

東京ゲートブリッジの構造詳細検討

－ F E M解析を積極的に設計に導入した新構造の例－



国土交通省 関東地方整備局 東京港湾事務所
企画調整課 北川俊治

I . 東京ゲートブリッジの概要

1. 東京港臨海道路Ⅱ期事業位置



東京ゲートブリッジ(約2.6km)



撮影日 2005.2.1
© Digital Globe
東京都港湾局提供

2. 事業目的

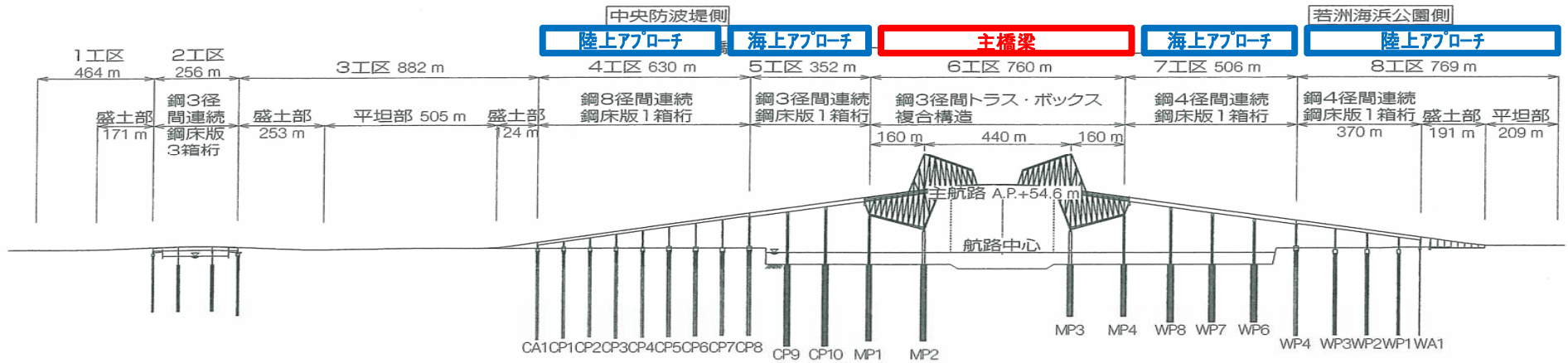
- 東京港内の港湾関連交通の円滑化、ならびに背後圏とのアクセス向上により物流効率化を図る。
- 東京港内の臨港道路及び臨海部周辺道路で発生している交通渋滞の緩和を図る。

3. 事業概要

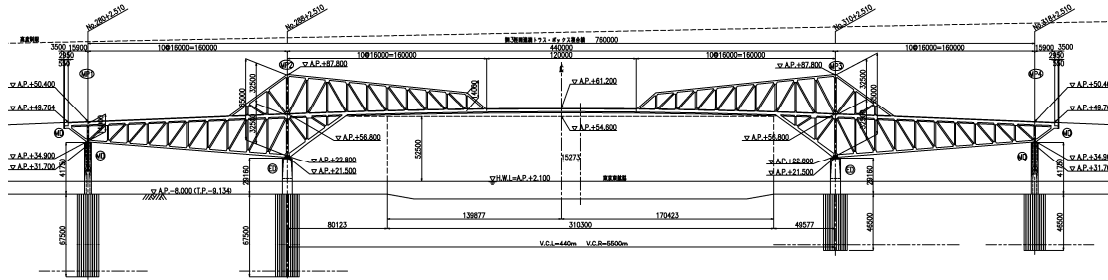
整備区間	中央防波堤外側地区～東部地区(若洲)～新木場地区(R357)
車線数	往復6車線(橋梁部:往復4車線)
設計速度	60km/h(橋梁部50km/h)
整備延長	全長4.6km
整備期間	2002年度～2011年度 2012年2月12日開通
道路区分	第4種1級
計画交通量	32,100台/日
事業費	約1,125億円

4. 東京ゲートブリッジの概要

東京ゲートブリッジ一般図

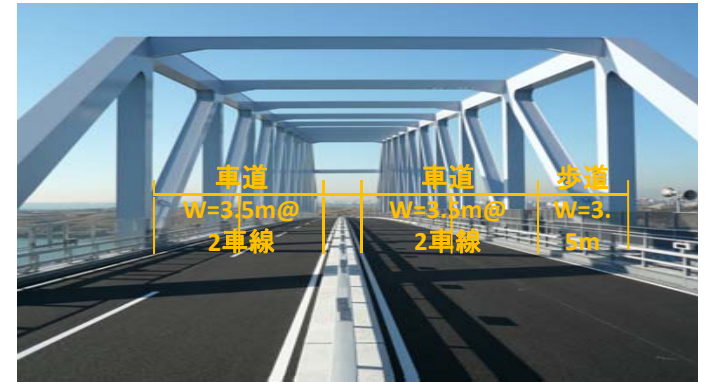


主橋梁部側面図



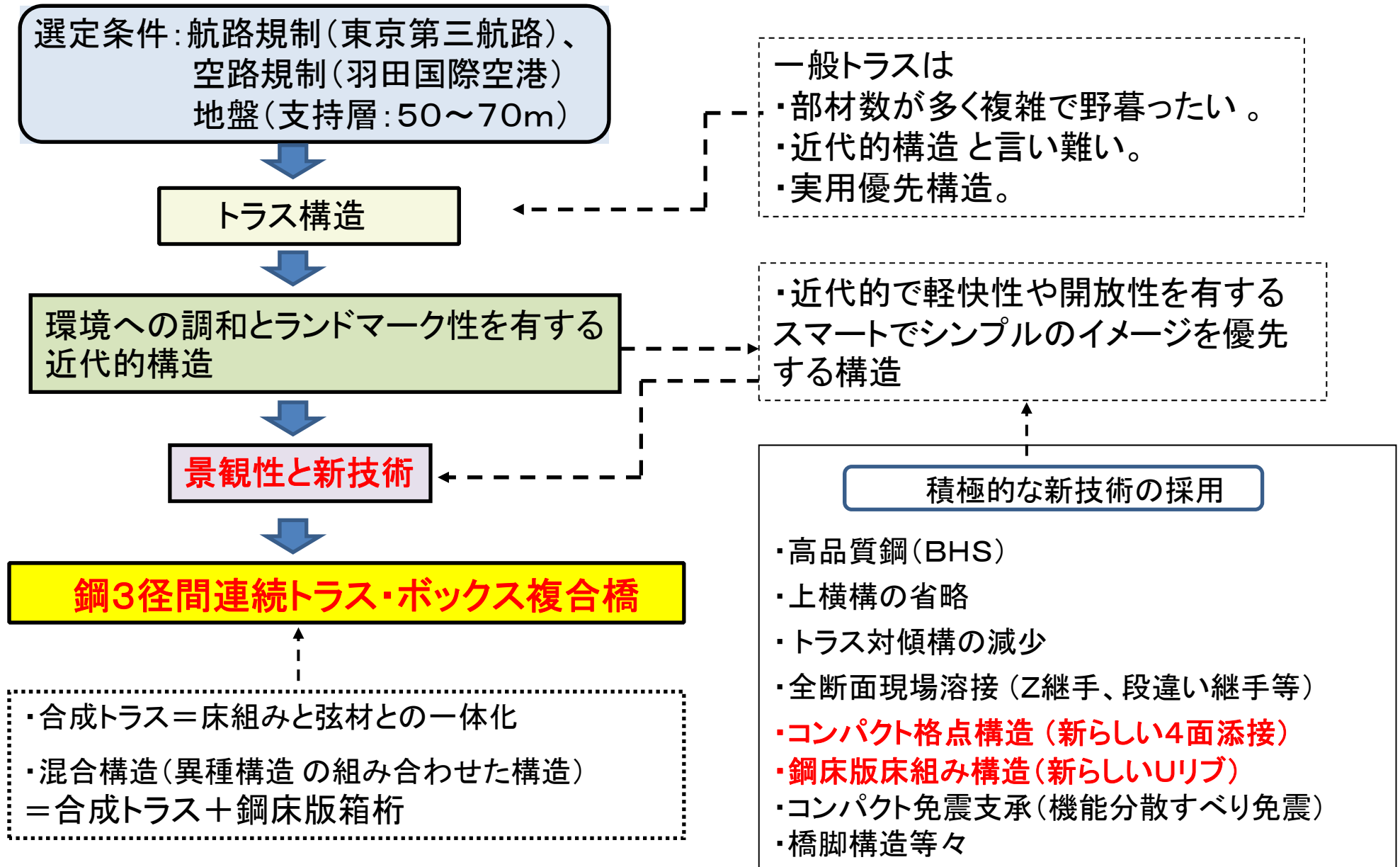
主橋梁部：鋼3径間連続トラス・ボックス複合橋

アプローチ部：鋼3～8径間連続鋼床版箱桁橋



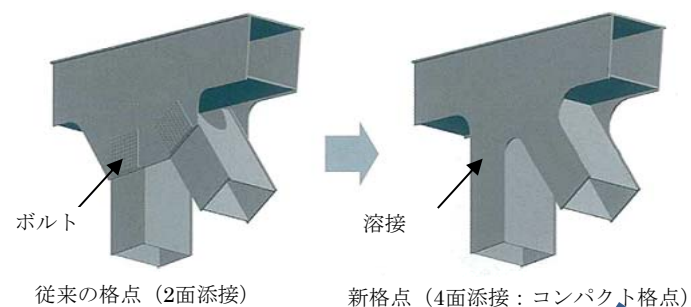
幅員:21.1m

5. 東京ゲートブリッジの構造選定フロー

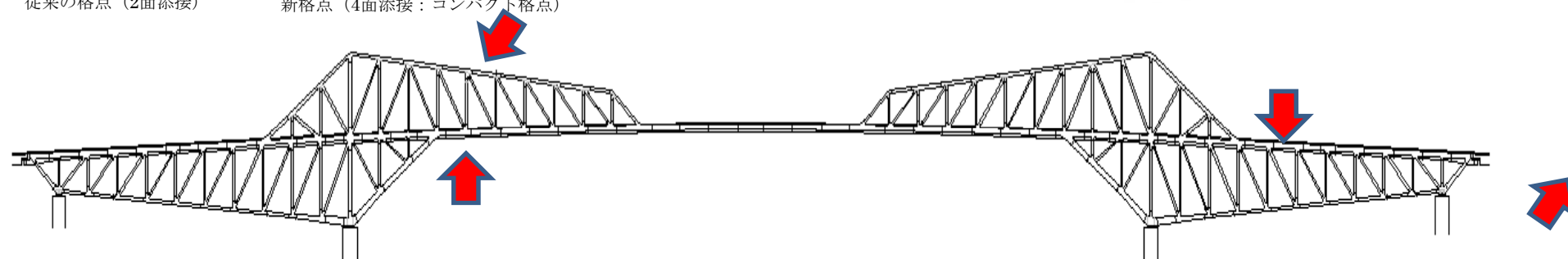
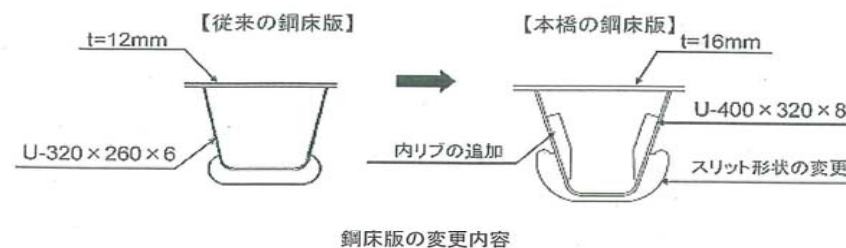


6. FEM解析を導入した構造設計

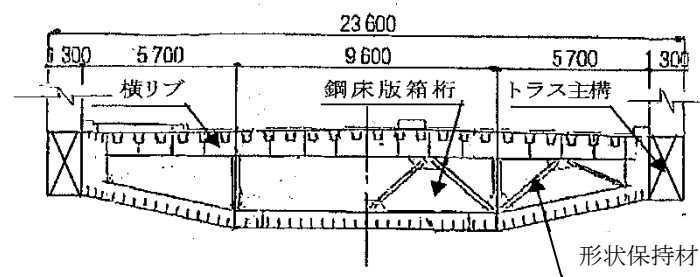
I. コンパクト格点構造(主橋梁)



II. 鋼床版床組みトラフリブ構造(主橋梁)

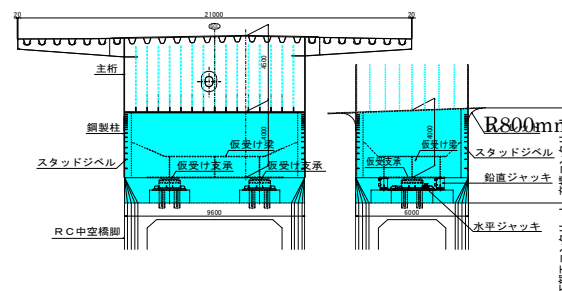


III. 箱桁ダイヤフラム構造(主橋梁、アプローチ)



床版箱桁と弦材の一体化: 合成トラス

IV. 上下部一体複合ラーメン隅各部構造(アプローチ)

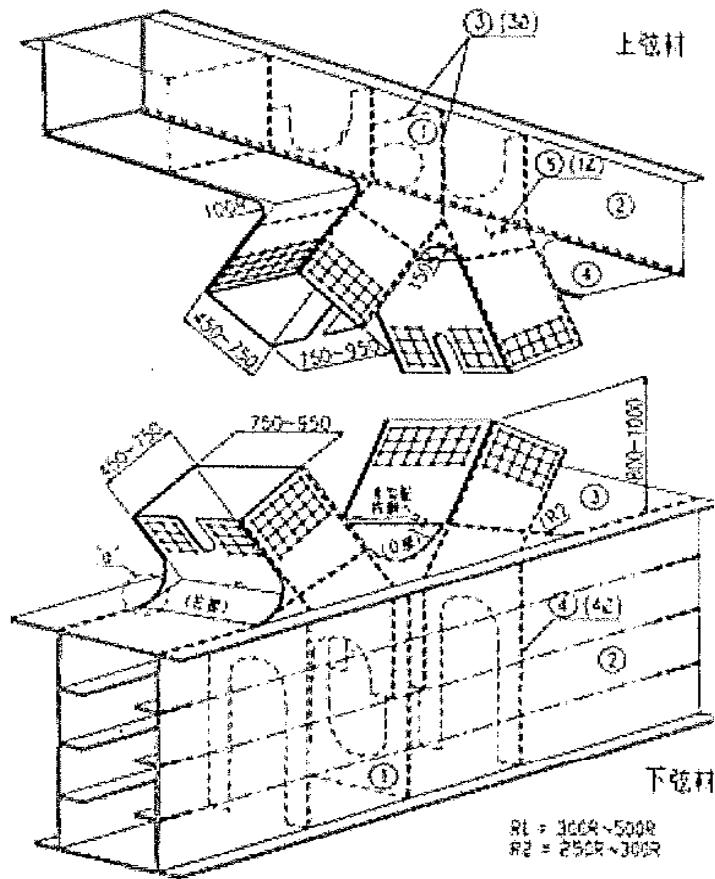


剛結構造形式(鋼製柱被覆形式)

