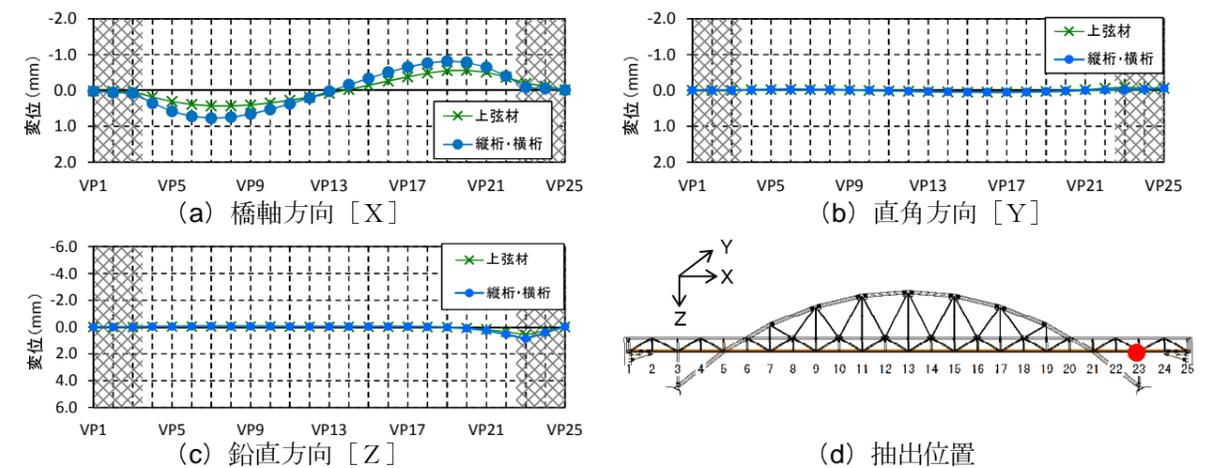


図-参 1.13 R 側変形波形図 (VP23 着目)

- 格点 13 着目時の全方向は、上弦材と縦桁・横桁の挙動が一致している (図-参 1.11 (a))。
- 格点 17 着目時の橋軸方向 [X] は、挙動が若干ズレており相対変位が発生している (図-参 1.12 (a))。直角方向 [Y] および鉛直方向 [Z] は、部材の挙動が一致している (図-参 1.12 (b) (c))。
- 格点 23 着目時の橋軸方向 [X] は、挙動がズレており大きな相対変位が発生している (図-参 1.13 (a))。直角方向 [Y] および鉛直方向 [Z] は、部材の挙動が一致している (図-参 1.13 (b) (c))。

## 4-2. 側径間の挙動

### 4-2-1. 主構の挙動（側径間）

T荷重を載荷させた時の主構（アーチリブ、吊材、耐震ブレース、上下弦材、垂直材、斜材）の変形図を図-参 1.14、主要点（格点 24）の上弦材および下弦材の変形波形（橋軸方向 X、直角方向 Y、鉛直方向 Z）を図-参 1.15、上弦材の R 側と L 側を重ねた変形波形（X、Y、Z）を図-参 1.16 に示す。

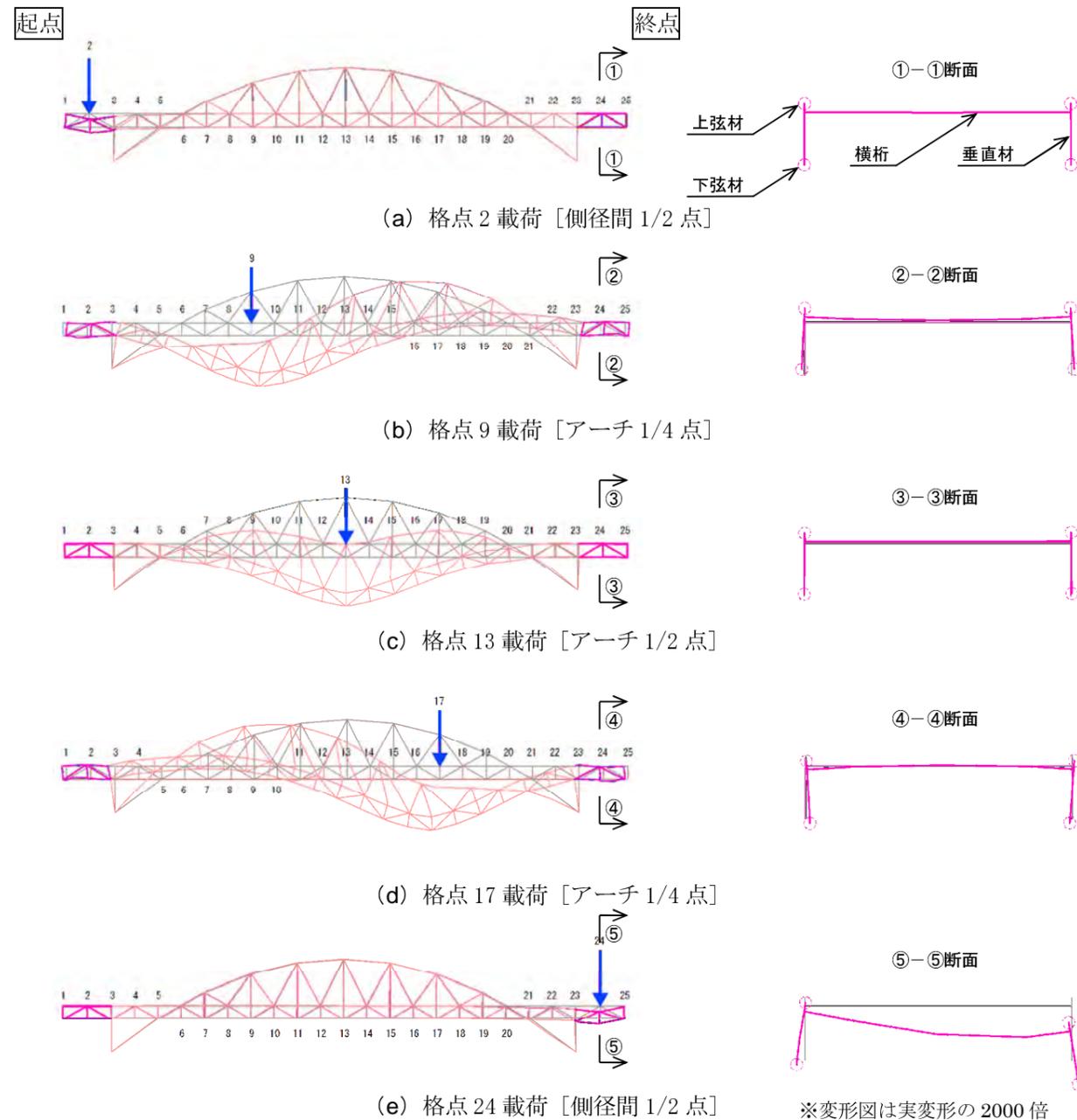


図-参 1.14 アーチ部の挙動（側面図および断面図）

- 側径間の 1/2 点である 格点 2、24 に載荷した際に、主構の最大変位が生じている。（図-参 1.14 (a) (e)）
- アーチ径間の 1/4 点である格点 9、17 に載荷した際は、アーチ径間の橋軸方向の変化が、ゲルバーヒンジ部の下弦材ピン構造を通して伝達し、主構に変形が生じる。（図-参 1.14 (b) (d)）
- アーチ径間の 1/4 点である 格点 9、17 に載荷した際に、主構（アーチリブ）の最大変位が生じている。（図-参 1.14 (b) (d)）

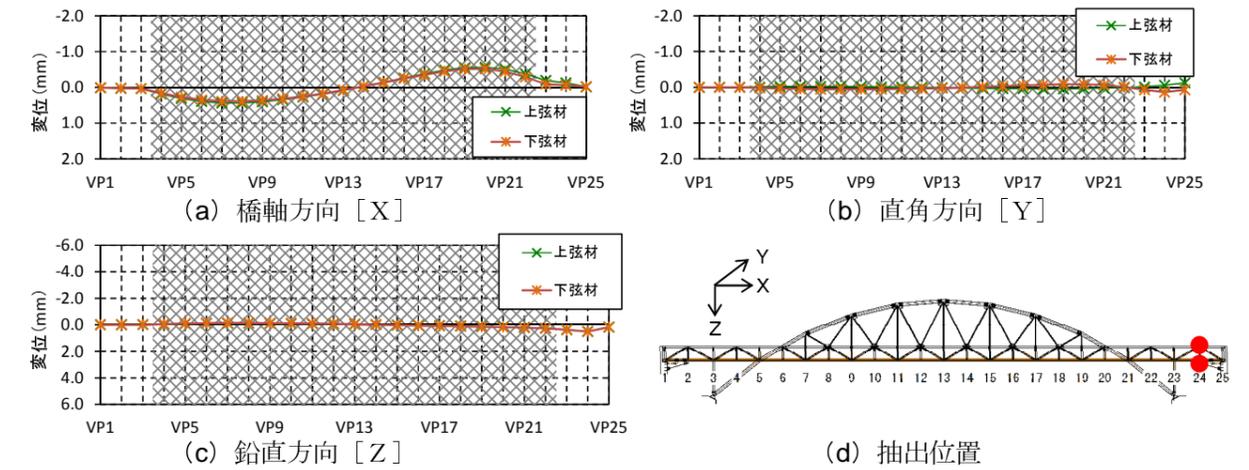


図-参 1.15 R 側変形波形図（VP24 着目）

- 格点 24 着目時の橋軸方向 [X] は、アーチ支間部に載荷した際に大きな変形が生じる。全ての部材の挙動は一致している。

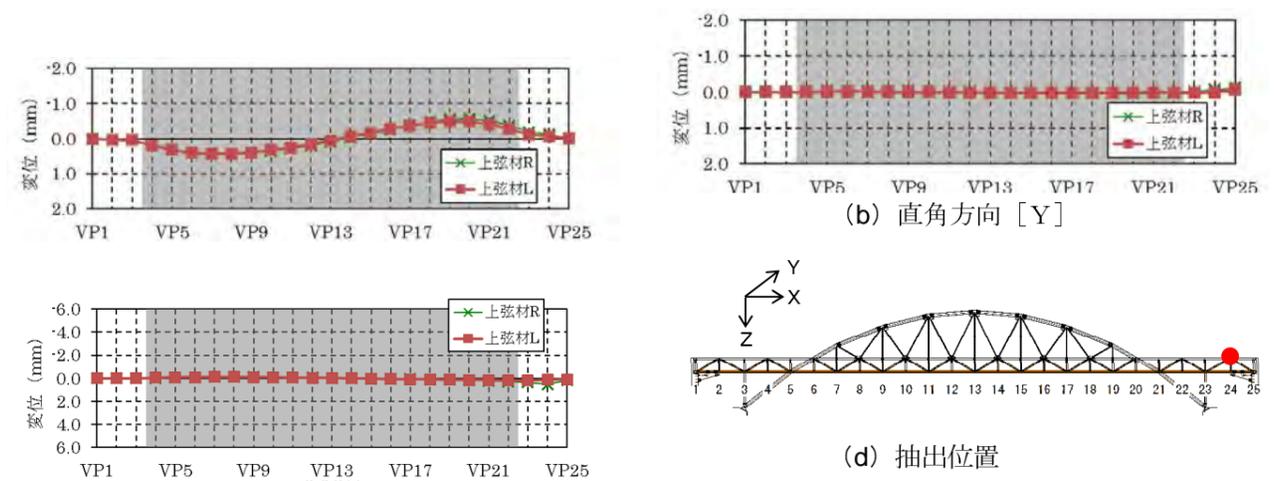


図-参 1.16 L・R 側変形波形図（VP24 着目）

- 格点 24 着目時の全方向で L と R に差がなく、上部工断面にねじれが生じていないが、格点直上載荷である VP24 載荷時のみ R の変位が大きく、ねじれ変形が見られる（図-参 1.14(e) の断面図にみられる変形）。

#### 4-2-2. 横桁の挙動（側径間）

T荷重を載荷させた時の横桁の変形図を図-参 1-17、主要点（格点 24）の上弦材および縦桁・横桁の変形波形（橋軸方向 X、直角方向 Y、鉛直方向 Z）を図-参 1-18 に示す。