Ⅱ.コンパクト格点構造

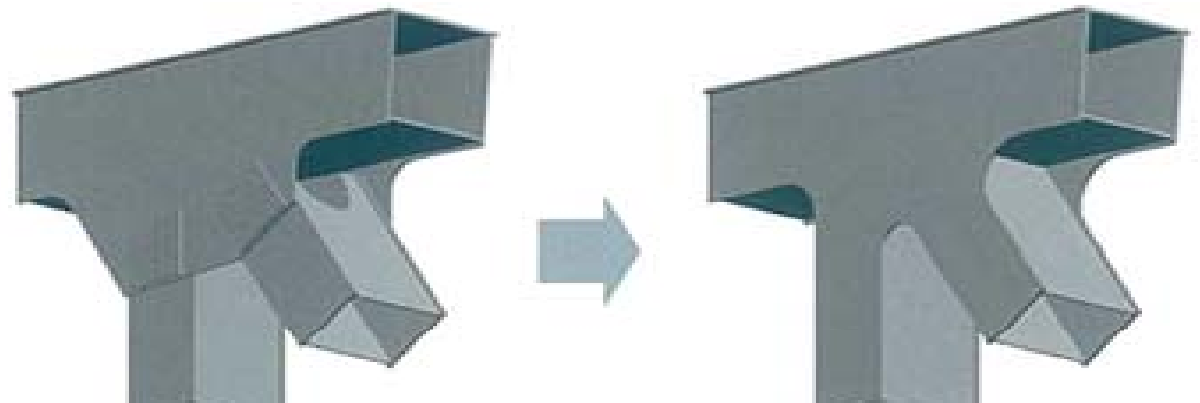
トラス格点構造の形式選定におけるFEM解析の活用

1. 4面添接方式の採用



コンパクト格点鳥瞰概念

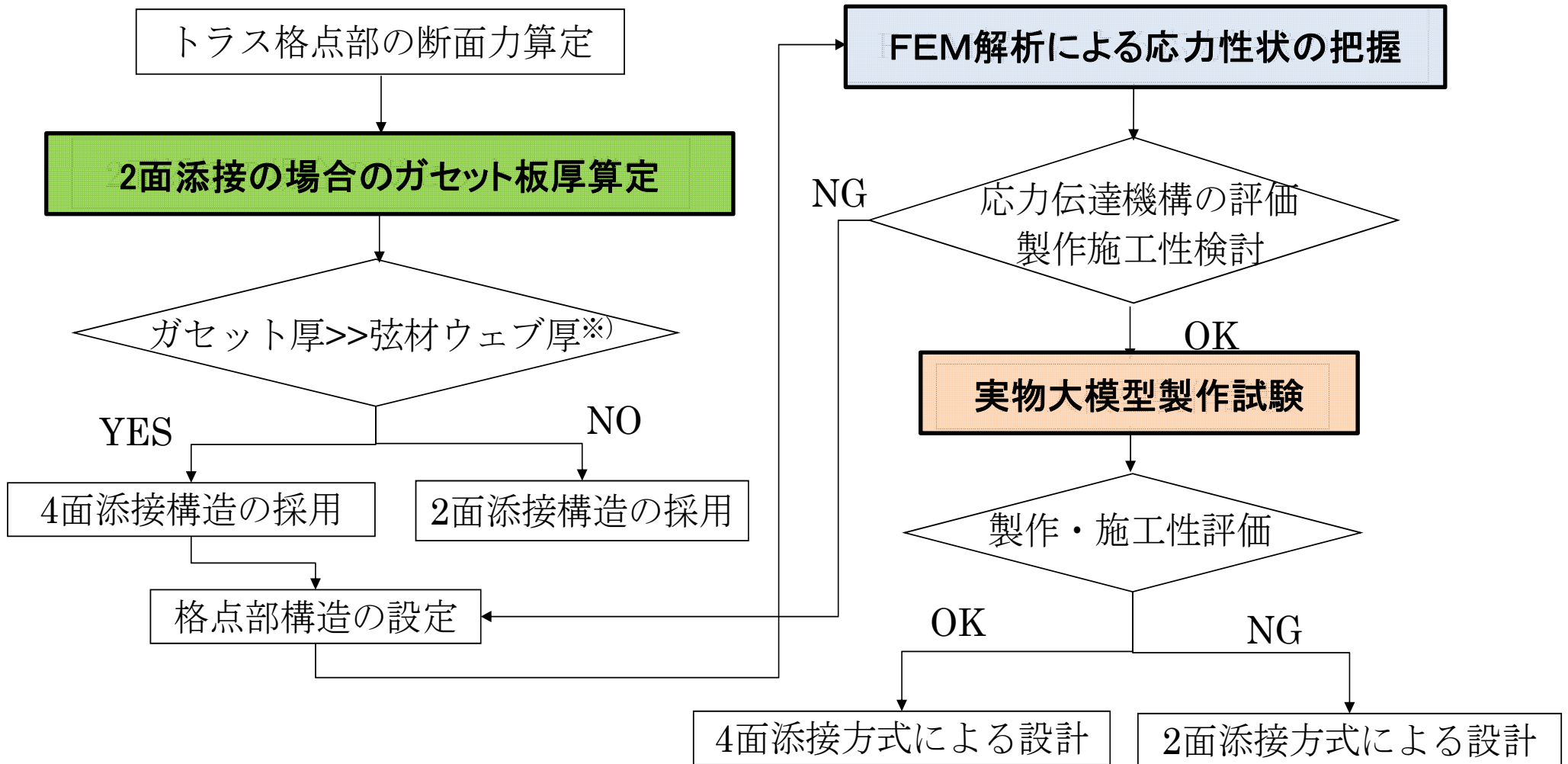
- ・ 構造は若干複雑で製作難易度アップ。
- ・ 応力伝達機能が明確で円滑。
- ・ 格点ガセットが小さく、板厚も薄くなる。
- ・ 鋼重の低減による経済性や耐久性向上。