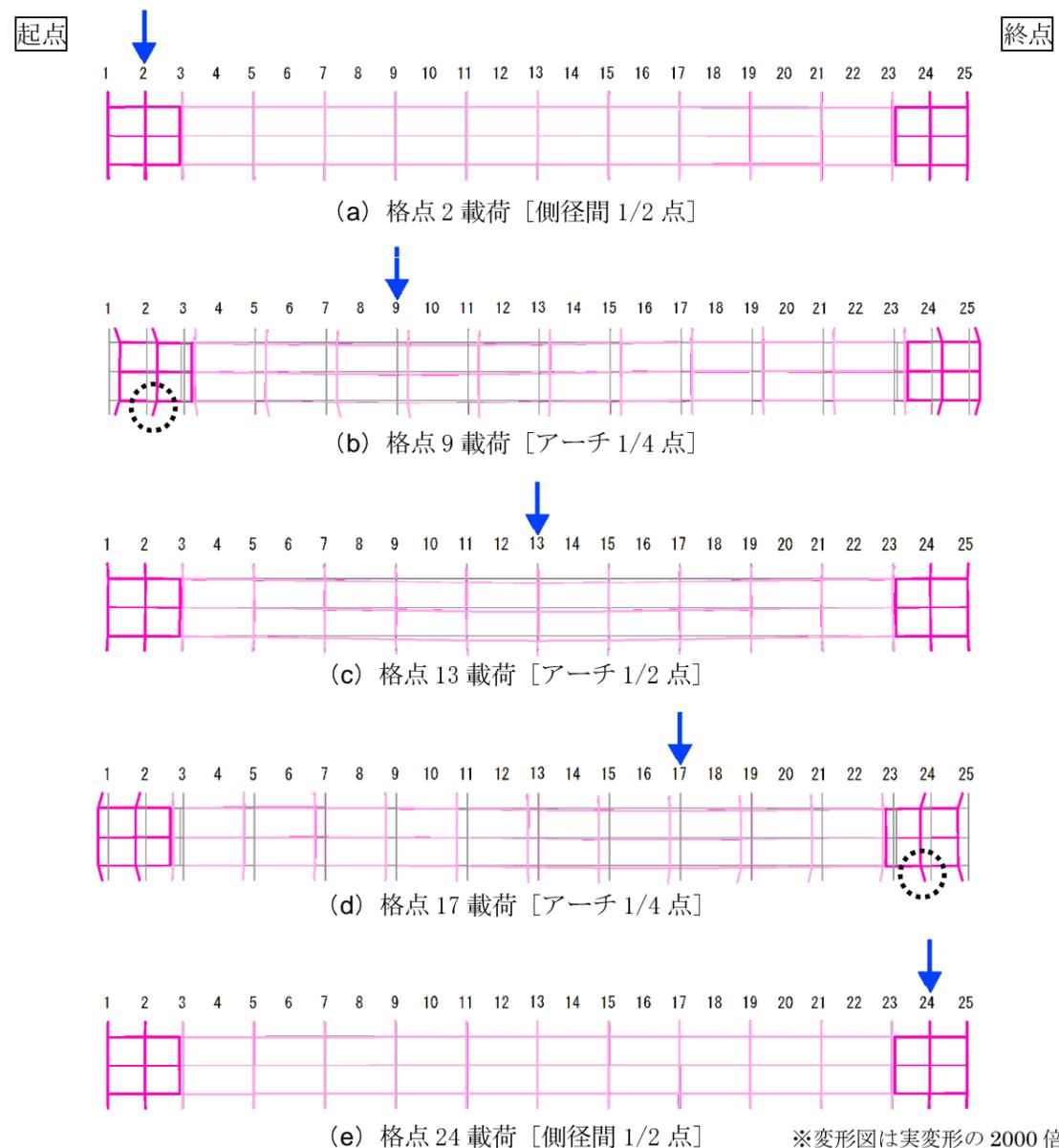


図-参 1.17 横桁の挙動（平面図）

- 側径間の 1/2 点である 格点 2、24 に載荷した際は、側径間の 横桁に変形が生じない。（図-参 1.17(a),(e)）
- アーチ径間の 1/4 点である 格点 9 に載荷した際は、床組が全体的に終点側に押される。また、主構よりも 床組の方が終点側に押されるため、主構と床組の相対変位により横桁に折れるような変形が生じる。（図-参 1.17(b)）
- アーチ径間の 1/4 点である 格点 17 に載荷した際は、逆に床組が全体的に起点側に押される。また、主構よりも 床組の方が起点側に押されるため、主構と床組の相対変位により横桁が折れるような変形が生じる。（図-参 1.17(d)）

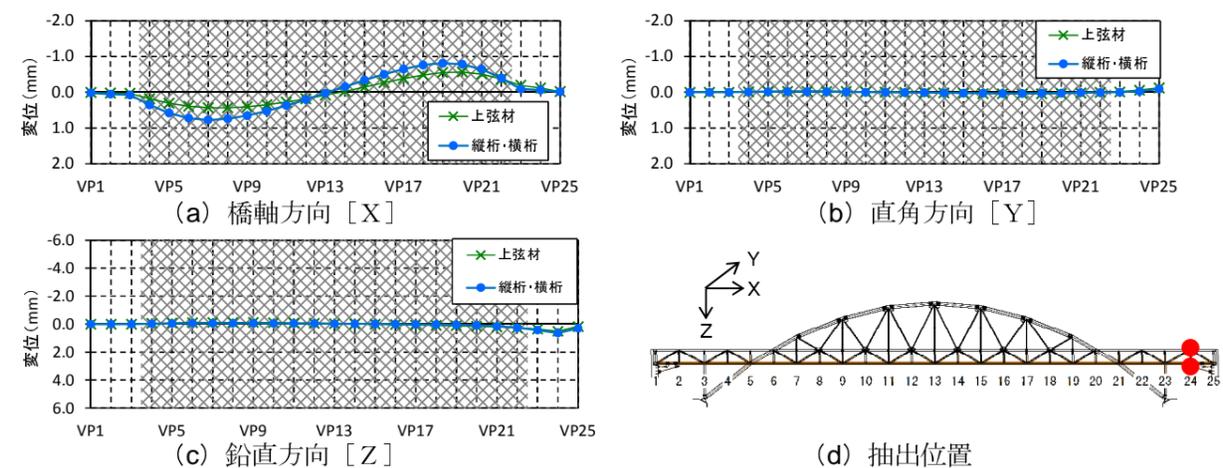


図-参 1.18 R 側変形波形図（VP24 着目）

- 格点 24 着目時の橋軸方向 [X] は、上弦材と床組の挙動がズレておりアーチ径間よりも大きな相対変位が発生している（図-参 1.18 (a)）。直角方向 [Y] および鉛直方向 [Z] は、部材の挙動が一致している（図-参 1.18 (b) (c)）。

## 参 5. 建設時と耐震補強時構造系の変形の比較

### 5-1. 概要

前章までに整理した全体系の変形挙動について、建設時と耐震補強時の構造系で比較する。

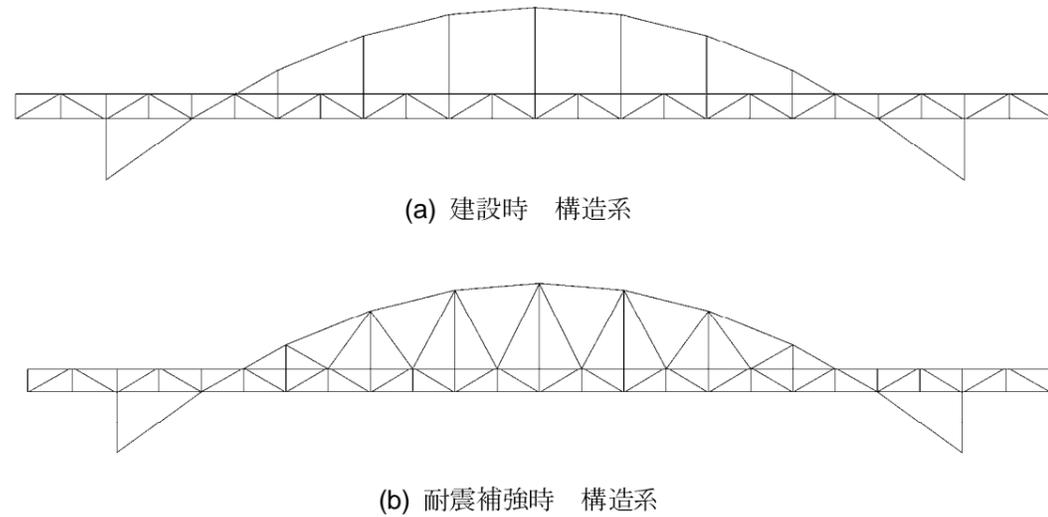


図-参 1.19 建設時と耐震補強時の解析モデル

### 5-2. 比較結果

#### (1) アーチ支間 1/4 点 点荷時

鉛直たわみ量が最も大きくなるアーチ支間 1/4 点 VP9 荷時の変形図を図-参 1.20 に示す。

耐震補強時の構造系は、耐震ブレースの設置によりトラスドアーチ構造となったことで曲げ剛性が向上している。そのため、アーチの変形が最も大きくなる 1/4 点荷時の変形が、耐震補強により大きく抑えられていることが解る。

変形量に違いはあるものの、変形の傾向は、耐震補強の前後で大きな変化はない。平面図を見ても、横桁の面外変形も大きさは異なるものの、建設時も耐震補強時も同様に生じている。

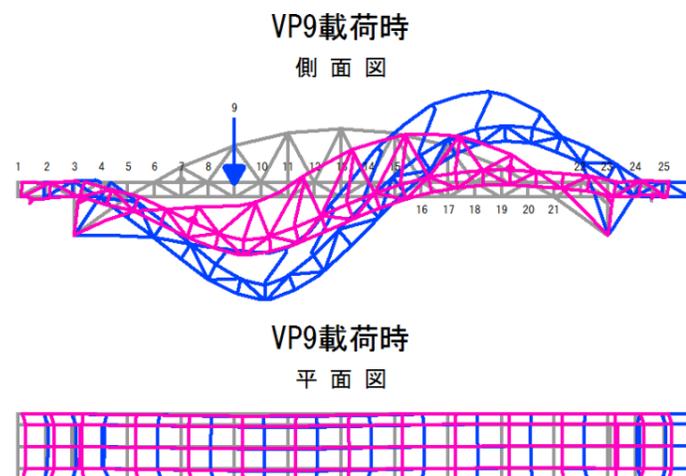


図-参 1.20 アーチ支間 1/4 点荷時の変形の比較

#### (2) 支間中央荷時

支間中央の VP13 荷時の変形図を図-参 1.21 に示す。

支間中央に荷した場合は、アーチリブで荷重を支えるという耐荷機構が、建設時も耐震補強時も共通であるため、変形に大きな差は見られない。

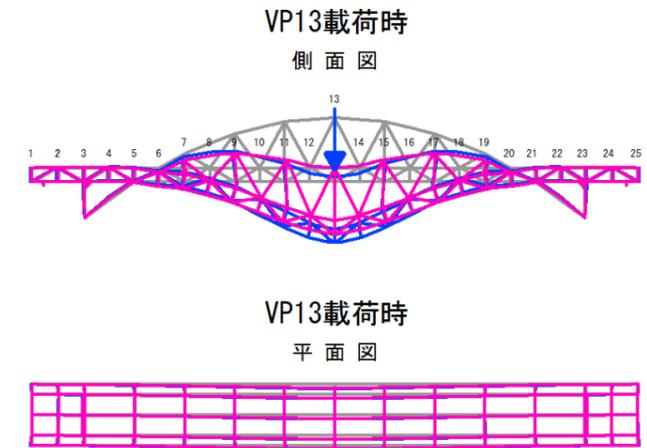


図-参 1.21 支間中央 (VP13) 荷時の変形の比較

次ページ以降に、変形図一覧を示す。

- ・耐震補強時モデルの VP1～VP25 荷時、変形図 (側面, 平面, 断面)
- ・耐震補強時モデルと建設時モデルの変形図比較 (VP1～VP25 荷時)

耐震補強時モデル 変形図一覧

	VP1 載荷時	VP2 載荷時	VP3 載荷時	VP4 載荷時	VP5 載荷時
(側面図)					
(平面図)					
(VP 13 断面)					
(VP 15 断面)					
(VP 17 断面)					
(VP 19 断面)					
(VP 21 断面)					
(VP 23 断面)					
(VP 24 断面)					
(VP 25 断面)					

	VP6載荷時	VP7載荷時	VP8載荷時	VP9載荷時	VP10載荷時
(側面図)					
(平面図)					
(VP 13 断面)					
(VP 15 断面)					
(VP 17 断面)					
(VP 19 断面)					
(VP 21 断面)					
(VP 23 断面)					
(VP 24 断面)					
(VP 25 断面)					

	VP11 載荷時	VP12 載荷時	VP13 載荷時	VP14 載荷時	VP15 載荷時
(側面図)					
(平面図)					
(VP 13 断面)					
(VP 15 断面)					
(VP 17 断面)					
(VP 19 断面)					
(VP 21 断面)					
(VP 23 断面)					
(VP 24 断面)					
(VP 25 断面)					

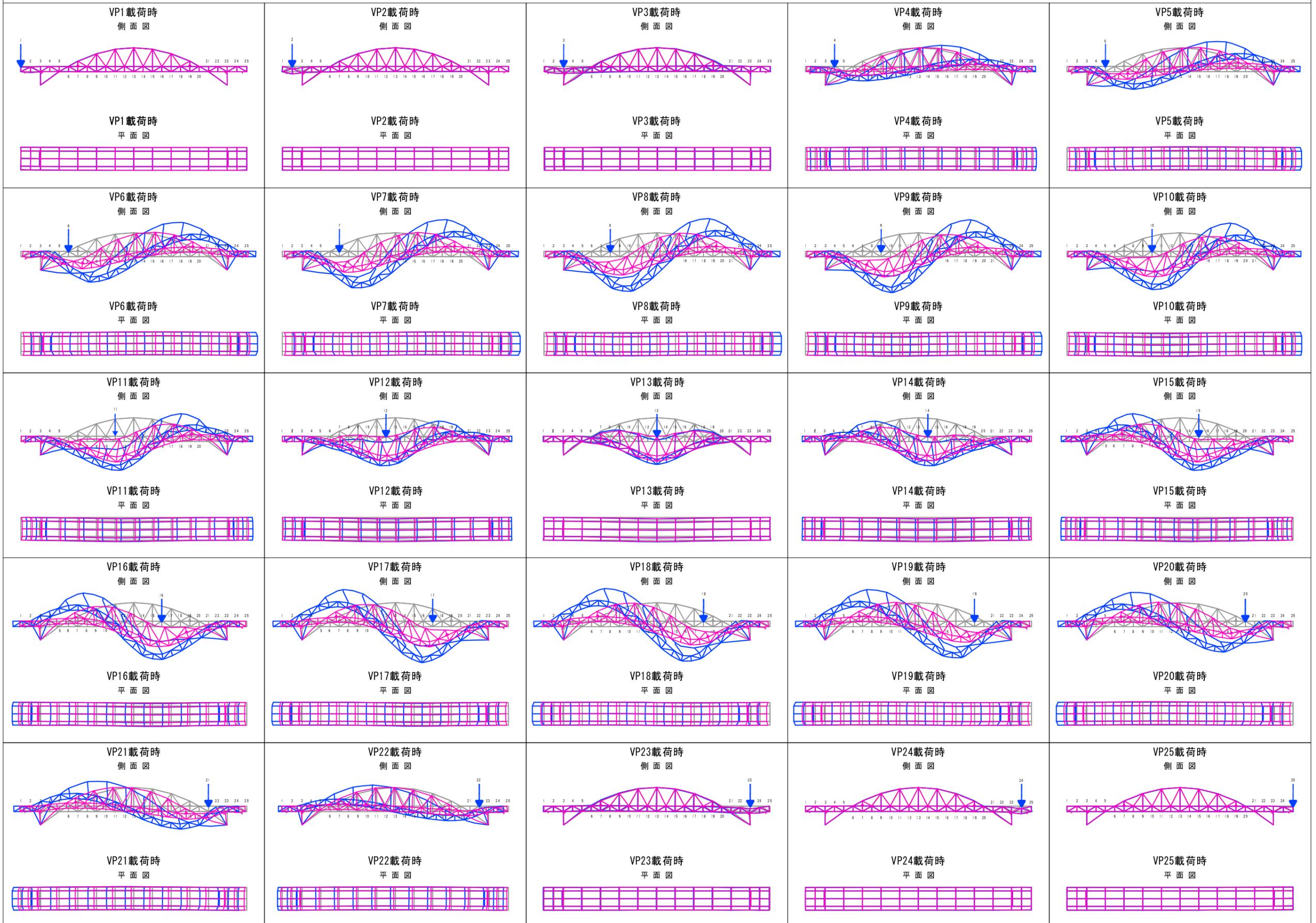
	VP16載荷時	VP17載荷時	VP18載荷時	VP19載荷時	VP20載荷時
(側面図)					
(平面図)					
(VP 13 断面)					
(VP 15 断面)					
(VP 17 断面)					
(VP 19 断面)					
(VP 21 断面)					
(VP 23 断面)					
(VP 24 断面)					
(VP 25 断面)					

	VP21載荷時	VP22載荷時	VP23載荷時	VP24載荷時	VP25載荷時
(側面図)					
(平面図)					
(VP 13 断面)					
(VP 15 断面)					
(VP 17 断面)					
(VP 19 断面)					
(VP 21 断面)					
(VP 23 断面)					
(VP 24 断面)					
(VP 25 断面)					