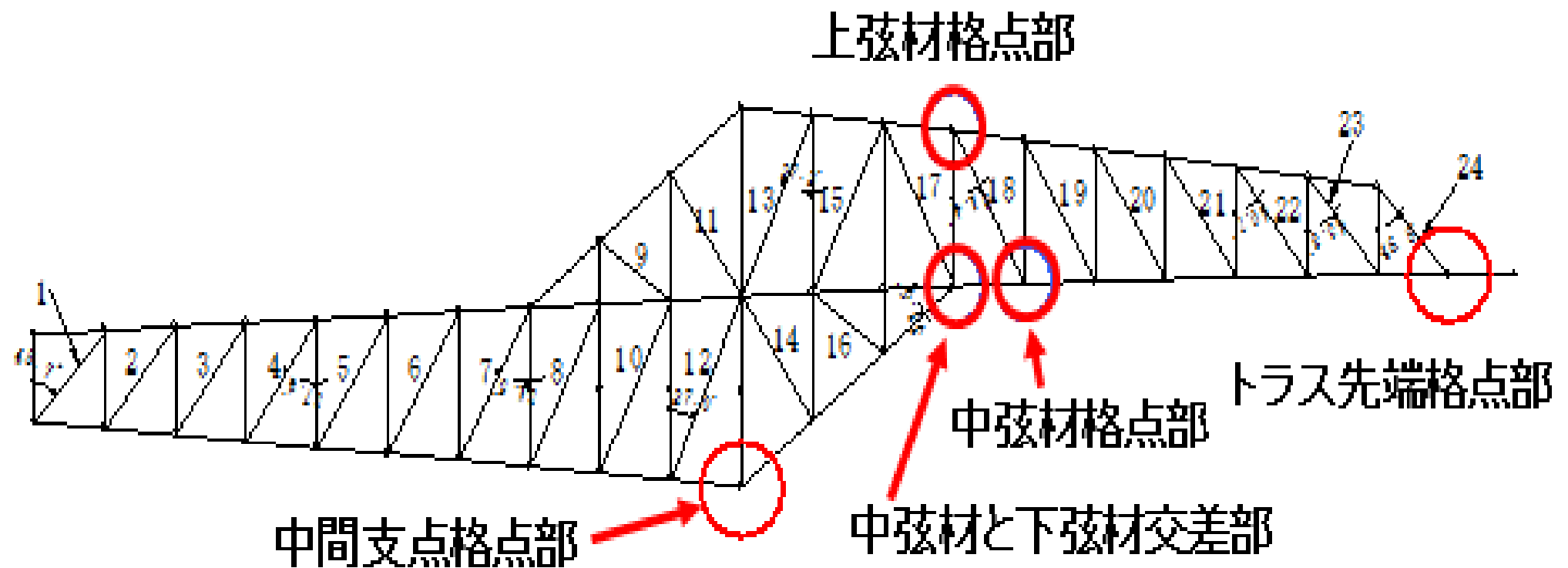
従来格点形式:
2面添接

新形式:
4面添接・コンパクト格点

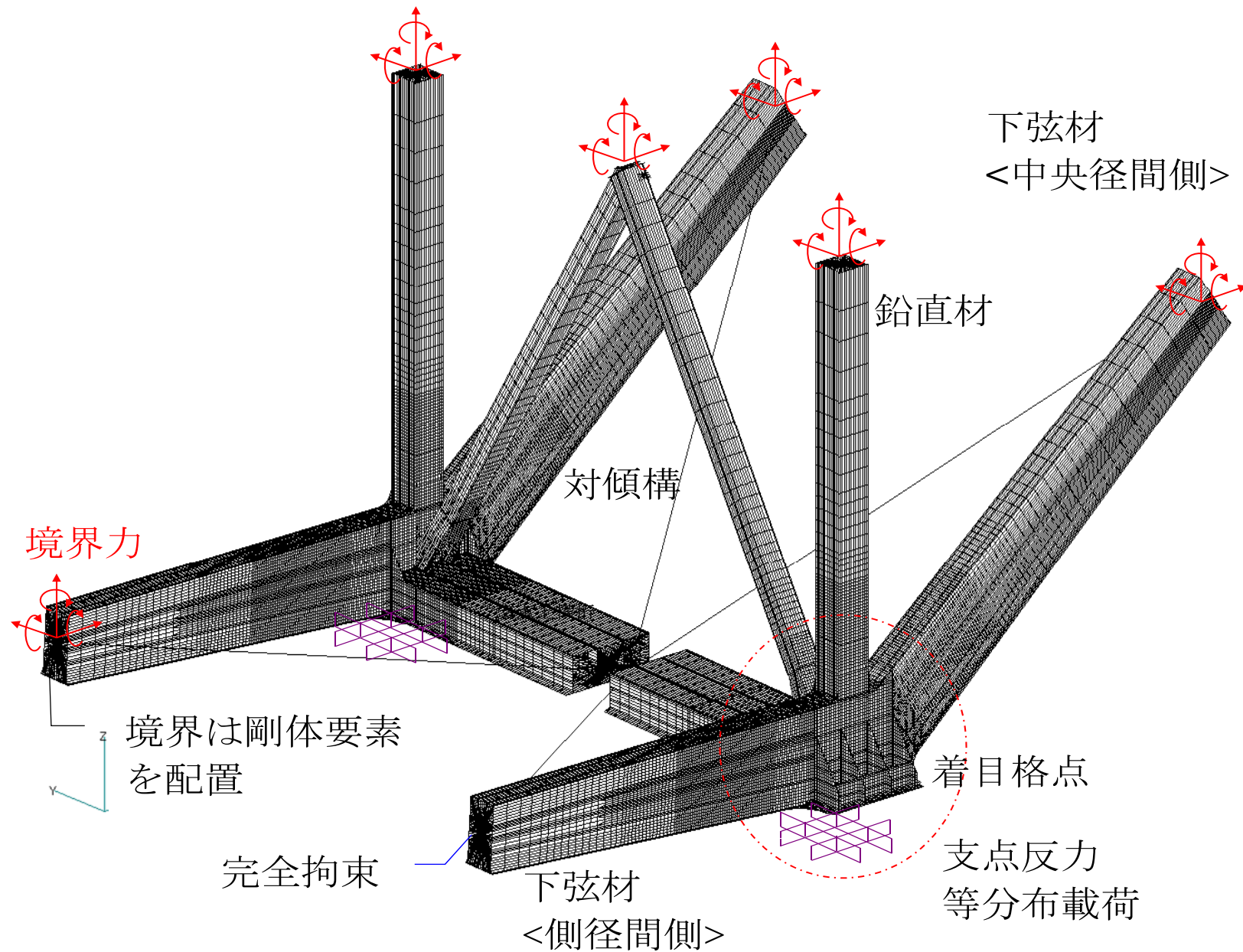
2. トラス格点構造の検討フロー



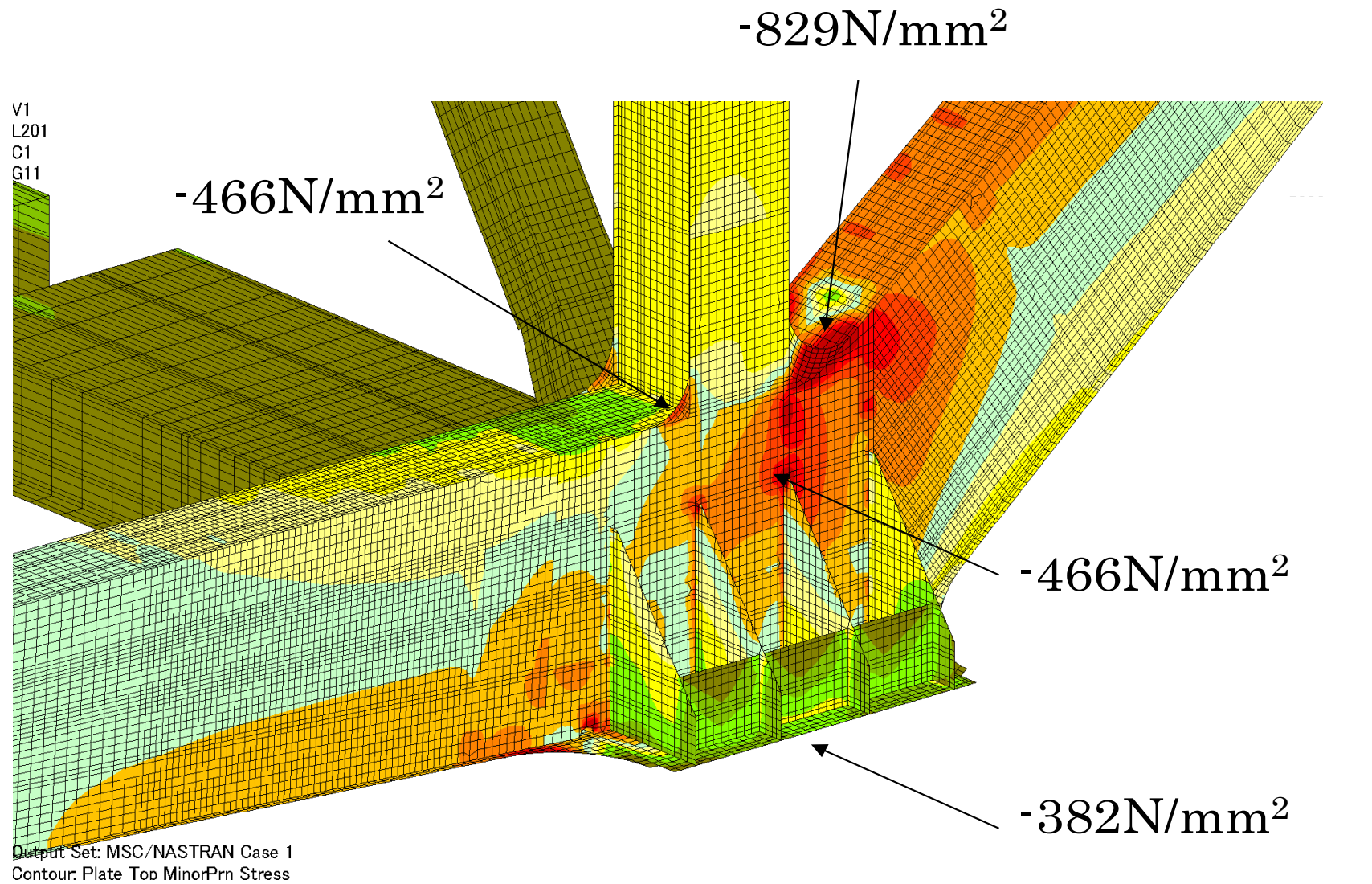
3. コンパクト格点FEM検討対象箇所



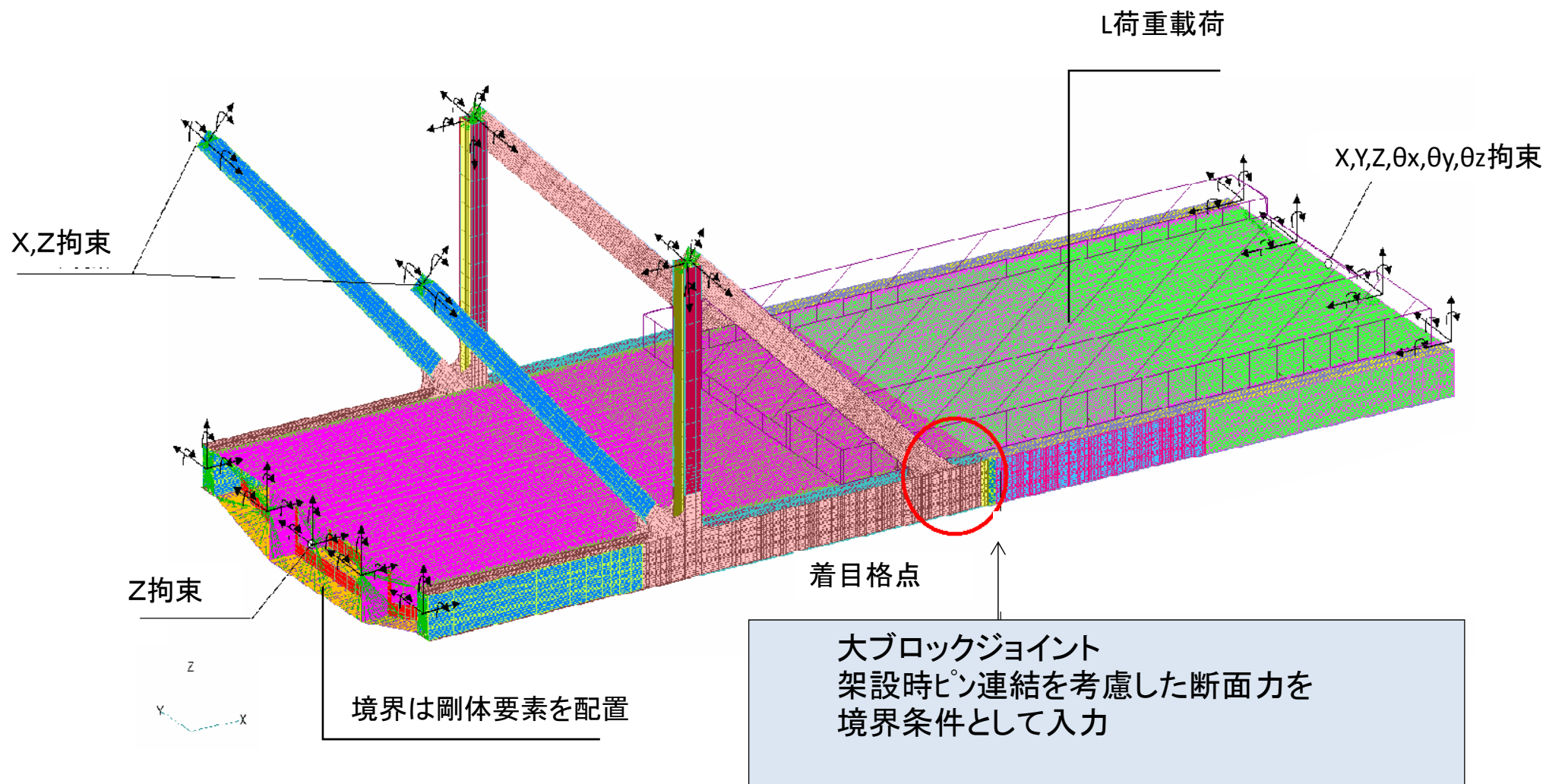
4. 中間支点格点部のFEM解析モデル詳細



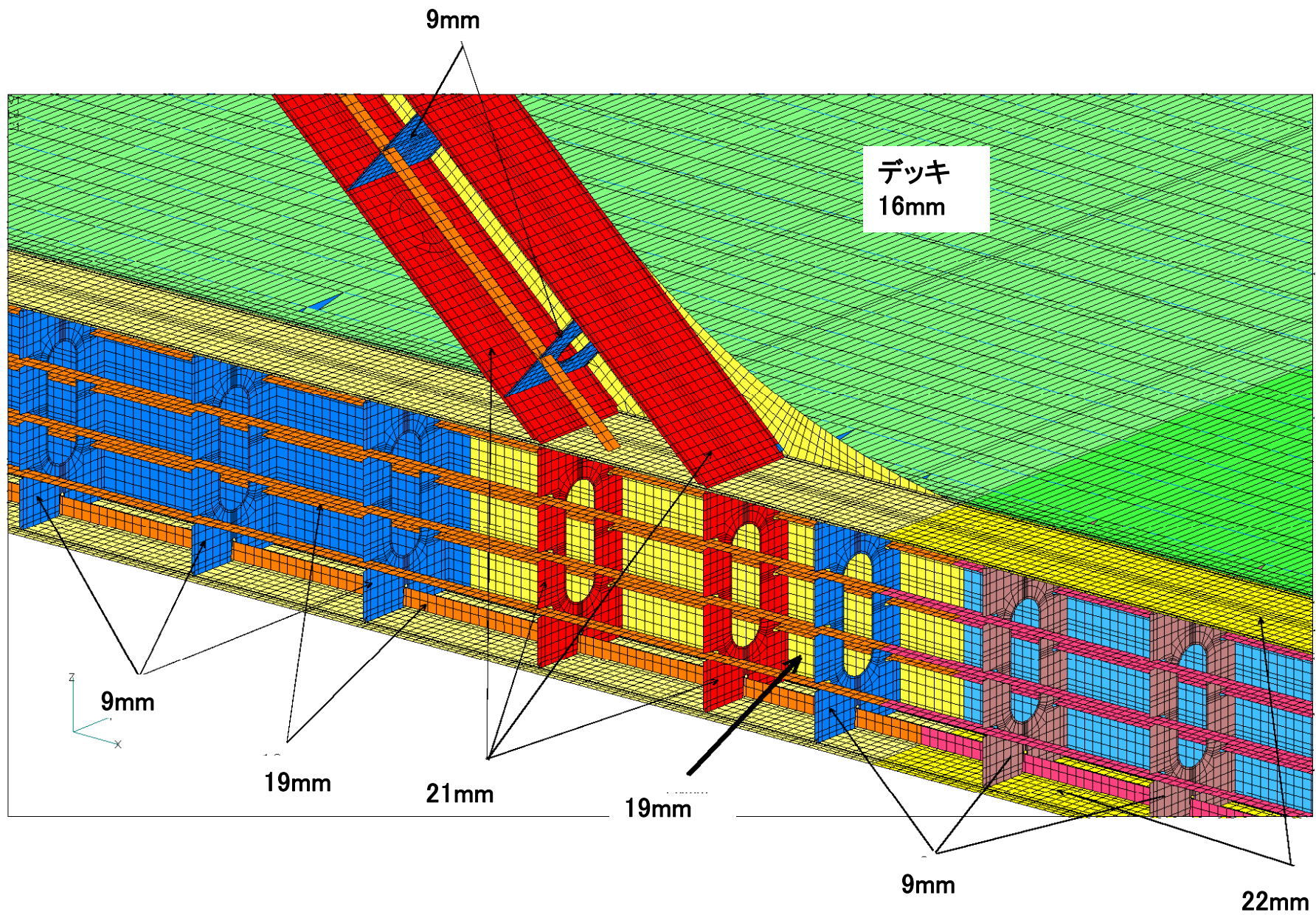
5. 中間支点格点部FEM解析モデルと解析結果



6. トラス先端格点部FEM解析モデル

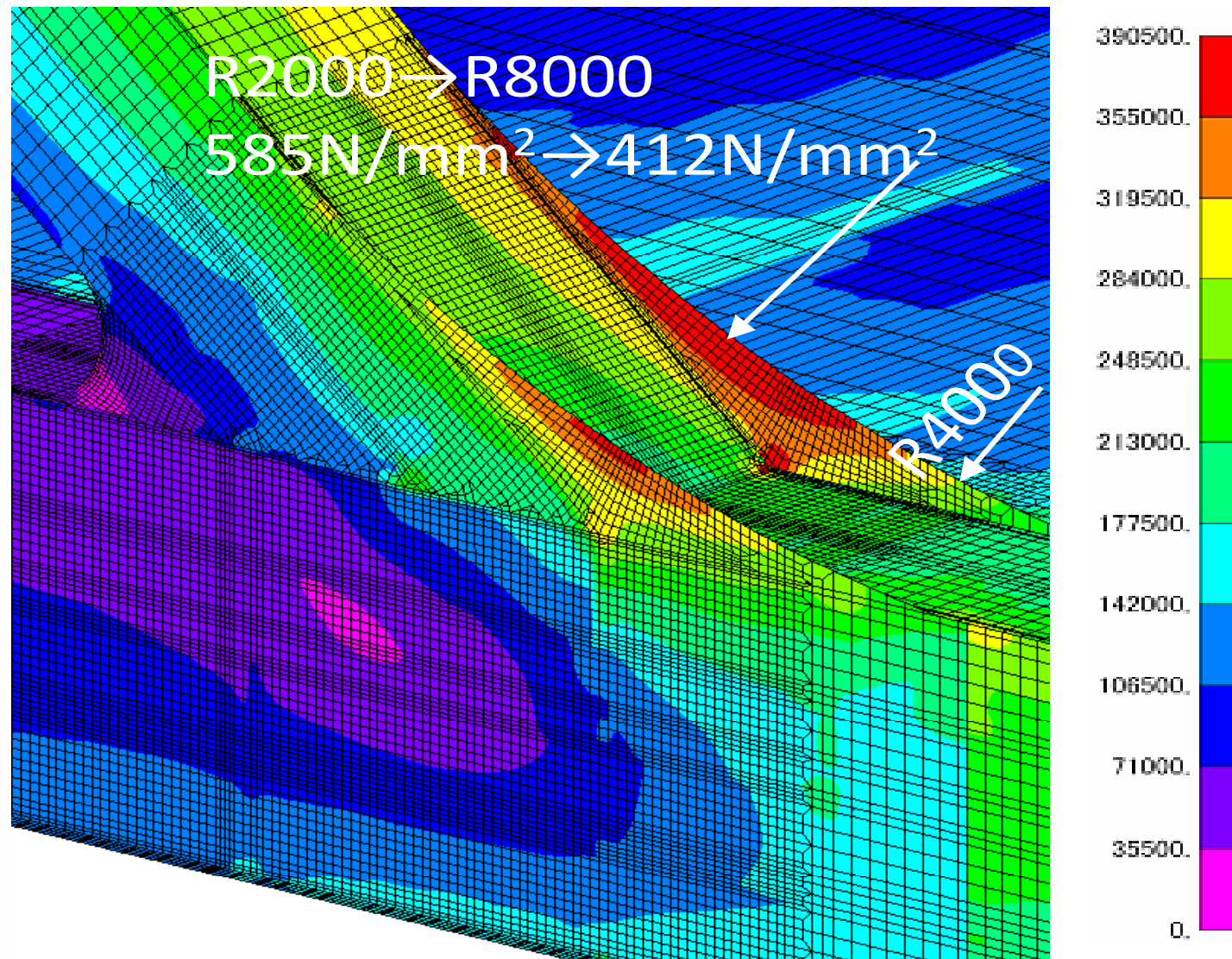


7. トラス先端格点部メッシュ図



8. トラス先端格点部FEM解析結果

フィレット部の局部応力



9. FEM解析による効果