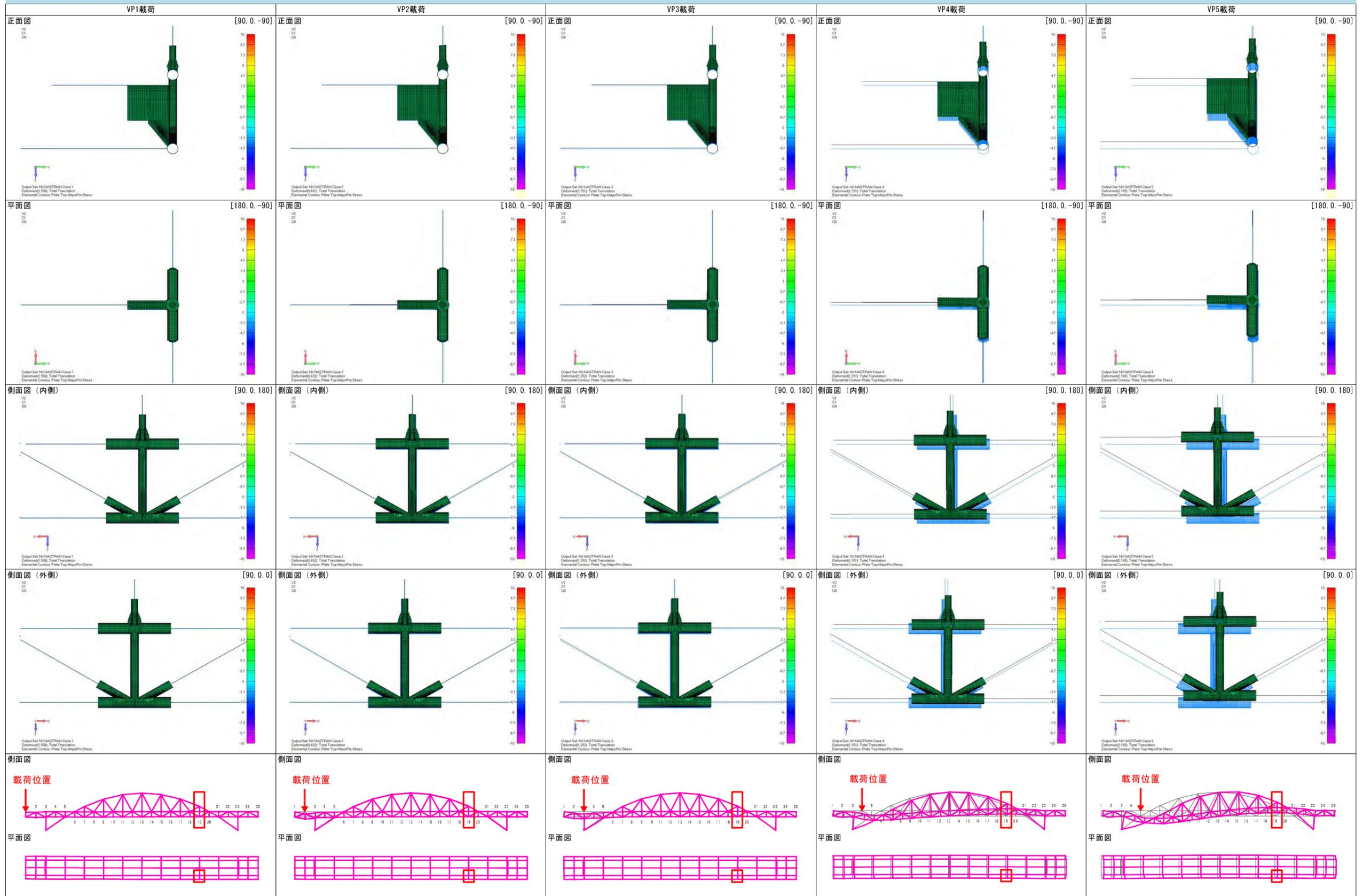
建設時と耐震補強時モデルの変形図比較一覧

建設時

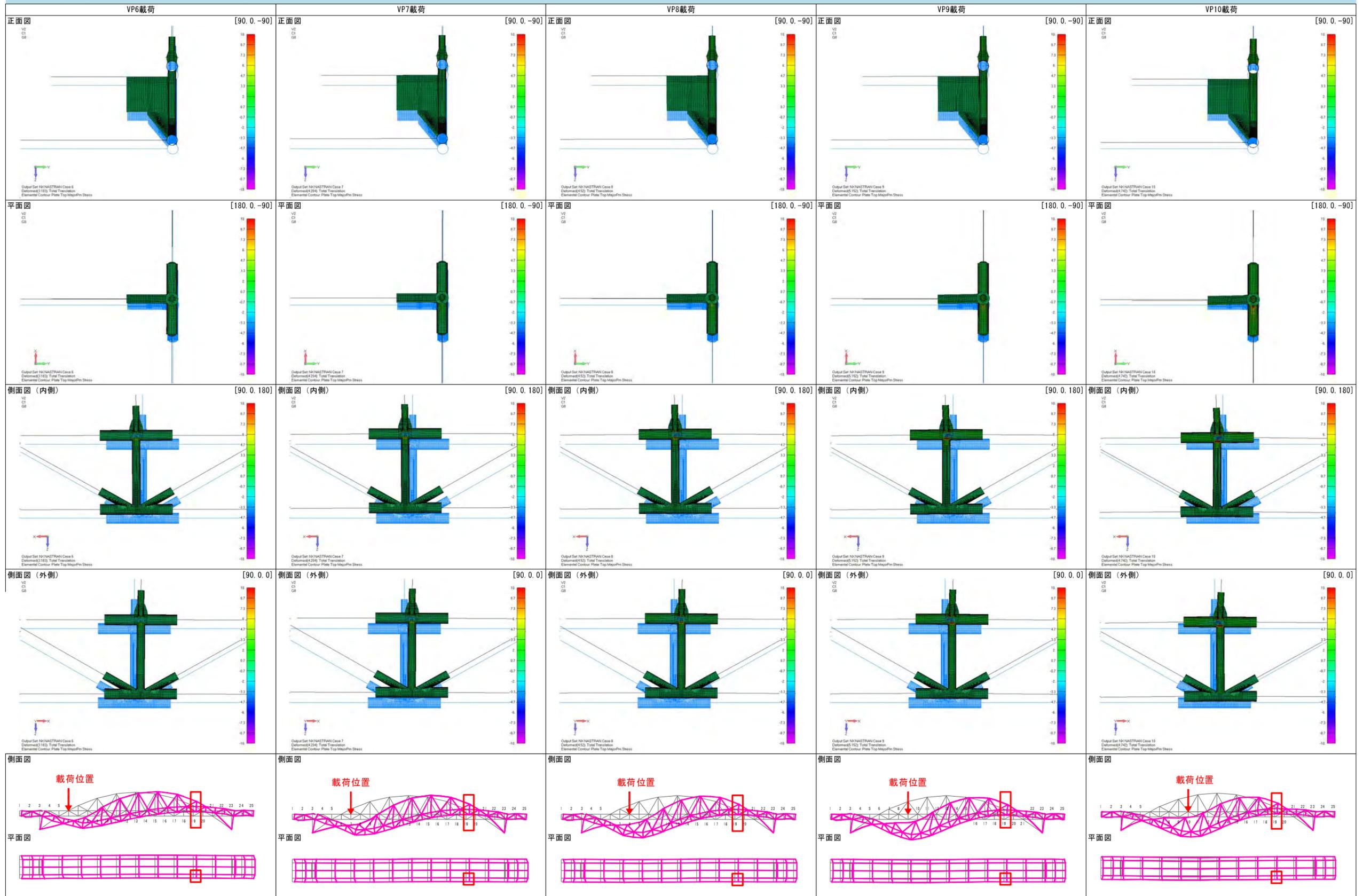
耐震補強時



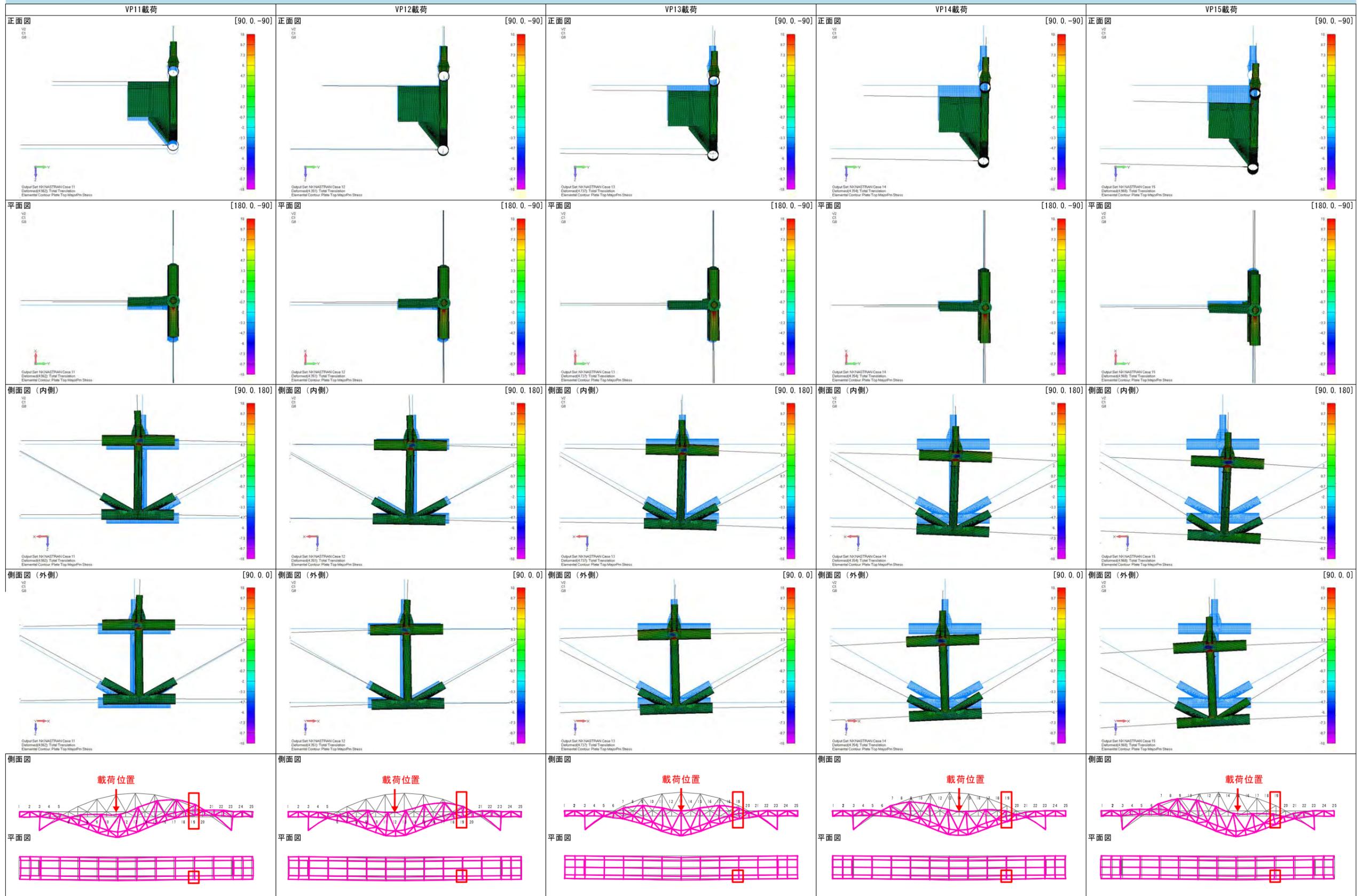
格点部変形図 (最大主応力コンター図) VPR19格点 (1/5)



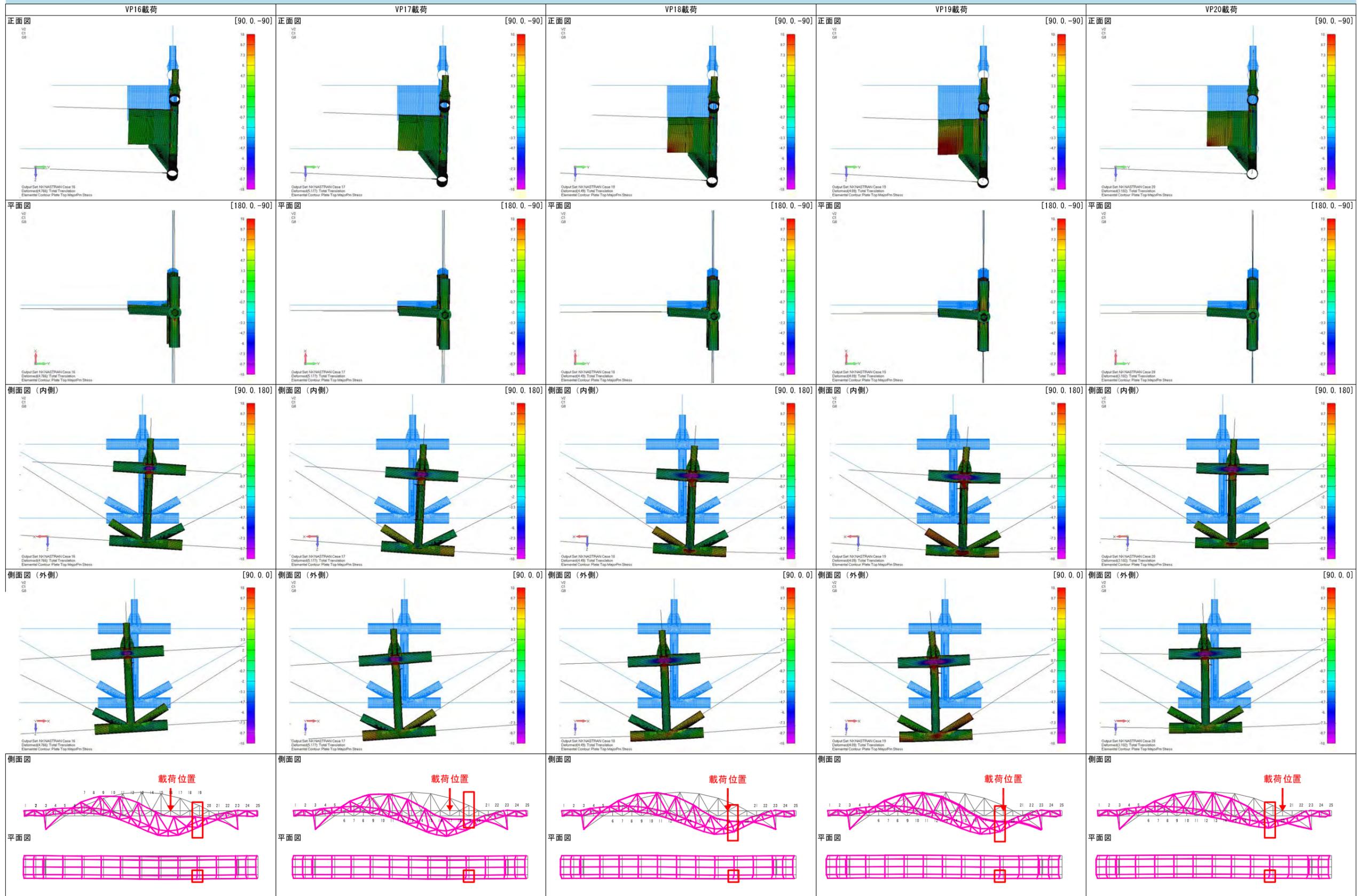
格点部変形図 (最大主応力コンター図) VPR19格点 (2/5)



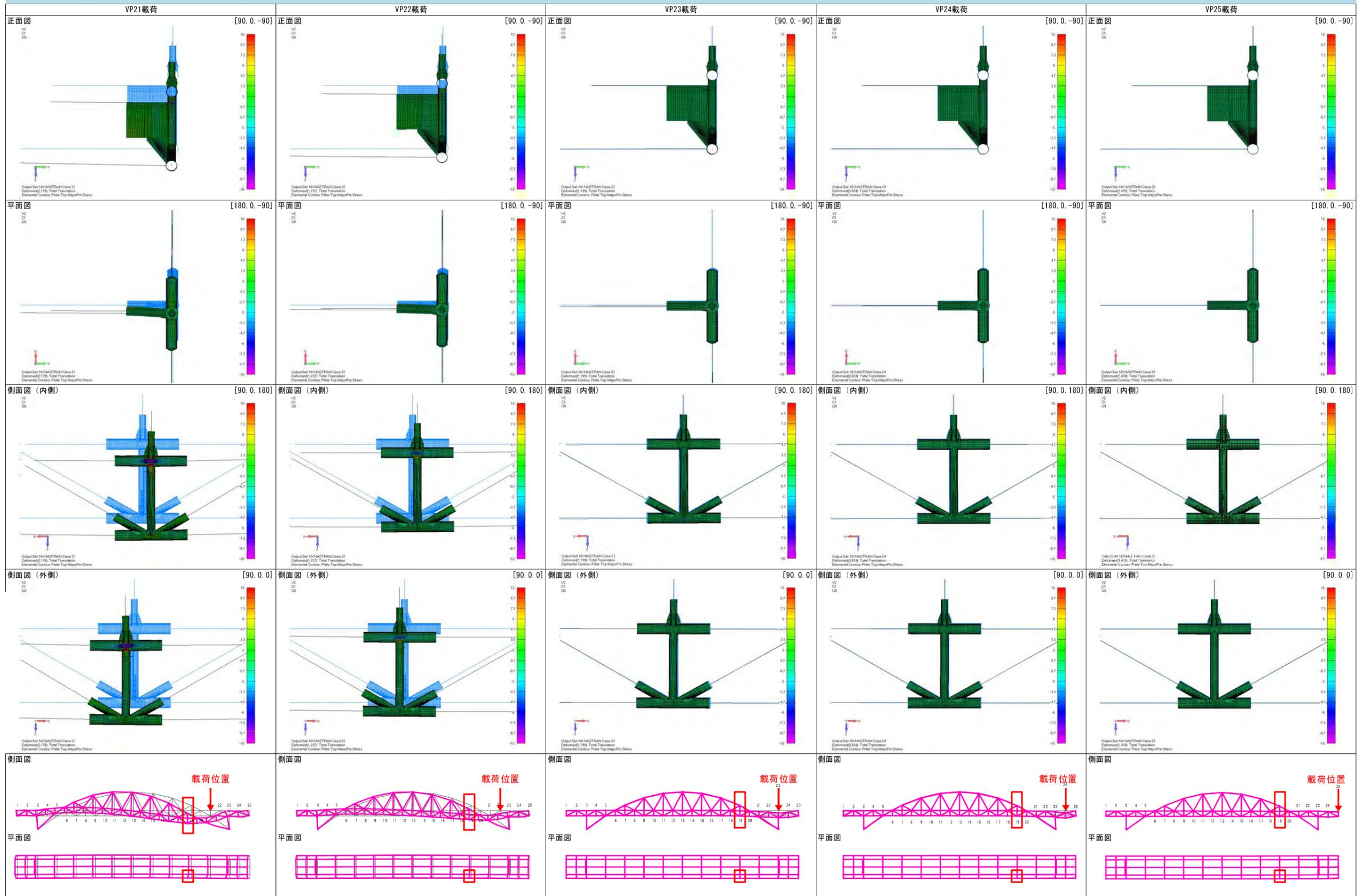
格点部変形図 (最大主応力コンター図) VPR19格点 (3/5)