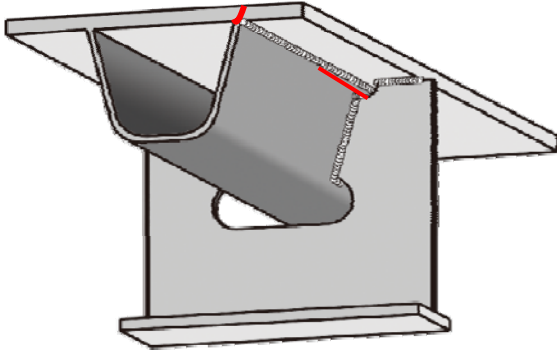
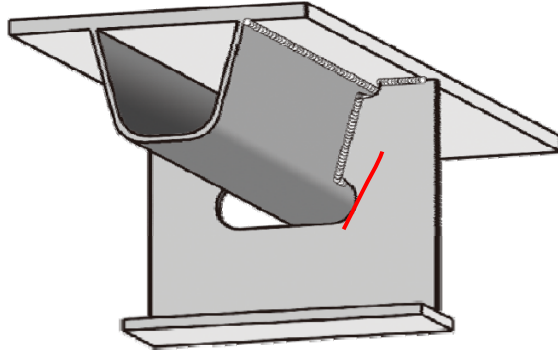
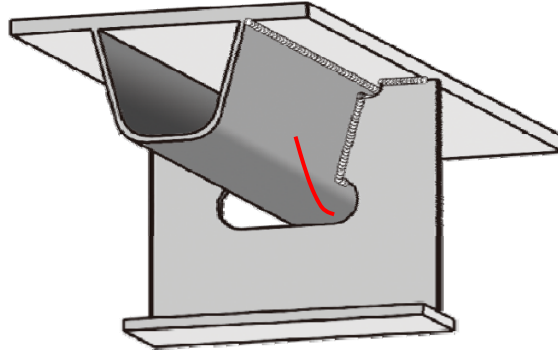
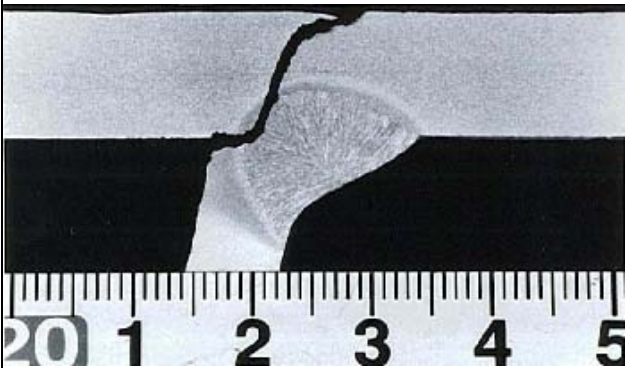
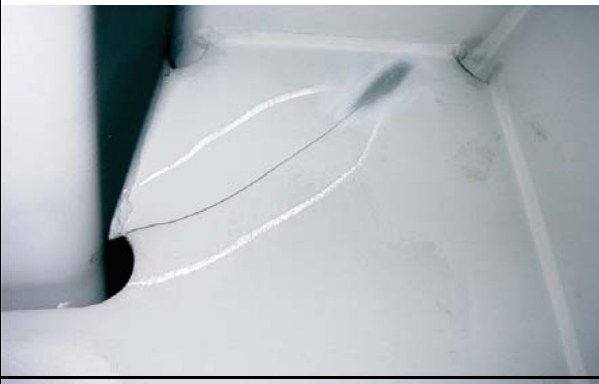
1. 4面添接方式のコンパクト格点化することにより、薄い板厚での断面構成が可能となった。
2. 部材の接合を溶接接合とすることにより板厚の低減に寄与できた。

Ⅲ.鋼床版床組のトラフリブ構造

FEM解析による疲労耐久性の高い鋼床版形式の検討

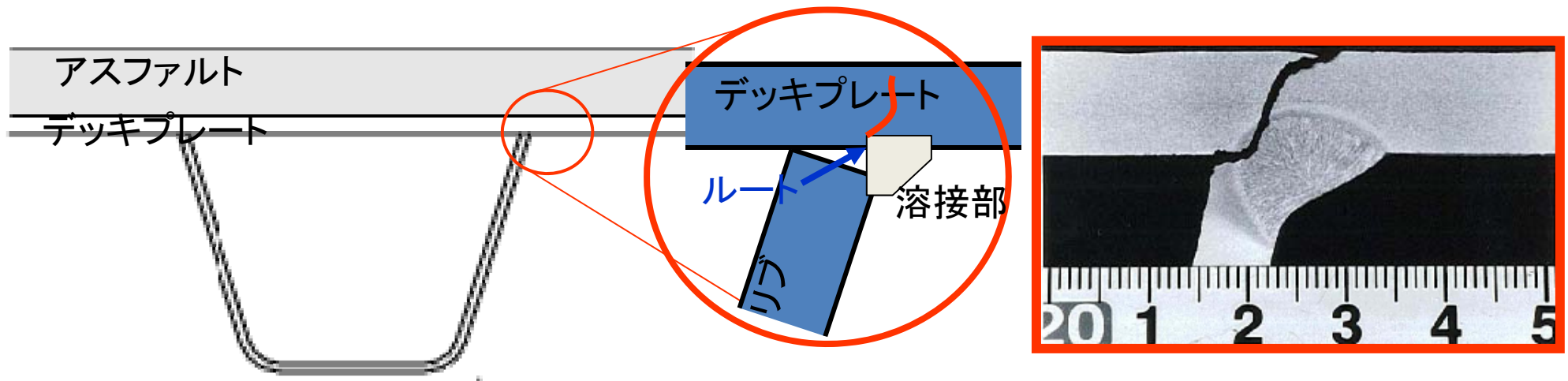
1. 従来型鋼床版の損傷事例

軽量：大型橋梁での需要は高い

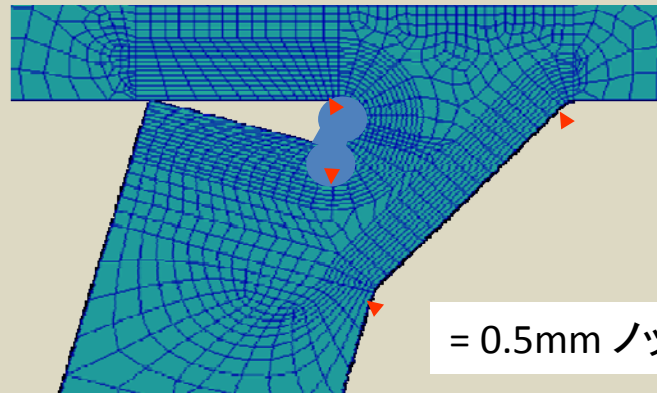
場所	 縦ビード	 まわし溶接 横リブ側	 まわし溶接 トラフ側
例			
パラメータ	デッキ厚と溶け込み深さ	スリット形状	