格点部変形図 (最大主応力コンター図) VPR19格点 (4/5)

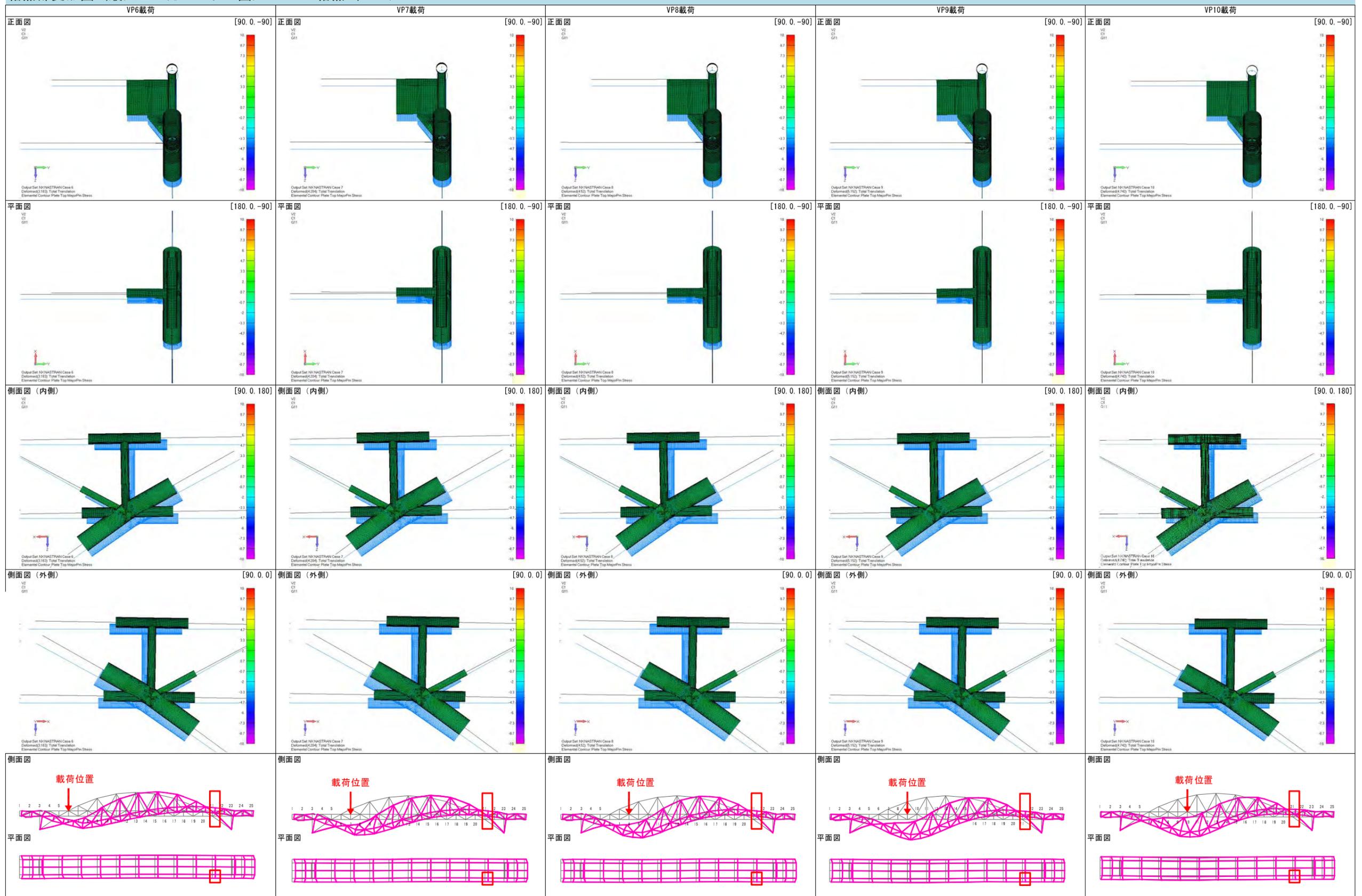


格点部変形図 (最大主応力コンター図) VPR19格点 (5/5)

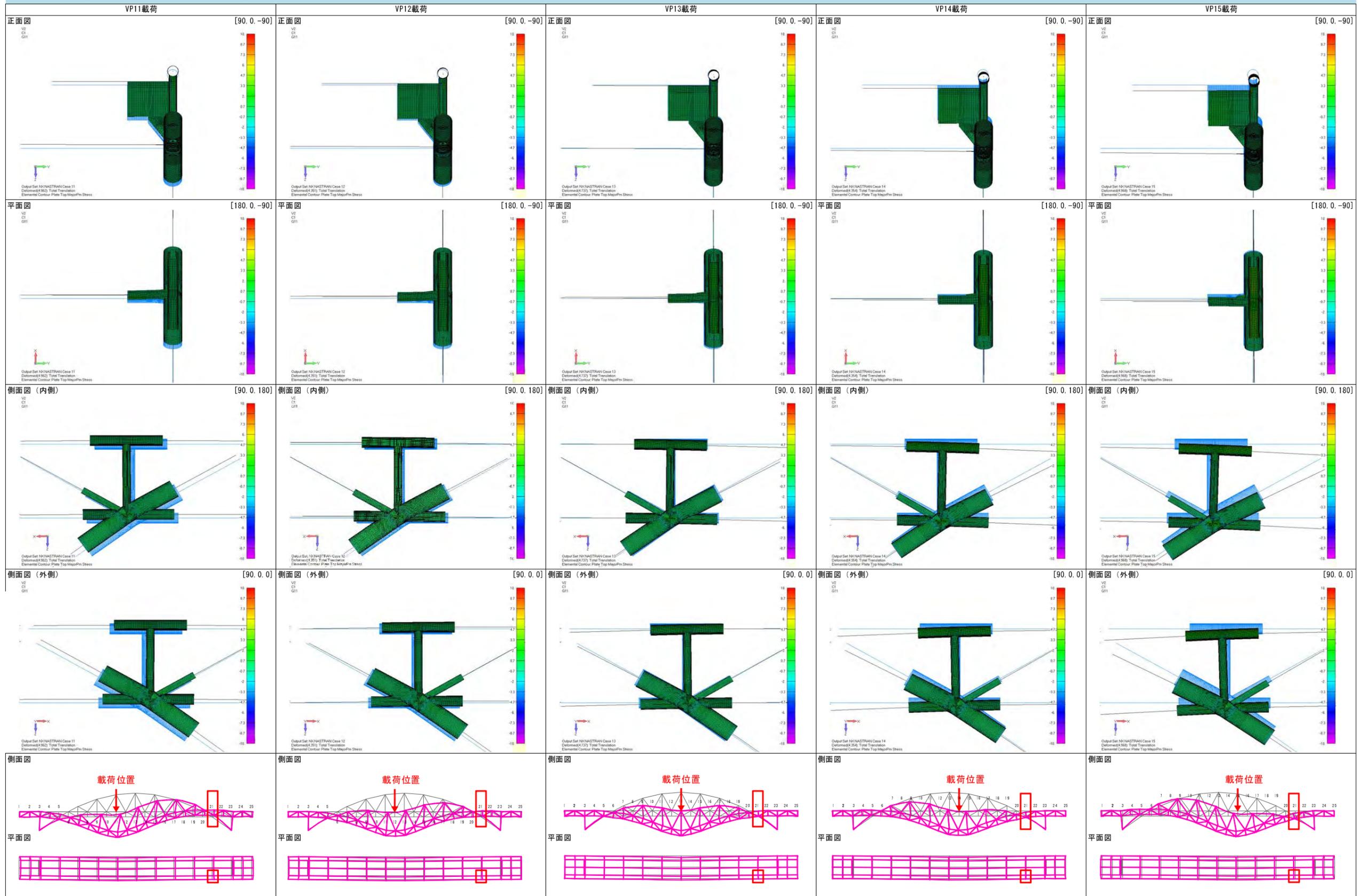




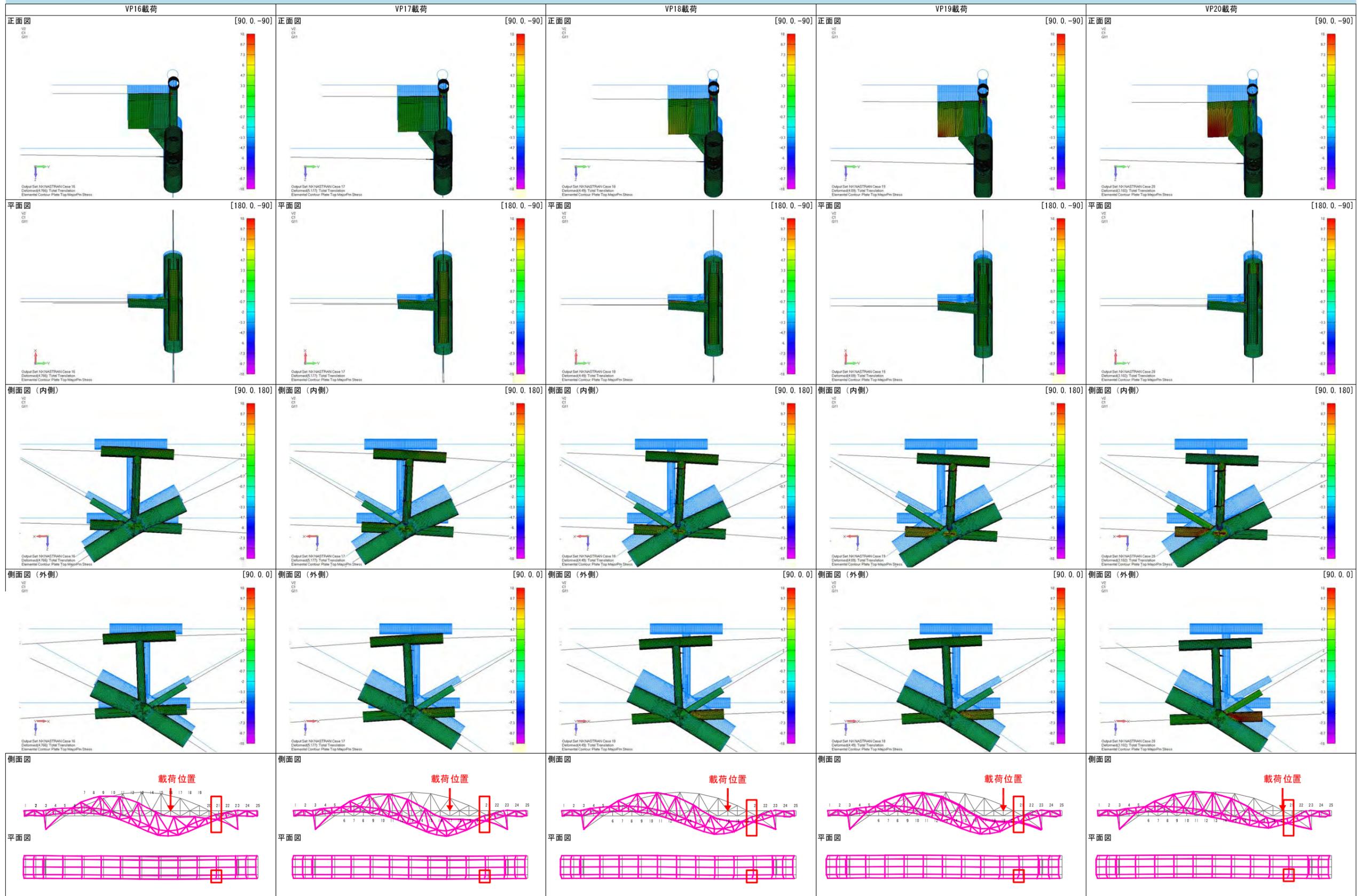
格点部変形図 (最大主応力コンター図) VPR21格点 (2/5)



格点部変形図 (最大主応力コンター図) VPR21格点 (3/5)

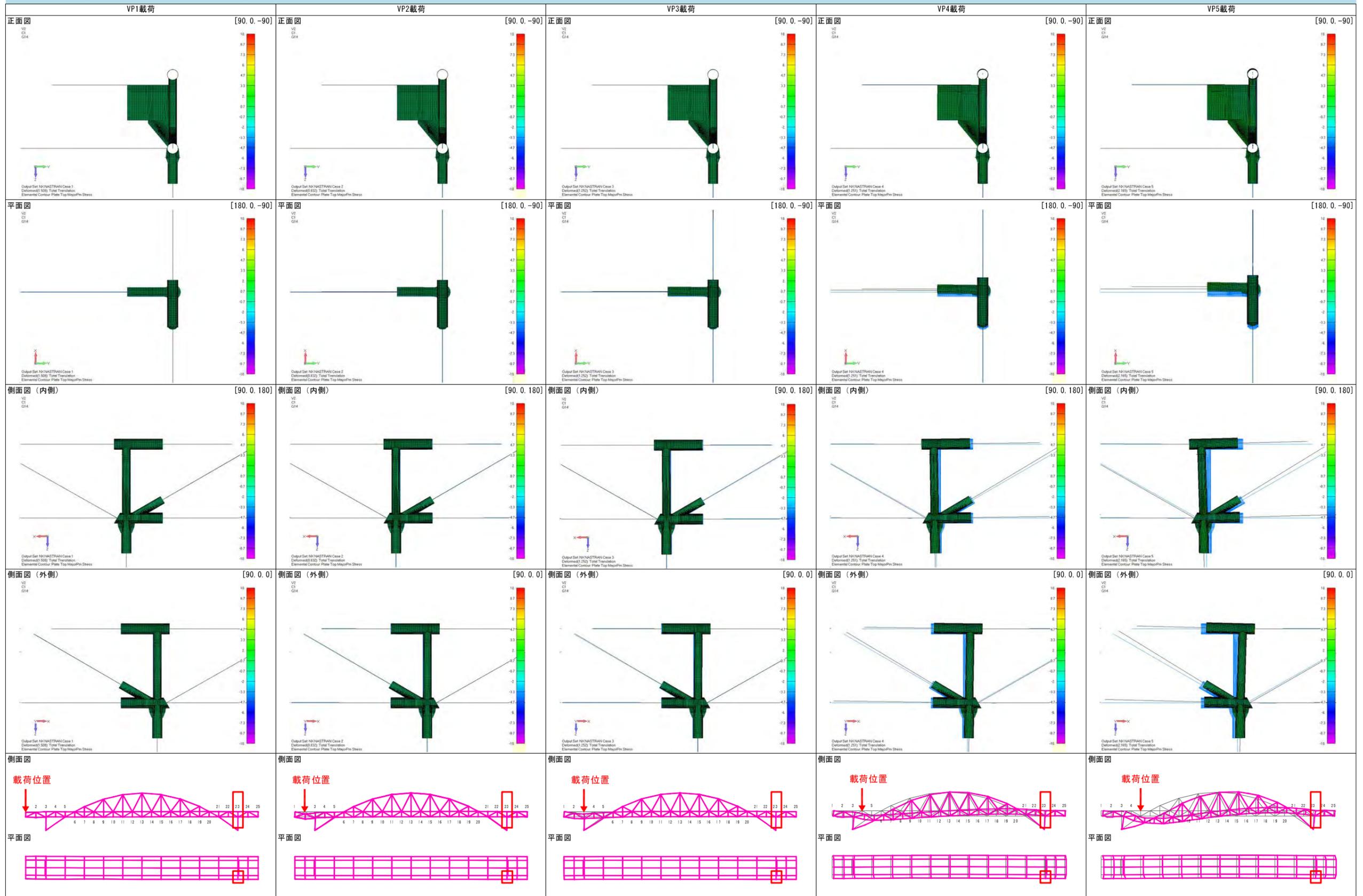


格点部変形図 (最大主応力コンター図) VPR21格点 (4/5)

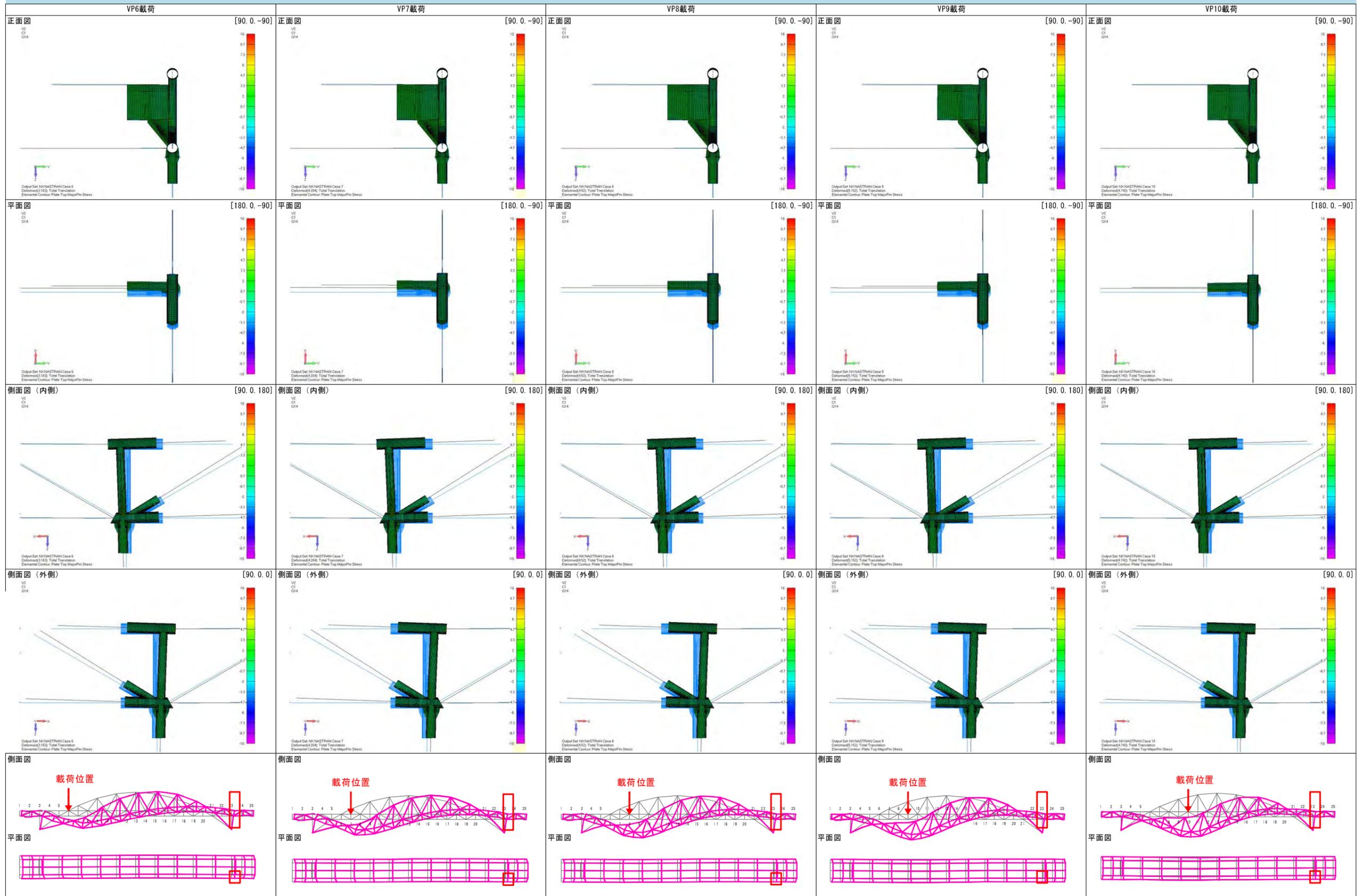




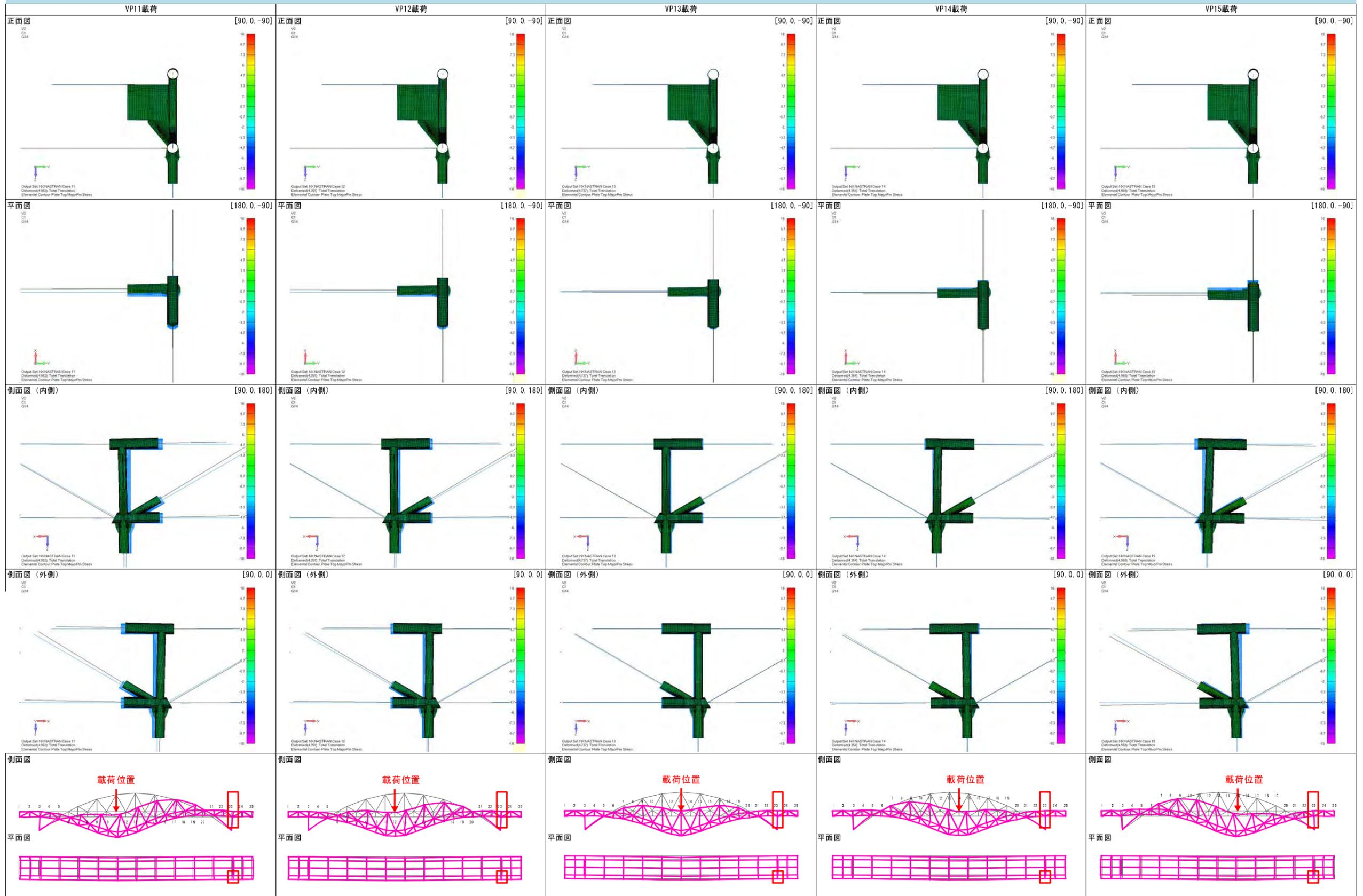
格点部変形図 (最大主応力コンター図) VPR23格点 (1/5)