軽量かつ高疲労耐久性を有する鋼床版構造

2. ルート部応力の評価方法

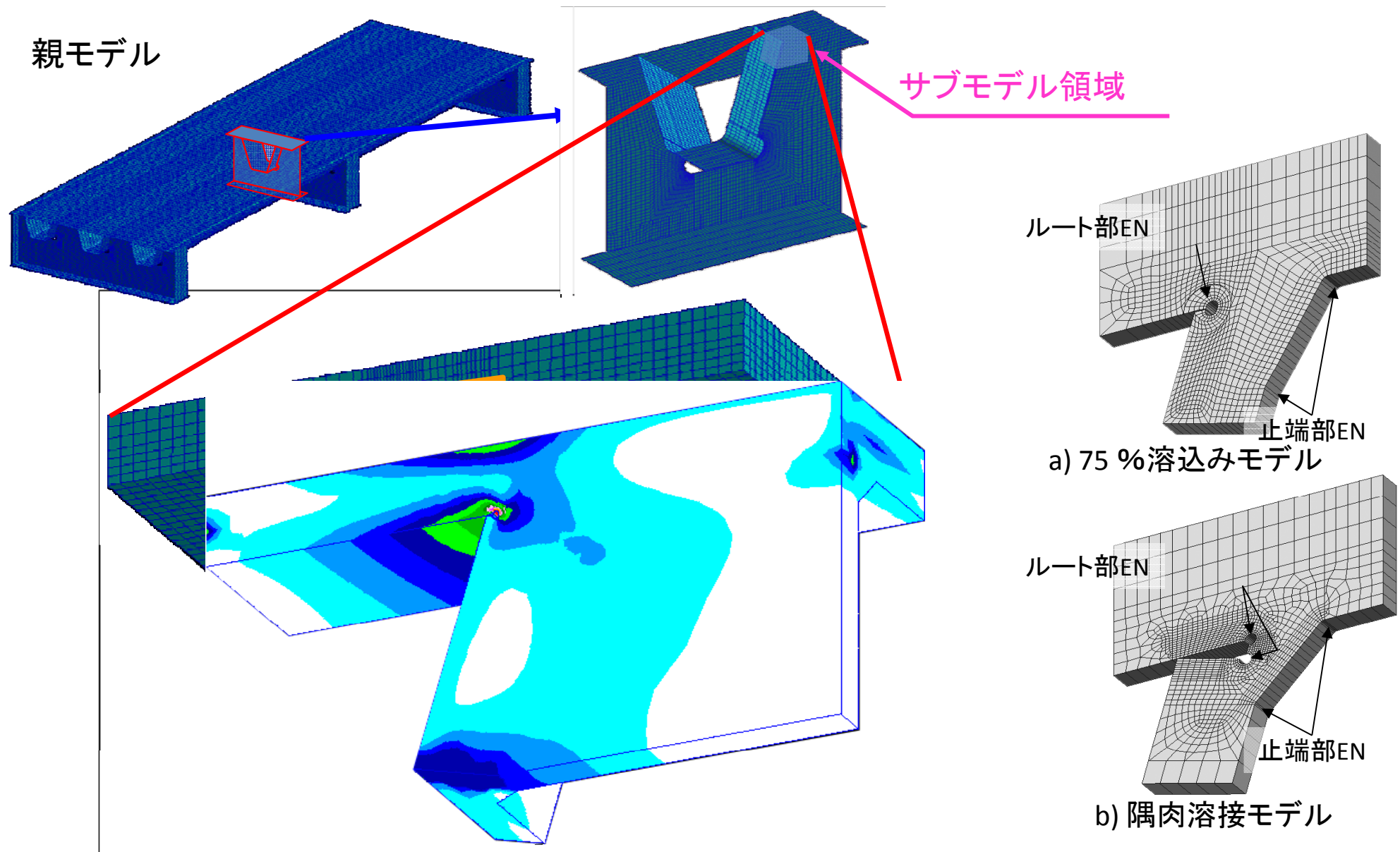


エフェクティブノッチ手法

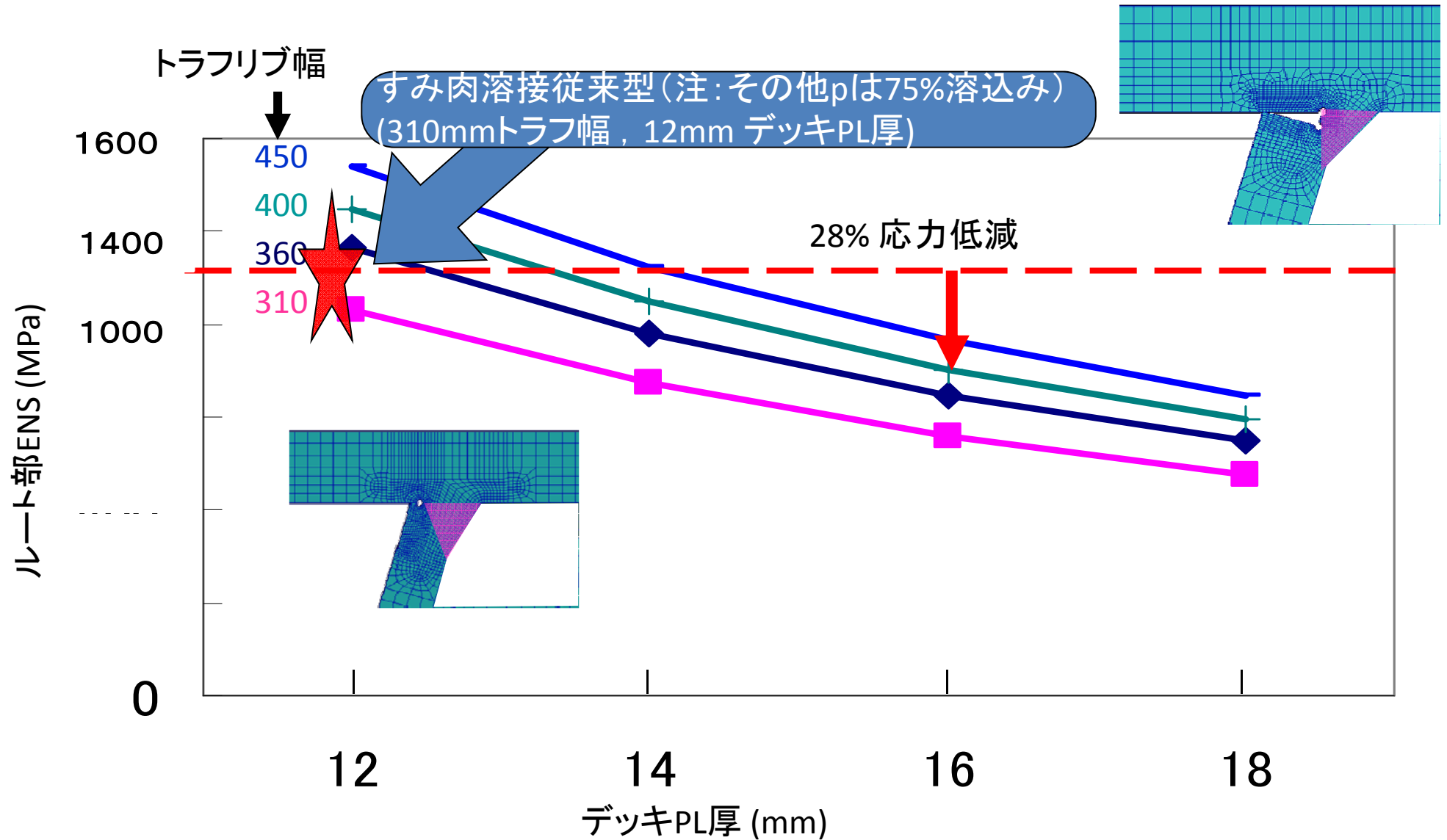


ルート応力も直接評価

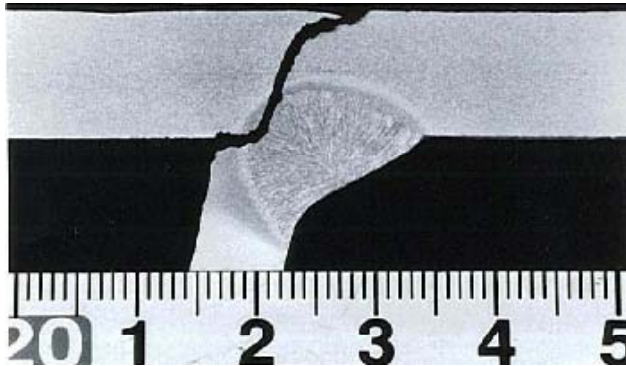
3. エフェクティブノッチを有するFEM



3. デッキ厚とトラフリブ幅のパラメータ解析

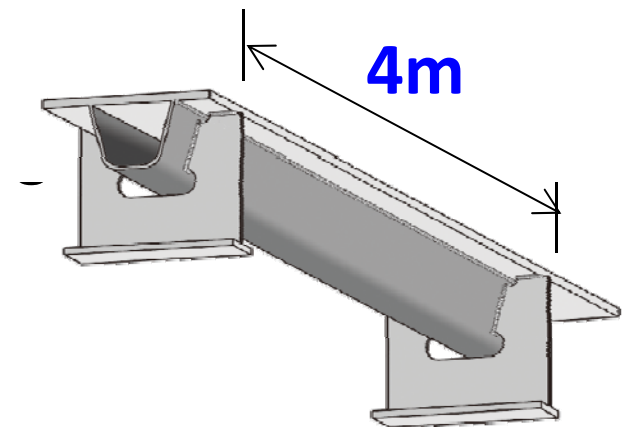
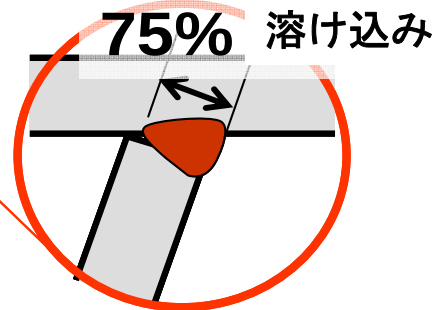
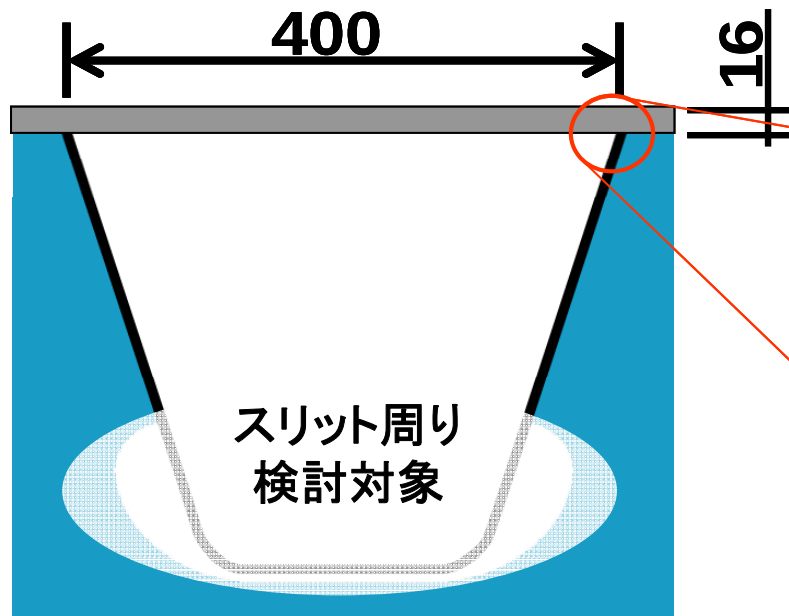


5. 高剛性デッキに伴う横リブ間隔延長



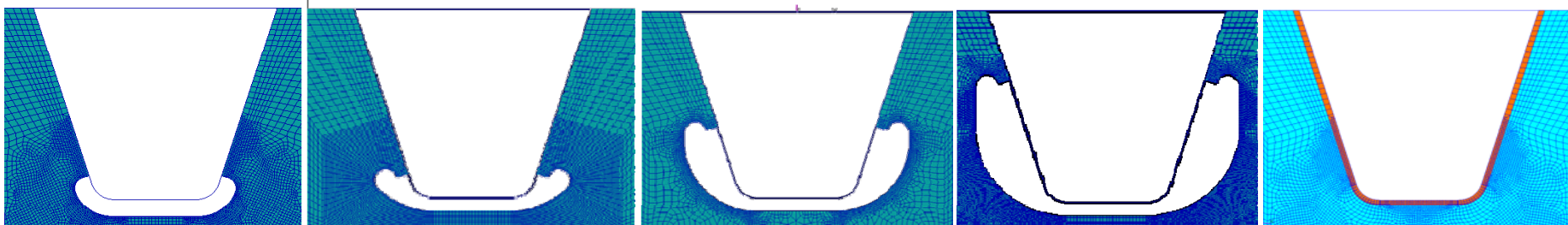
デッキ周りの高剛性化

横リブ間隔延長

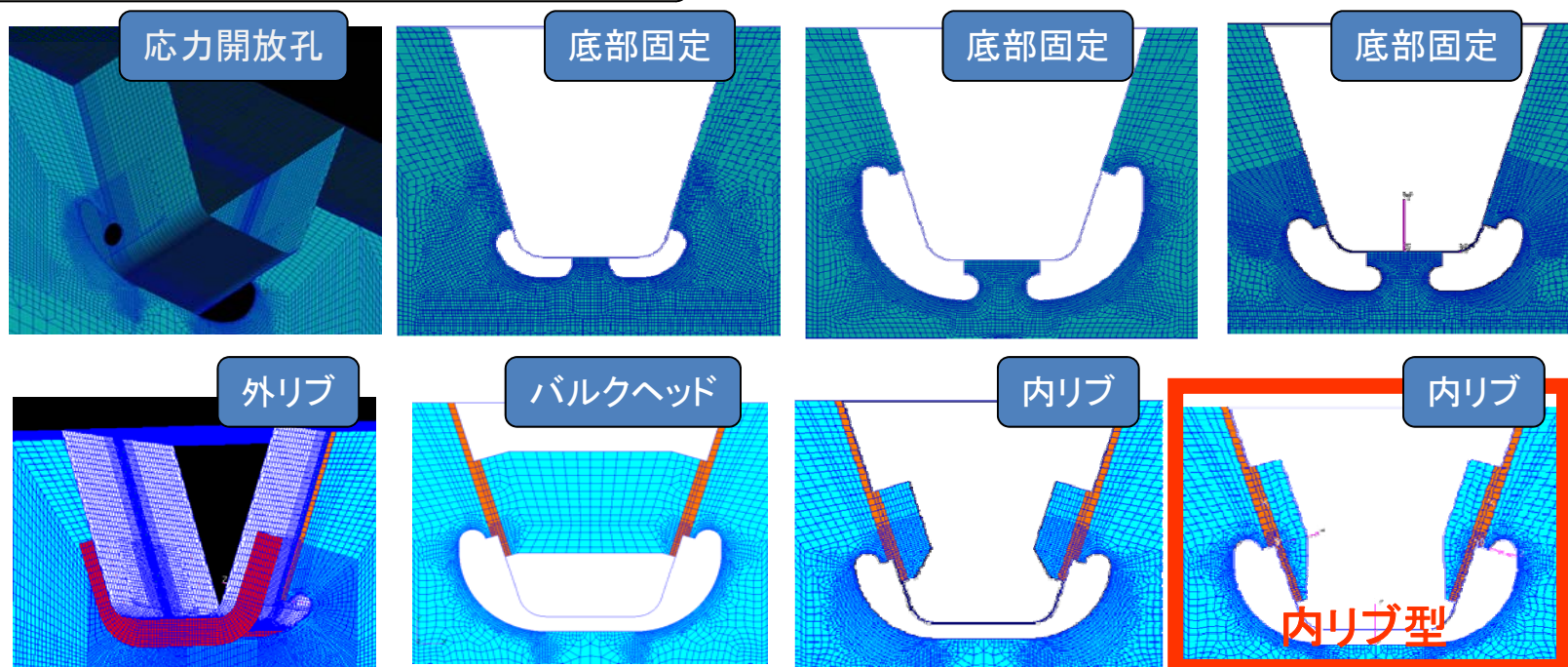


6. 解析ケースの一例

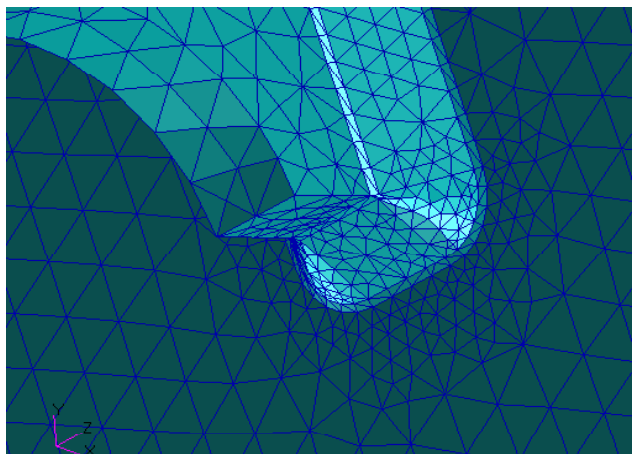
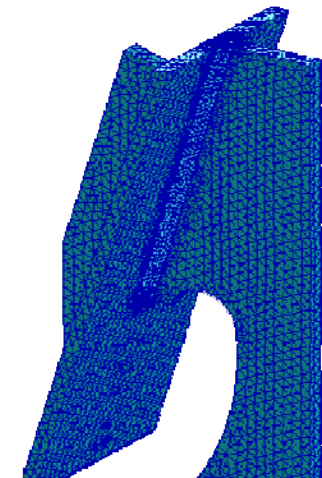
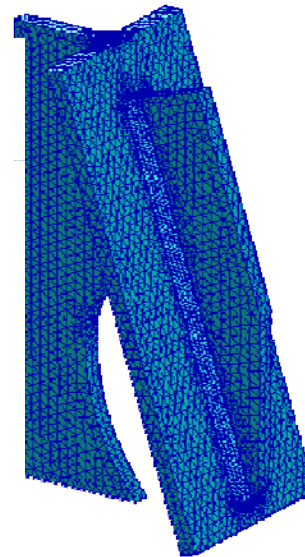
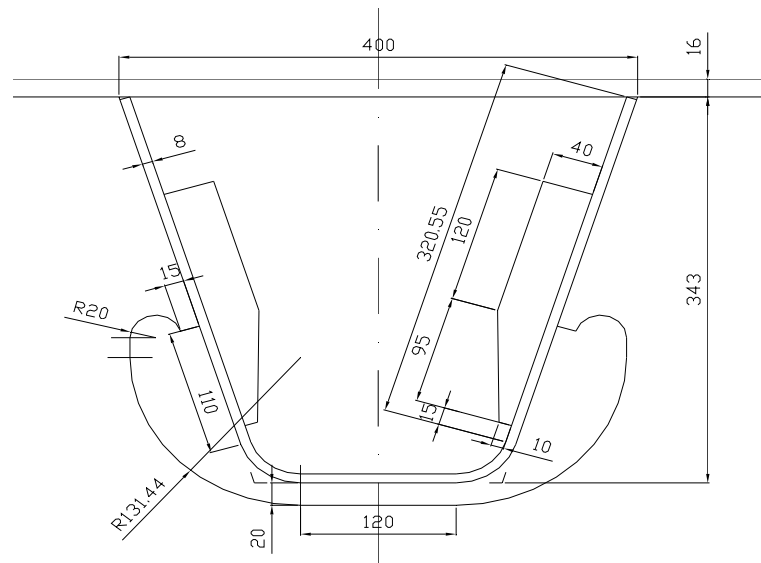
スリットの形状によるアプローチ



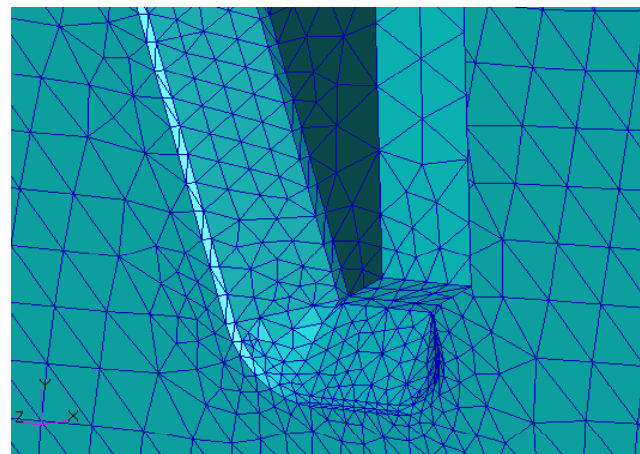
スリットの形状＋部材の追加によるアプローチ



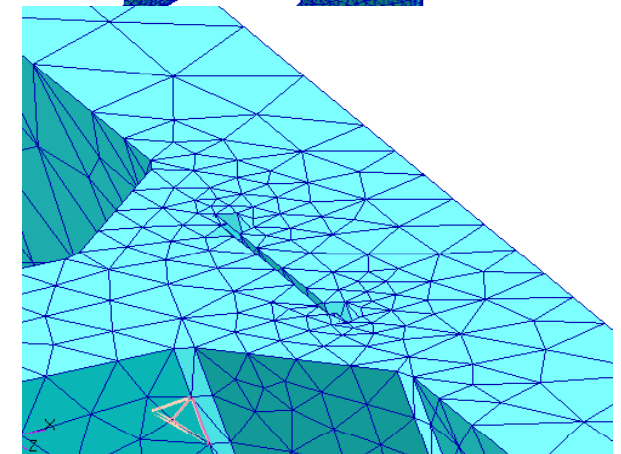
7. 最適内リブ形状(ENS付き)



スリット側止端部

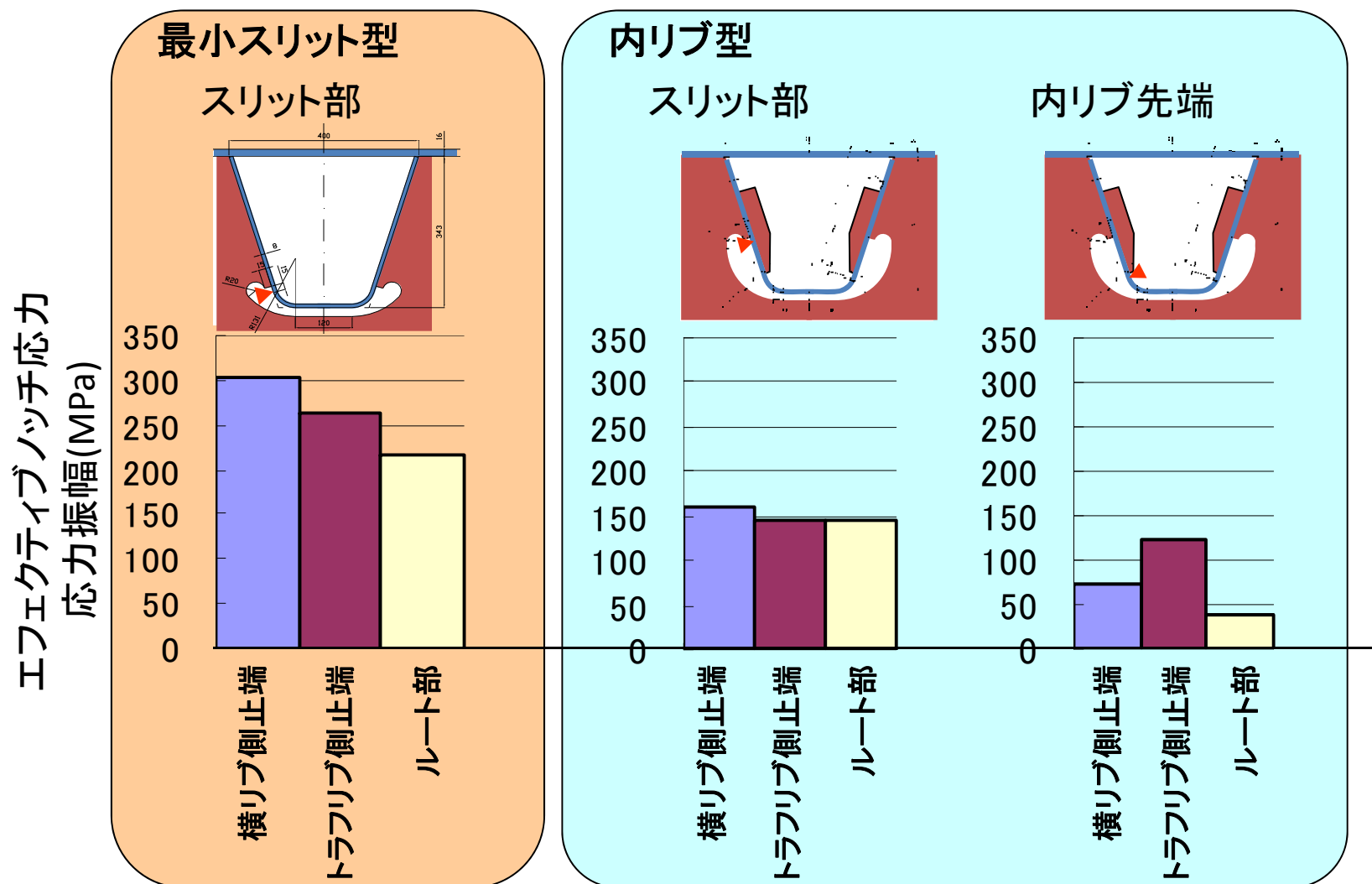


内リブ側止端部



ルート部ENS

8. エフェクティブノッチストレス結果



適切な内リブを付けることで、応力振幅は $2/3 \sim 1/2$ に減少した

止端部に比べて、ルート部のエフェクティブノッチ応力は低い = ルート破壊の危険性は低い

9.疲労耐久性の実験による確認



10.FEM解析による効果

1. 新タイプの鋼床版トラフリブは、従来タイプと比較し断面積は大きい
が、トラフリブ間隔(@0.8m)、横リブ間隔(@4.0m)を広げることが
できたため、疲労耐久性の向上、製作コストの縮減等に寄与した。
2. 実物大試験体による静的、動的載荷試験を行い、解析と載荷試験
両者の評価を行い合理的な鋼床版の実用化ができた。

IV.箱桁ダイヤフラム構造の検討

FEM解析による箱桁ダイヤフラム構造形式の検討

1. 箱桁ダイヤフラム構造の選定

鋼箱桁におけるダイヤフラムの一般的な設計

－ 配置：道示Ⅱ 1.6.2 対傾構 より

I形断面及びπ形断面の鋼桁橋では、6m以内で、かつフランジ幅の30倍を超えない間隔で中間対傾構を設ける。箱桁断面の鋼桁でもこれに準じるのがよい。



ダイヤフラムの合成桁剛度に比例し必要剛度が高くなる傾向

$$K \geq 20 \frac{EI_{DW}}{L_D^3}$$

K : ダイヤフラムの剛性

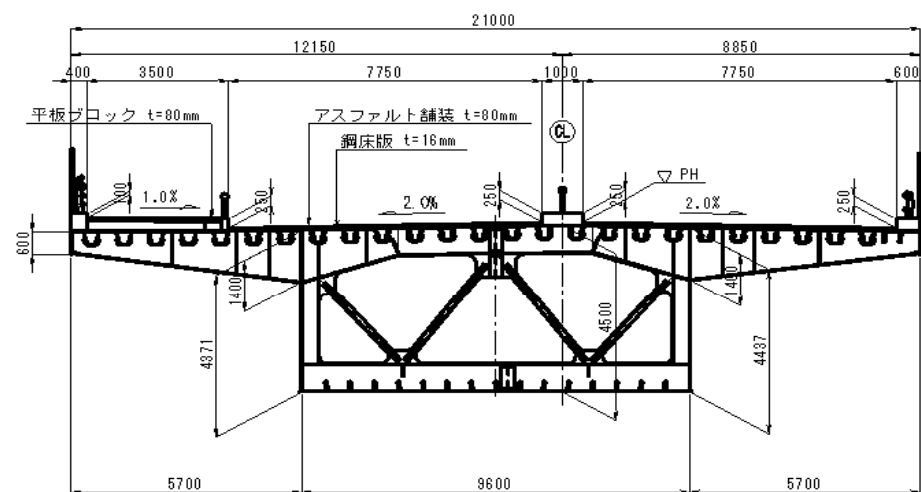
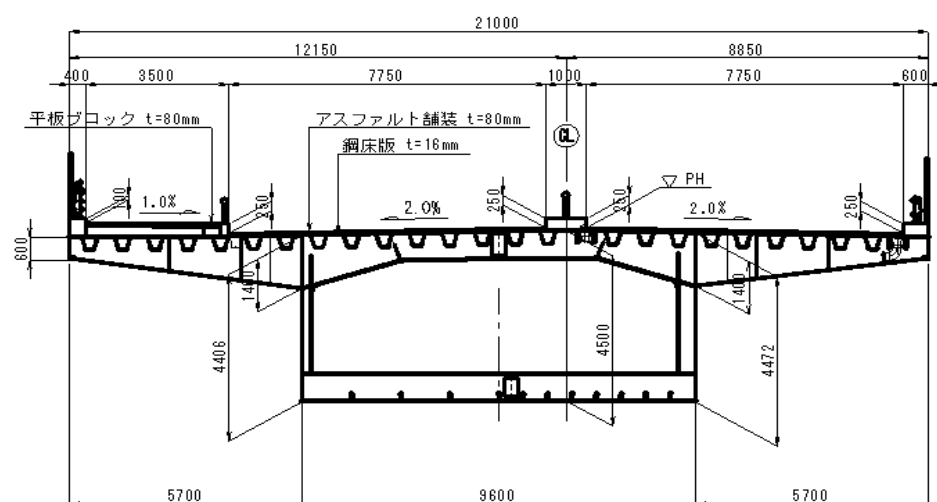
L_D : ダイヤフラムの間隔

I_{DW} : 箱桁の断面変形に対するずり定数

E : 鋼のヤング係数

2. 箱桁ダイヤフラム構造の選定

臨海大橋アプローチ橋での対応



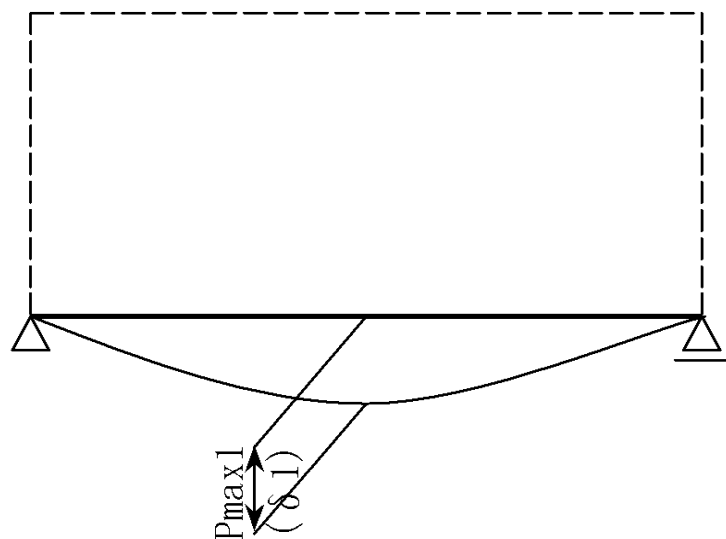
主桁幅9.6m、主桁高4.5m

横リブピッチ3.0m、4パネルに1箇所以上の対傾構方式横リブ

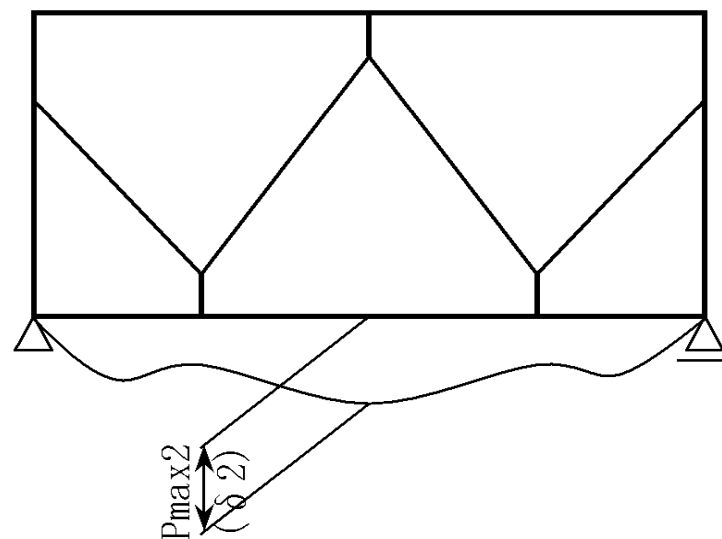
3. 箱桁ダイヤフラム構造の選定

対傾構方式の横リブ照査

対傾構なしモデル



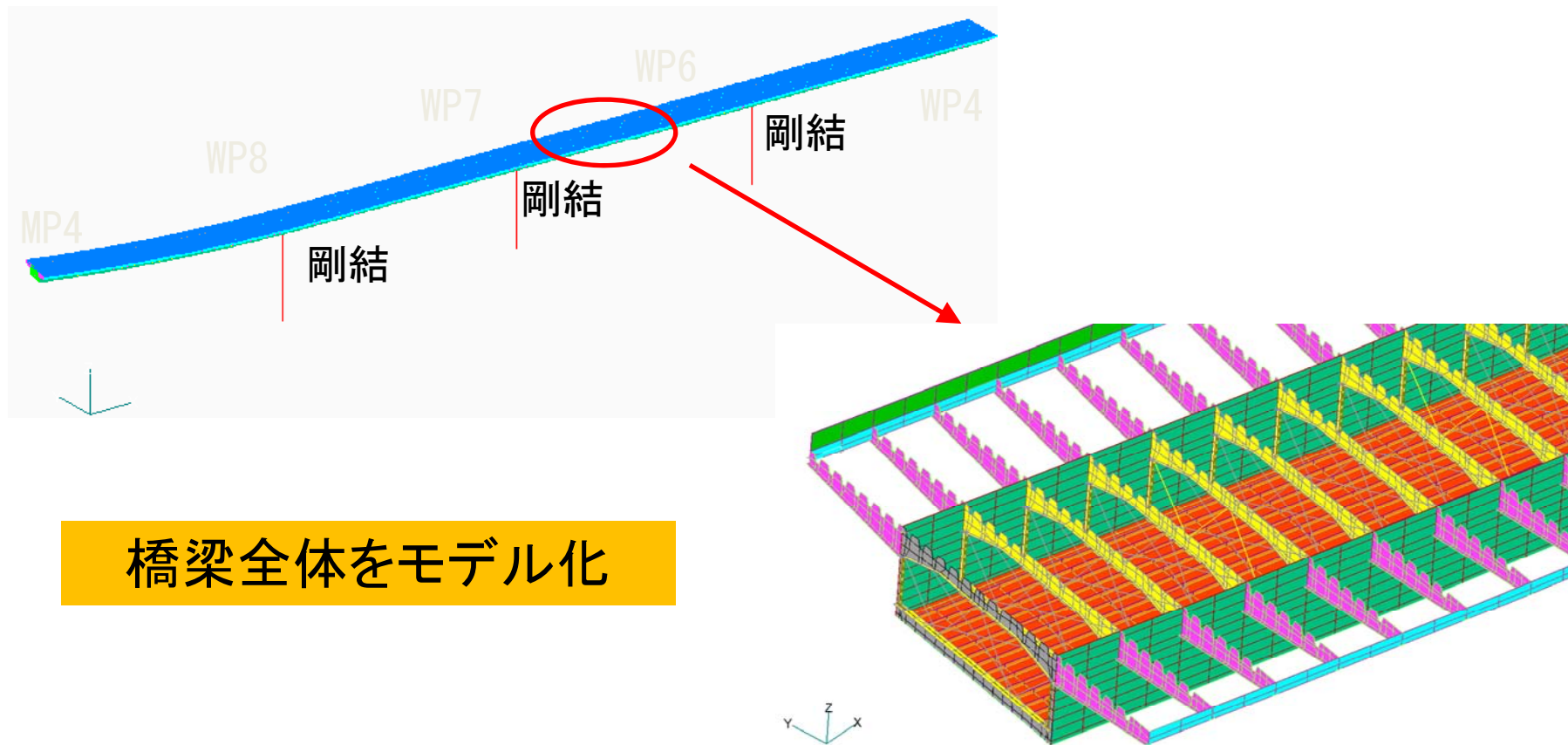
対傾構方式モデル



対傾構式横リブは、対傾構なし下横リブと同等の剛度を確保

4.FEM解析による断面剛性の確認

モデル概要



橋梁全体をモデル化

(デッキプレート、Uリブ非表示)

5. FEM解析による断面剛性の確認

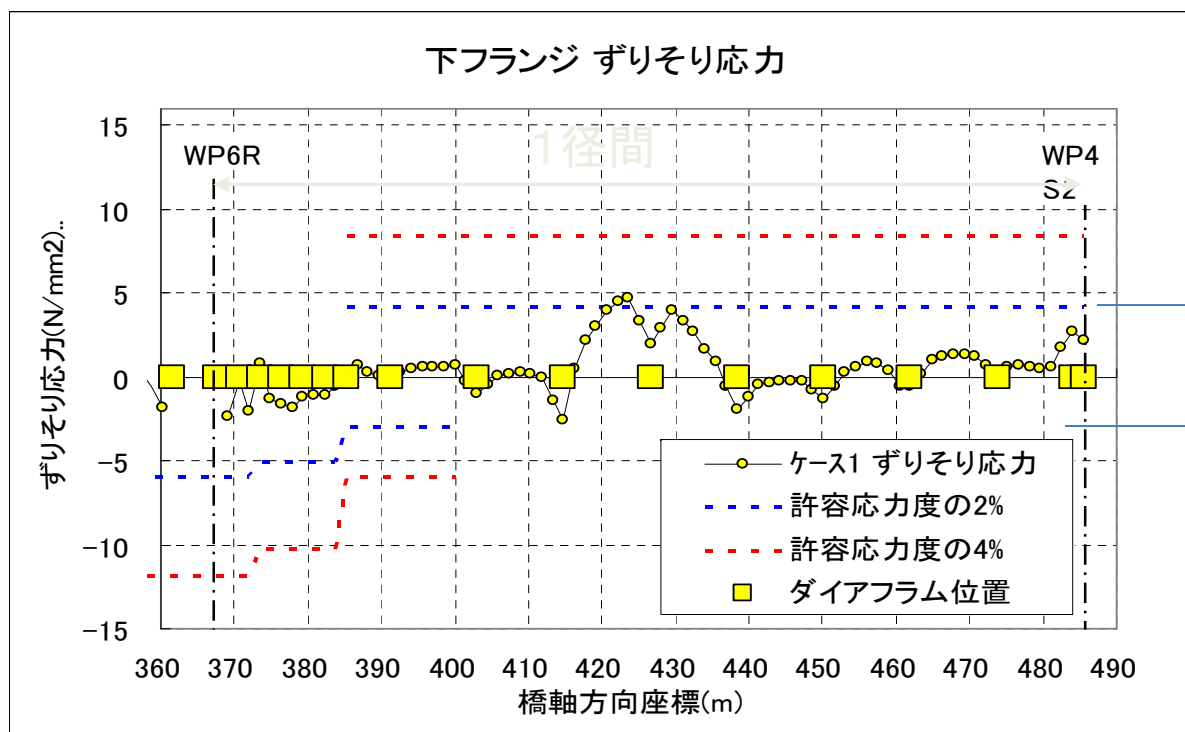
解析ケース

ケース	荷重	活荷重載荷位置	下横リブ		対傾構間隔
			剛度	間隔	
1	活荷重	直線部外側	設計剛度	約3m	約12m
2		曲線部内側	設計剛度	約3m	約12m
3		曲線部外側	設計剛度	約3m	約12m

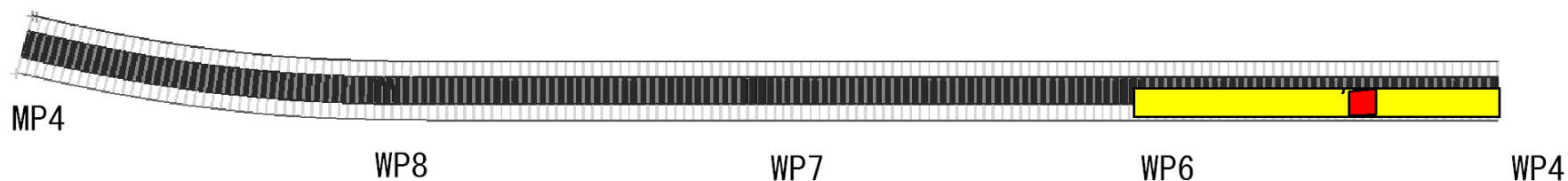
6. FEM解析による断面剛性の確認

解析結果

ケース1 直線部外側



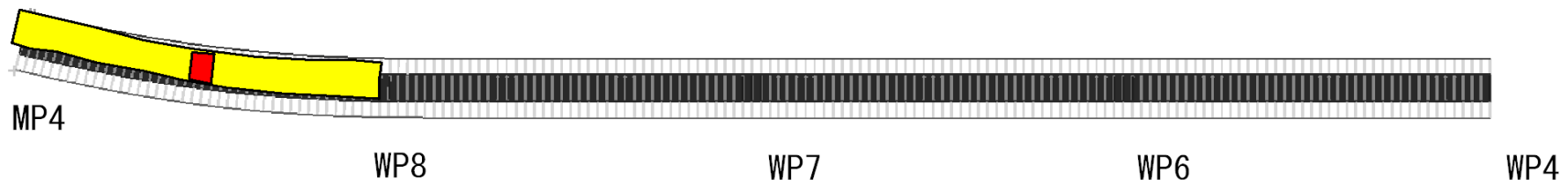
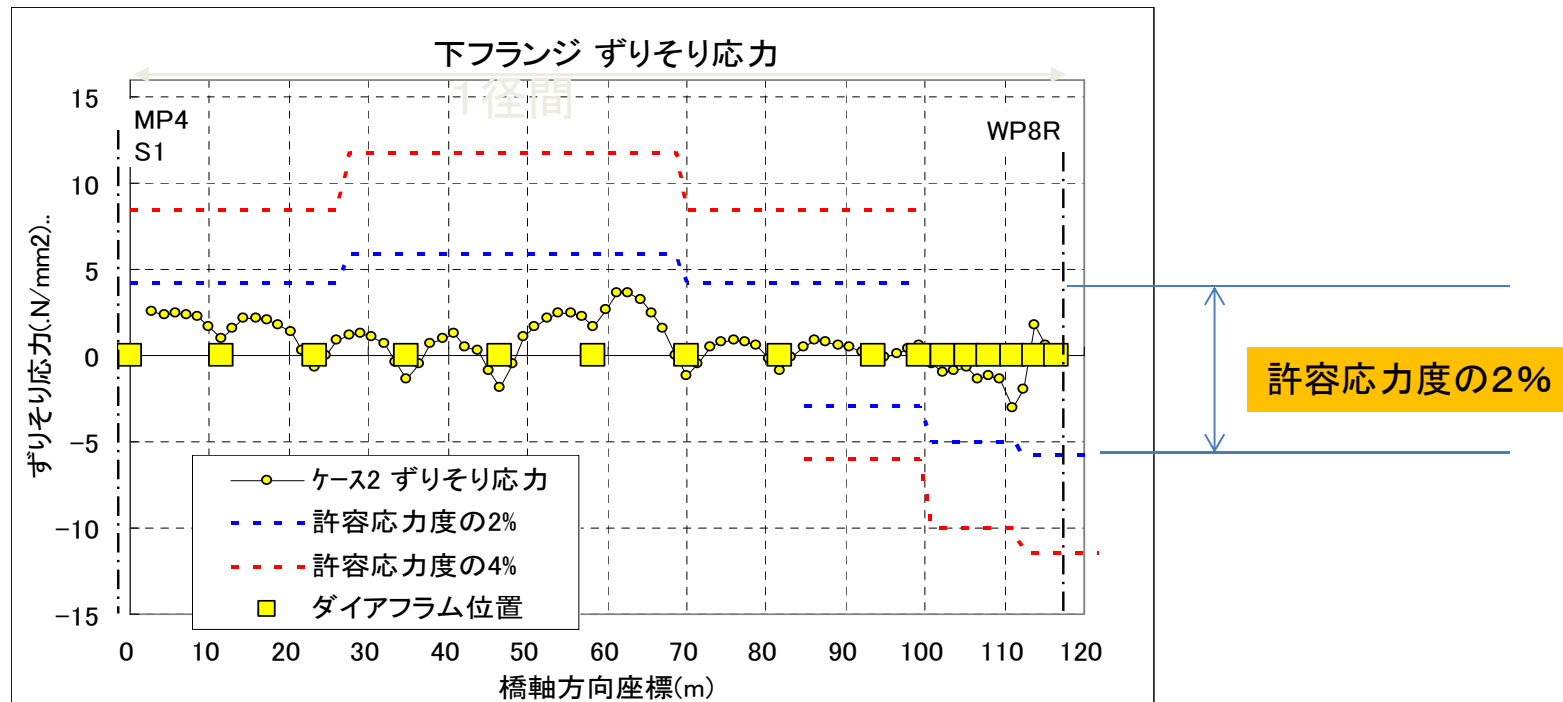
許容応力度の2%



7. FEM解析による断面剛性の確認

解析結果

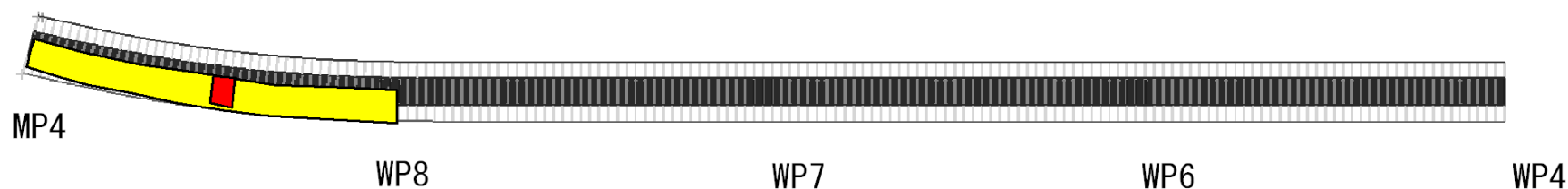
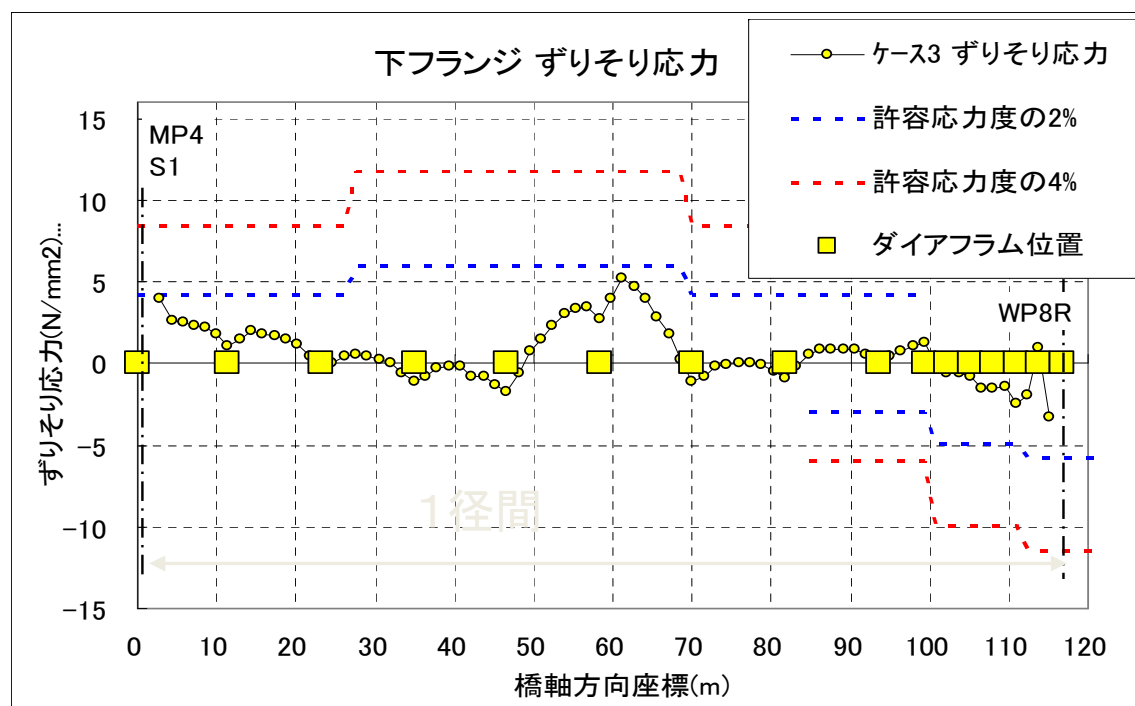
ケース2 曲線部内側



8. FEM解析による断面剛性の確認

解析結果

ケース3 曲線部外側



9. FEM解析による効果

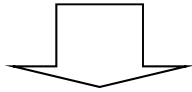
1. FEMを用いて橋全体をモデル化することで、箱桁全体の剛性を評価し、必要な部材のみ設置することの妥当性が確認できた。
2. 鋼道路橋設計便覧で設計したダイヤフラムを6mで配置した場合に比べ、約40t鋼重縮減効果(簡易比較)。