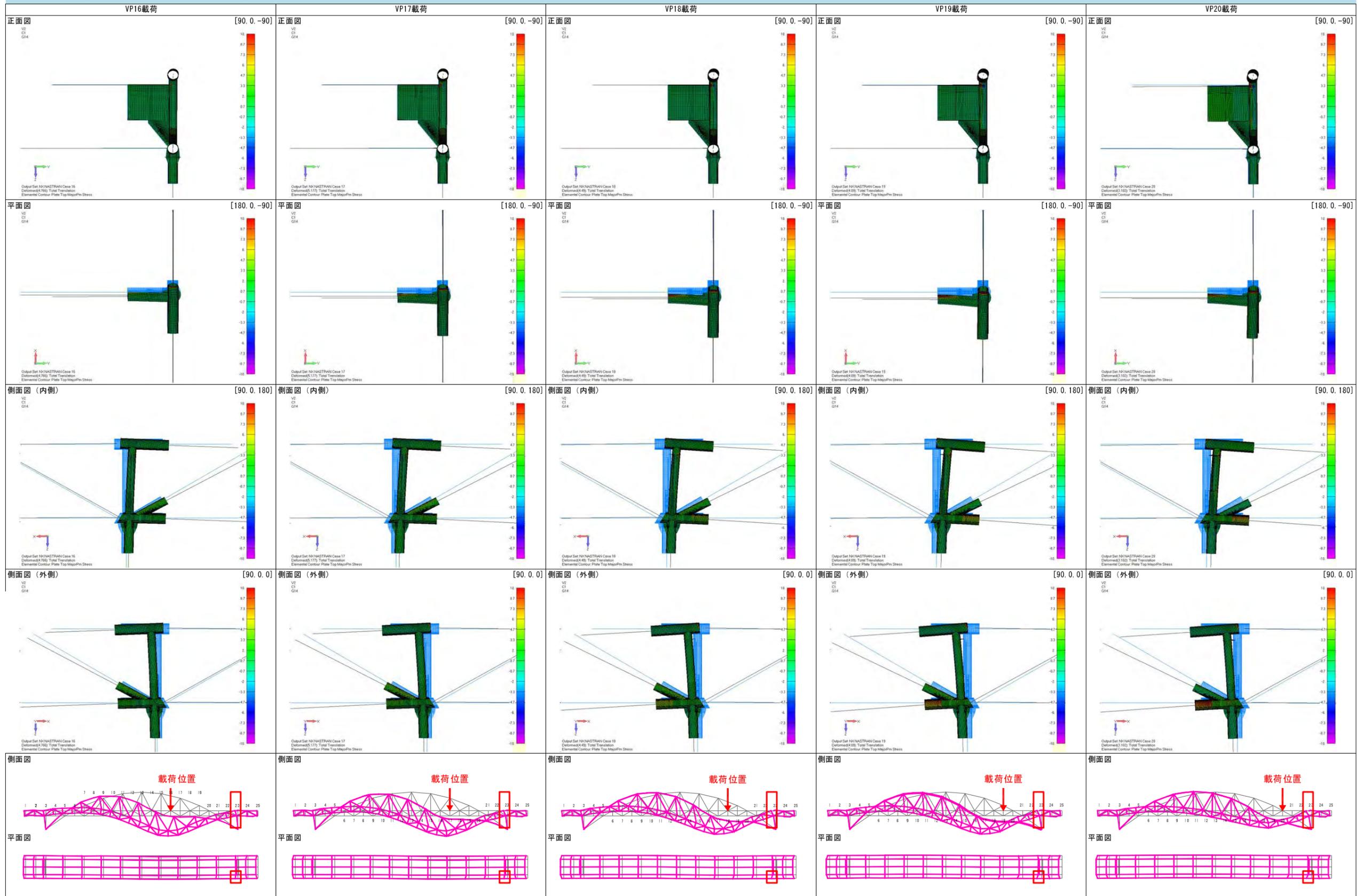
格点部変形図 (最大主応力コンター図) VPR23格点 (2/5)



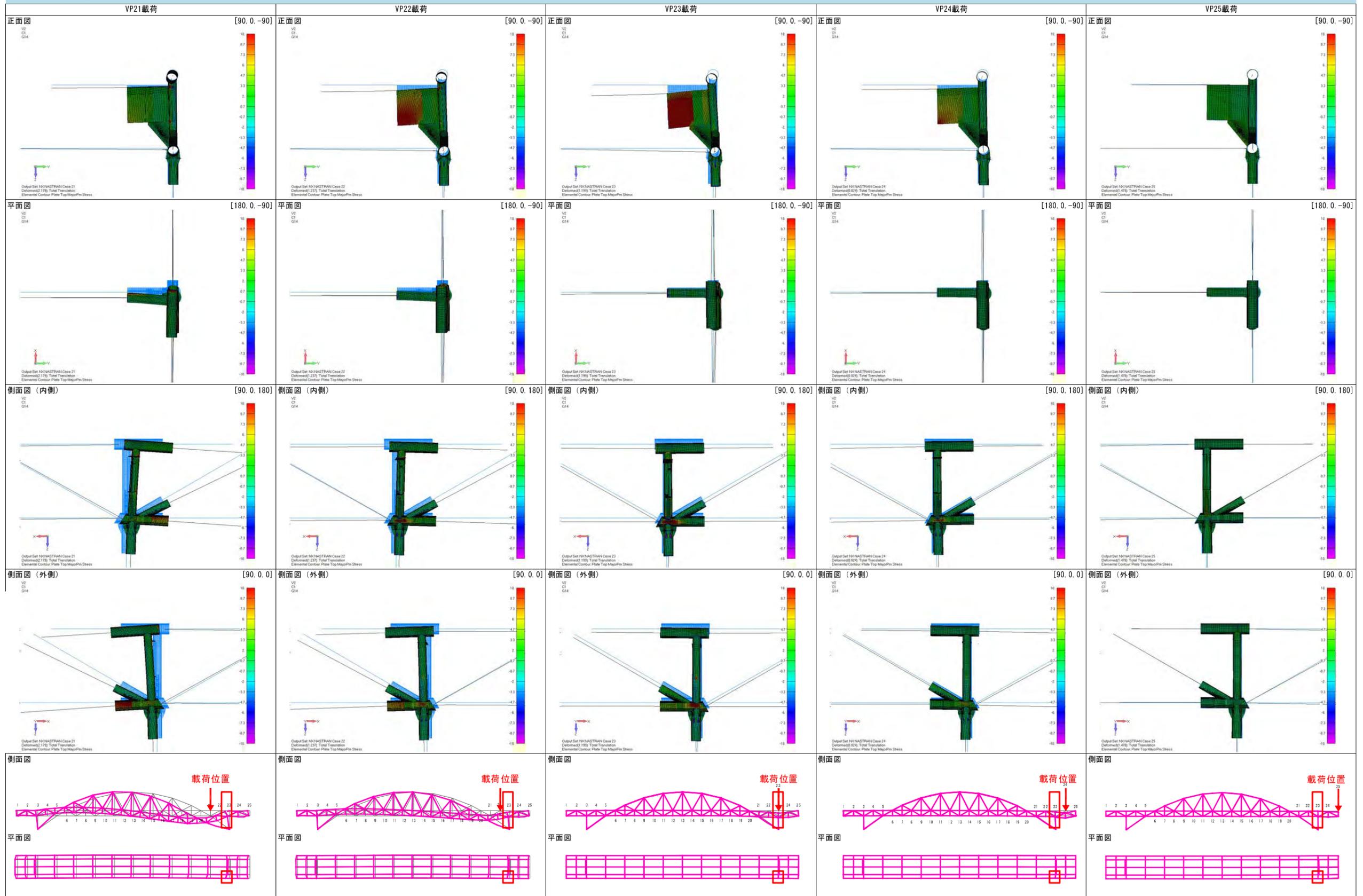
格点部変形図（最大主応力コンター図） VPR23格点（3/5）



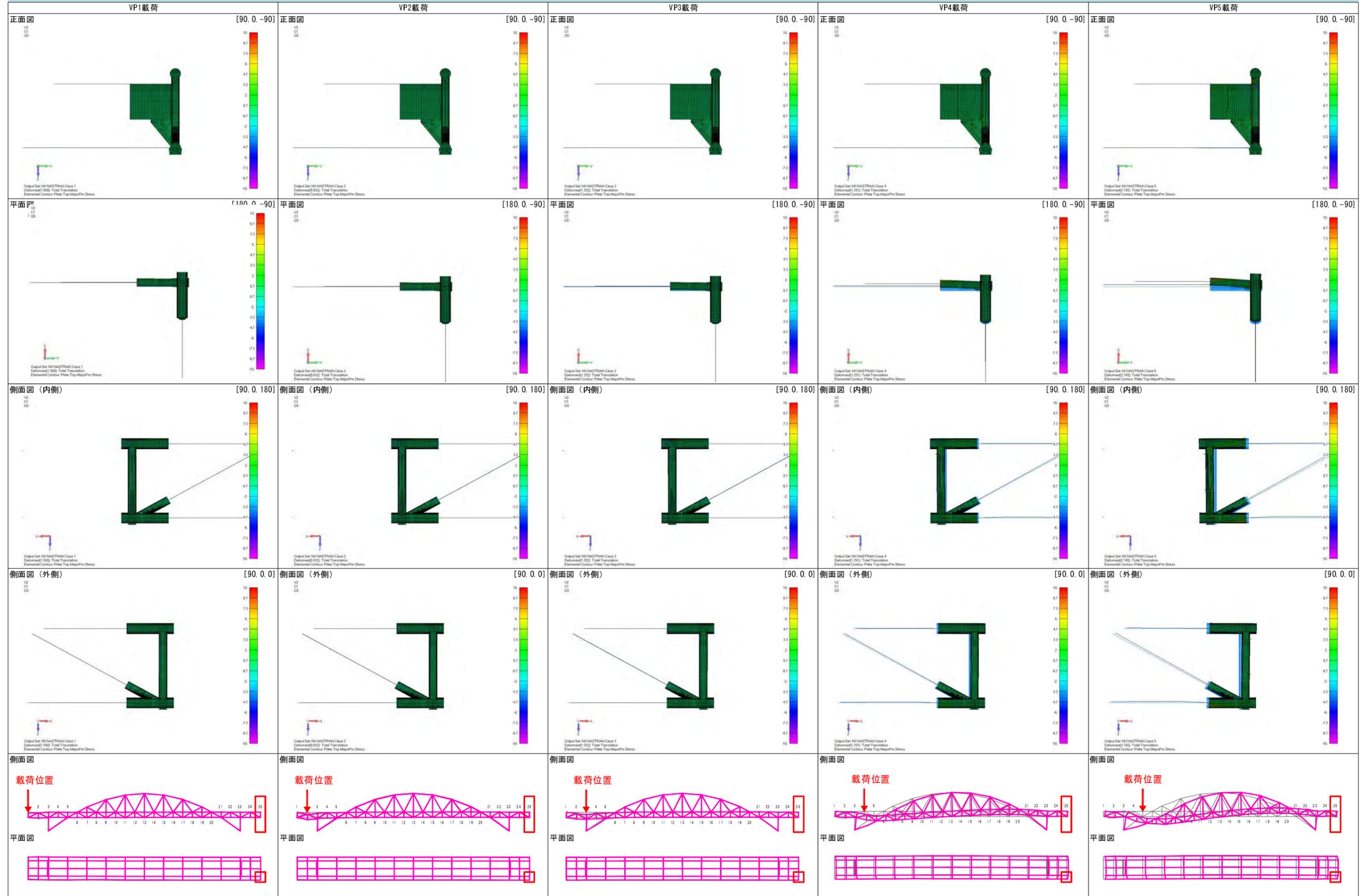
格点部変形図 (最大主応力コンター図) VPR23格点 (4/5)