V. 上下部一体ラーメン隅角部構造

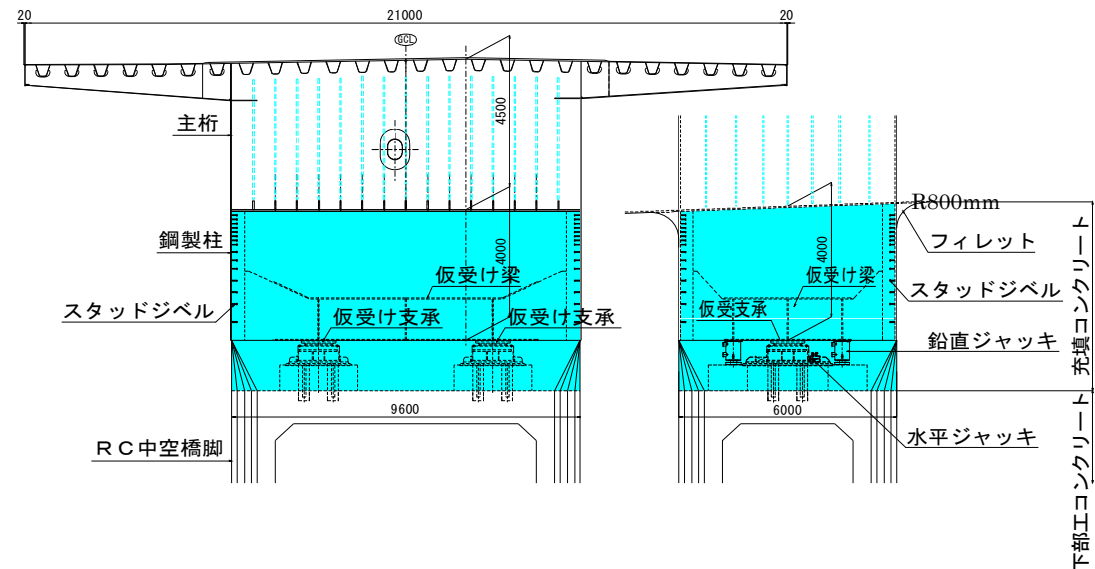
隅各部のFEM解析による合理的構造

1. フローティングクレーン架設に対応した剛結構造

- ・橋脚主鉄筋を鋼桁に貫通させて架設することができない。
- ・一旦、仮受支承上に架設し、鋼桁架設完了後にコンクリート充填して剛結する必要がある。



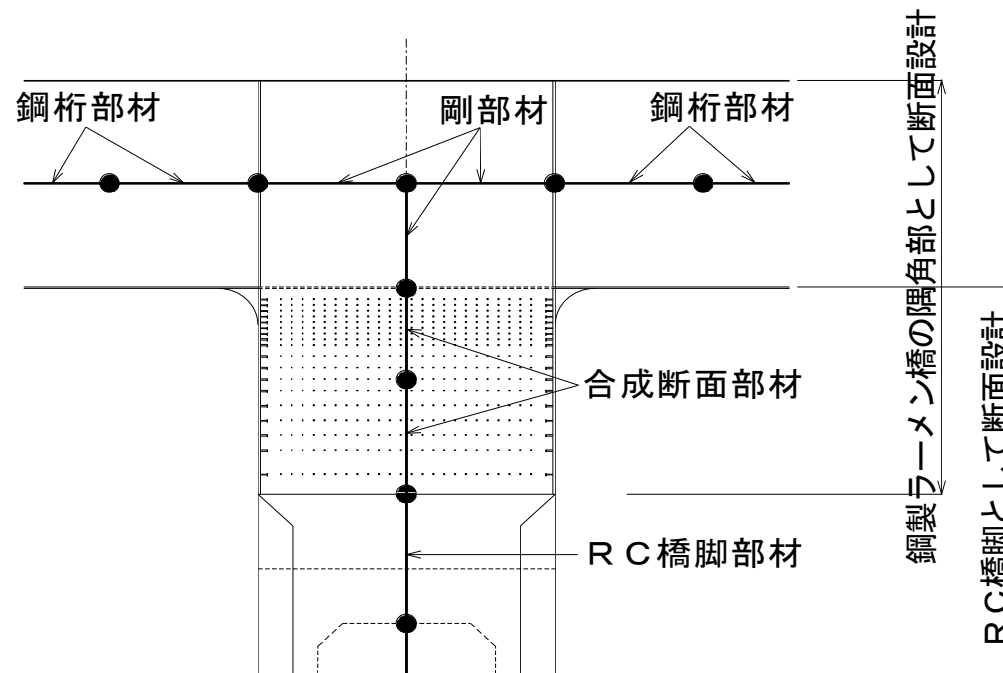
鋼製柱被覆形式採用



2. 隅角部主要部材の設計

従来手法による設計

鋼製ラーメン橋の橋脚 ← **剛結** → コンクリート橋脚
従来設計では、鋼製ラーメンの隅角部として、「奥村・石沢の方法」により設計



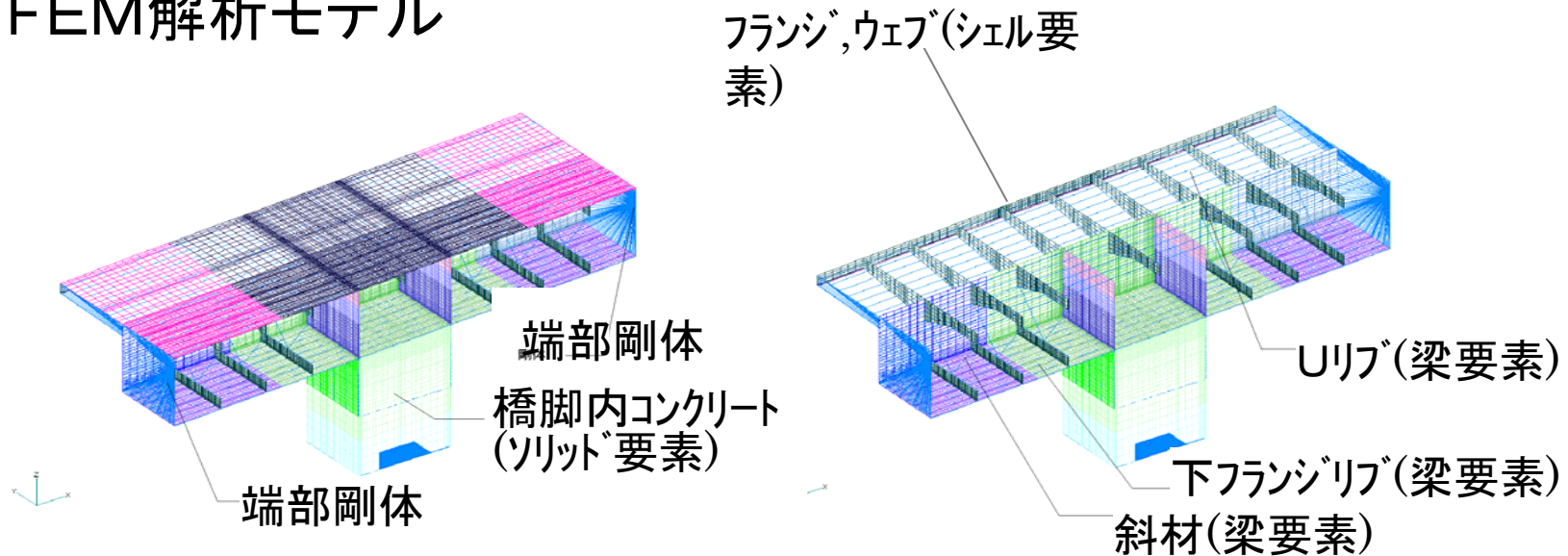
3. FEM解析による設計

箱桁サイズが大きい(幅9.6m 高4.5m)

⇒従来の設計手法で、合理的か？

⇒3次元FEM解析により主要板厚を決定

FEM解析モデル

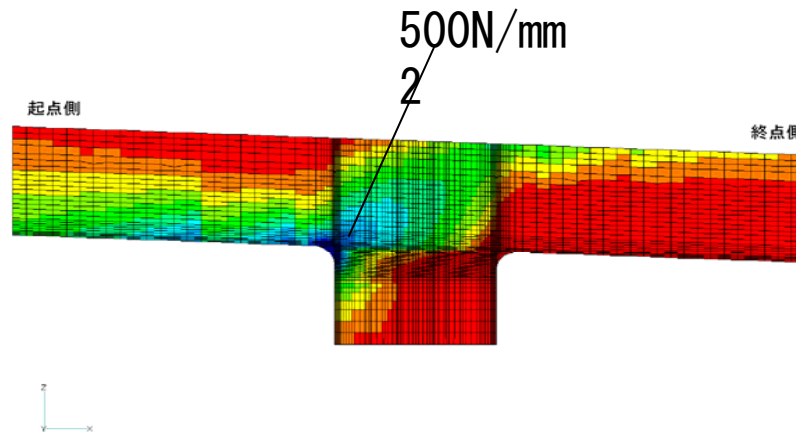


※鋼とコンクリート間は剛結合

(スタッド検討時は、既往の試験結果からばね定数を反映)

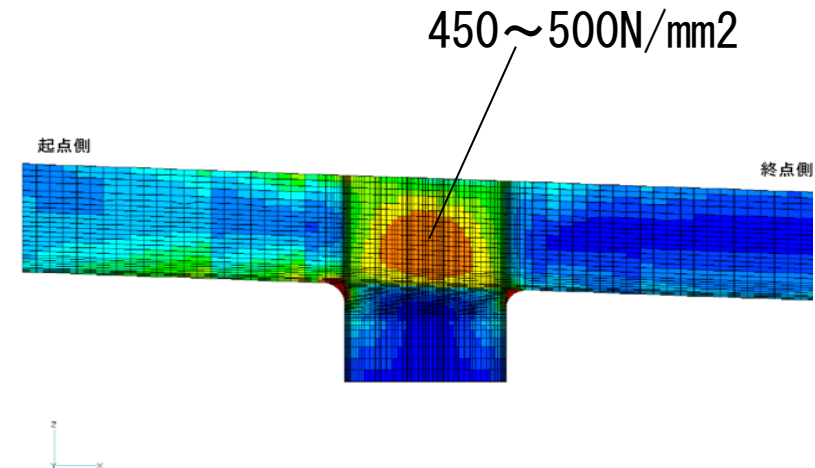
4. 主要部材の応力状態

ウェブ面の応力状態 (ウェブ $t=58\text{mm}$)



最小主応力コンター図

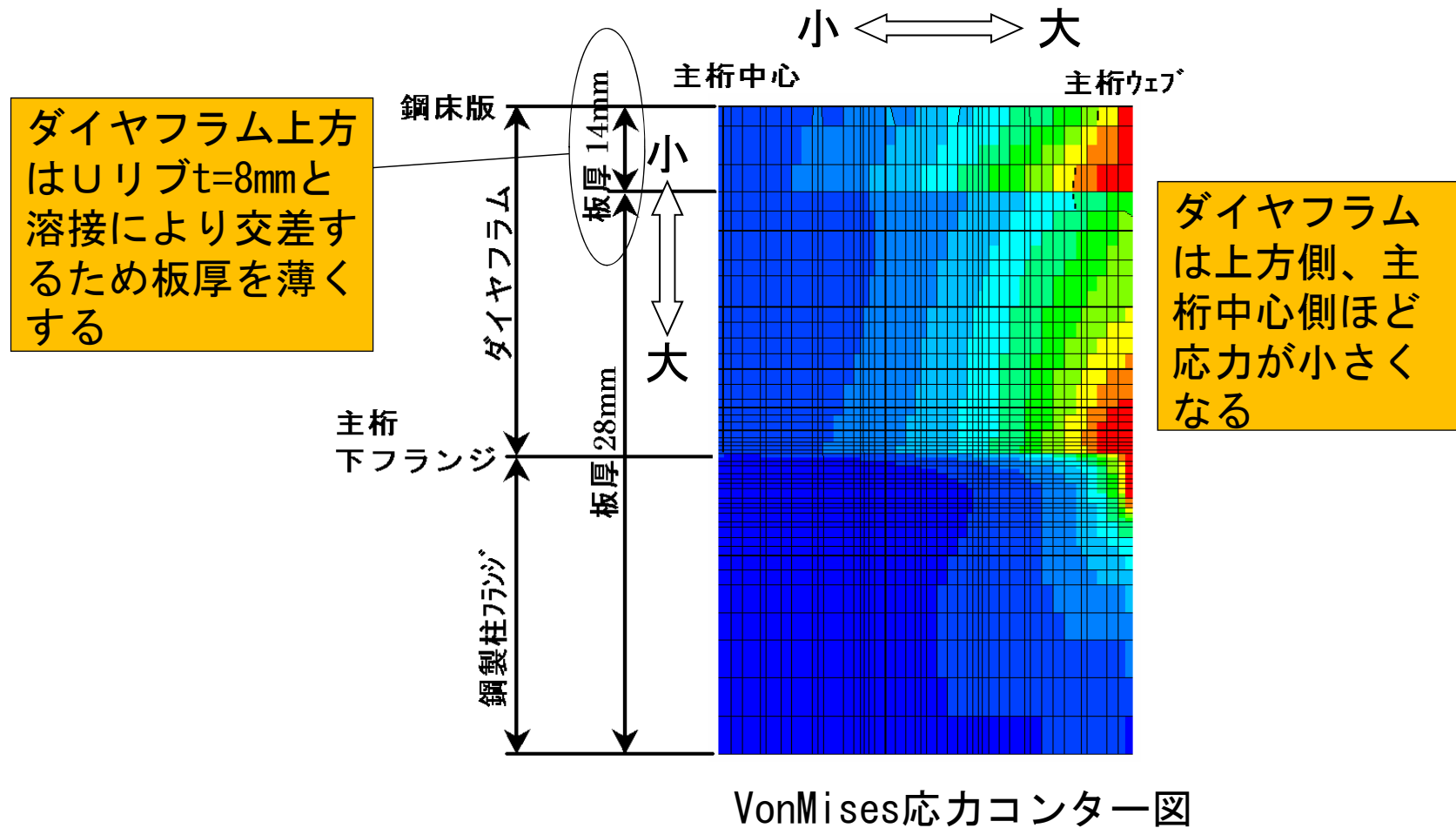
鋼製柱と下フランジ 交差部の
応力が高い。



VonMises応力コンター図

隅角部内のウェブは、せん断応
力が