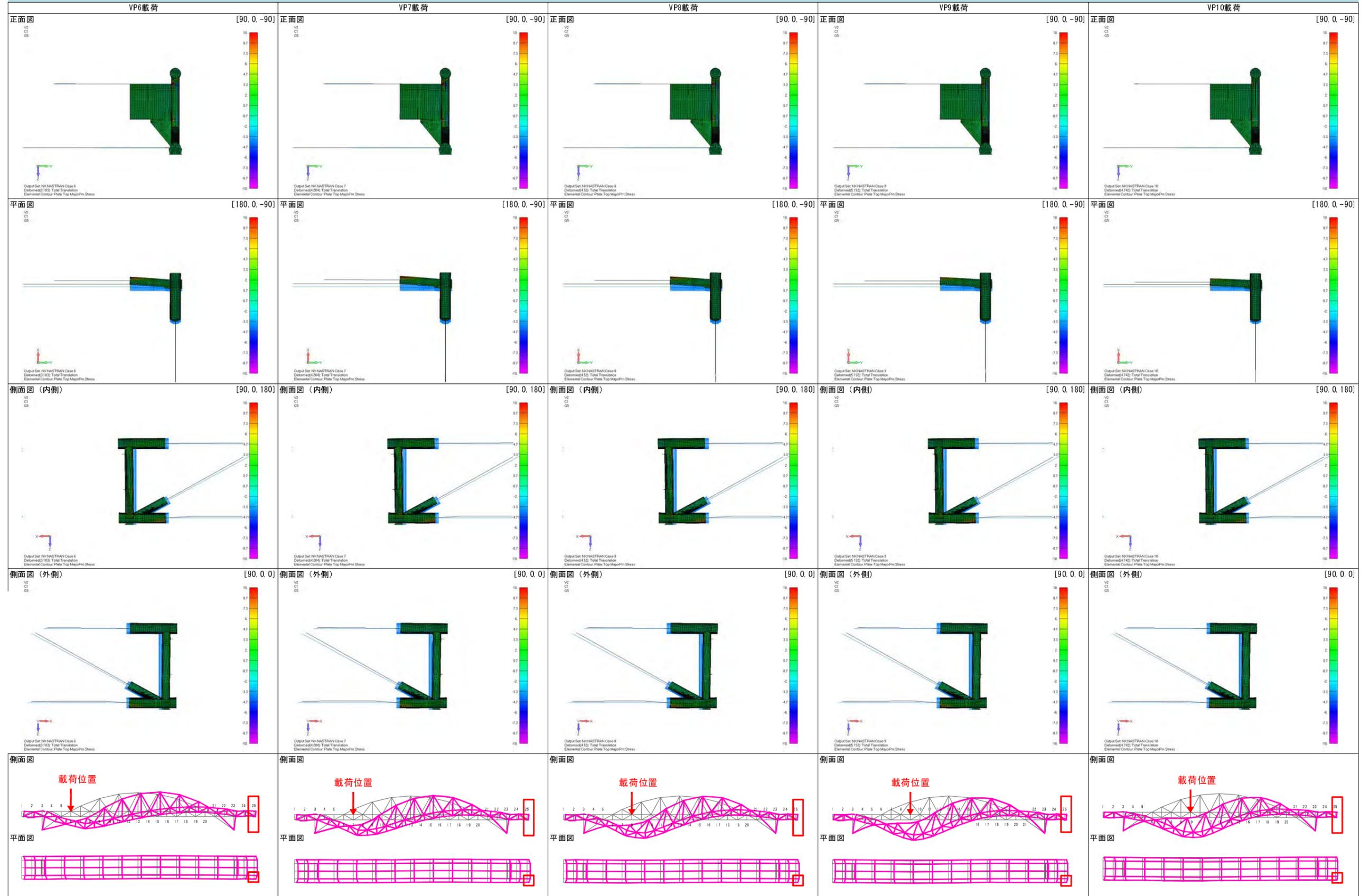
格点部変形図 (最大主応力コンター図) VPR23格点 (5/5)



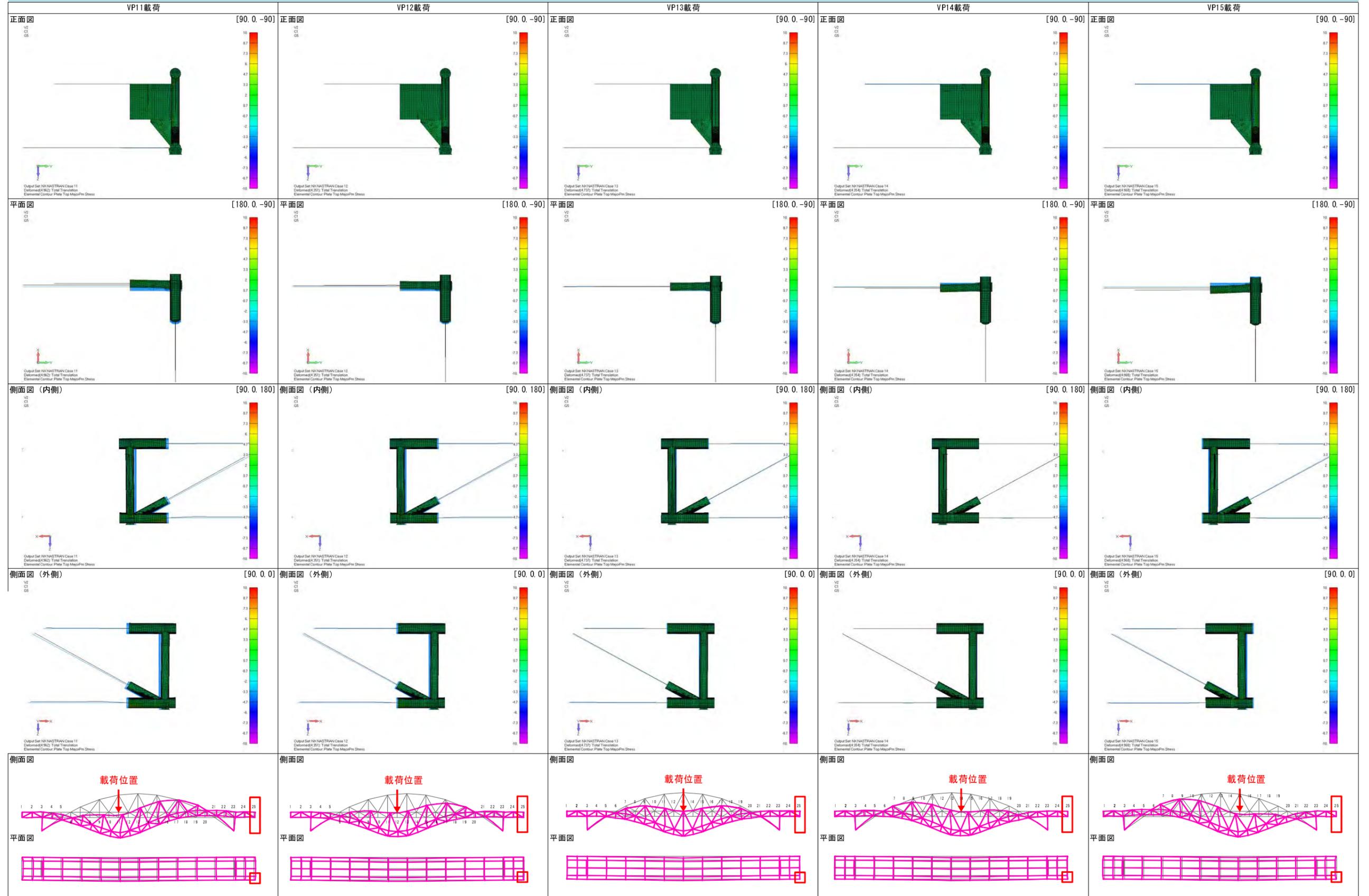
格点部变形图（最大主応力コンター図） VPR25格点（1/5）



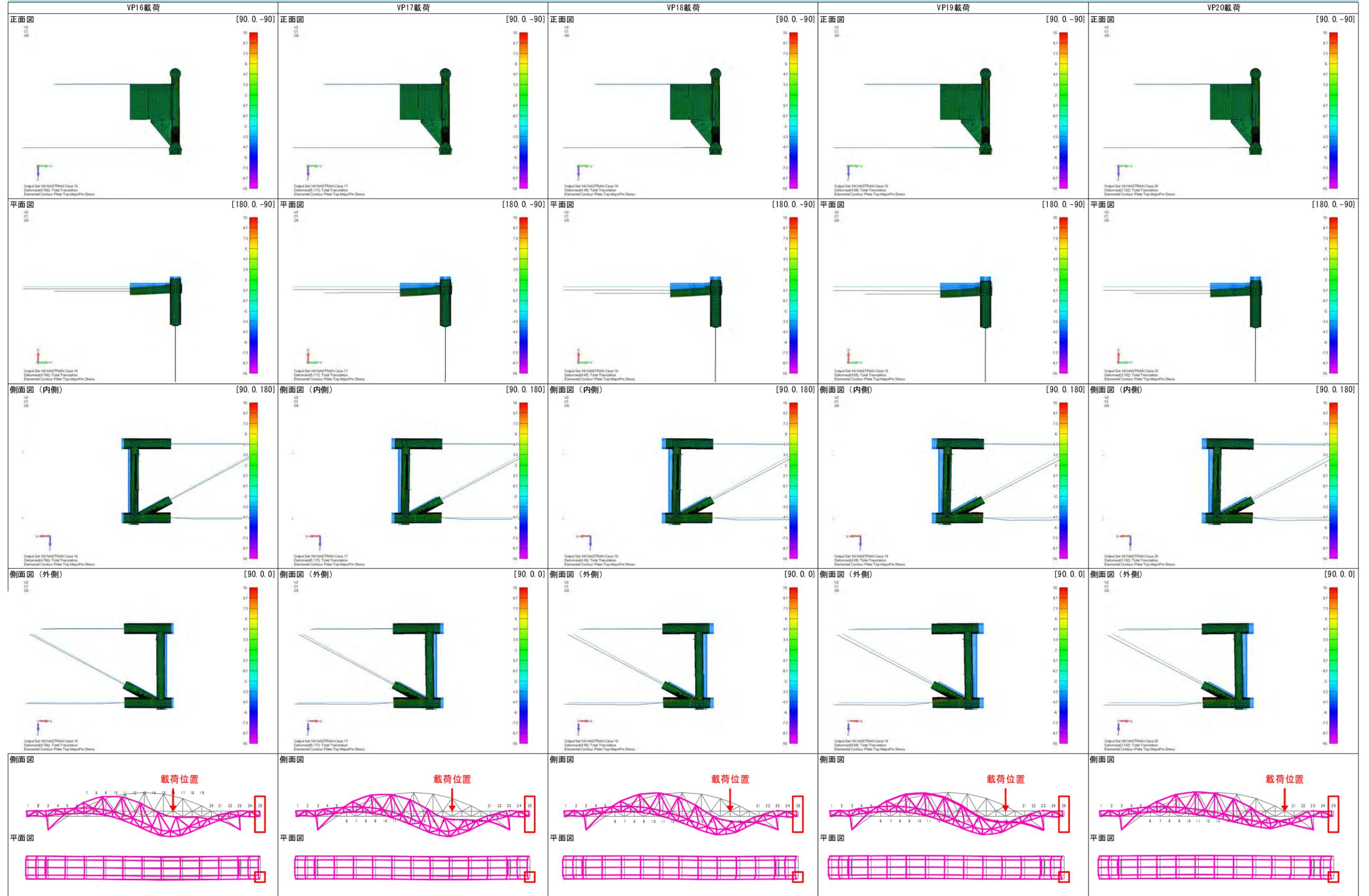
格点部变形图（最大主応力コンター図） VPR25格点（2/5）



格点部变形图（最大主応力コンター図） VPR25格点（3/5）



格点部变形图（最大主応力コンター図） VPR25格点（4/5）



格点部变形图（最大主応力コンター図） VPR25格点（5/5）

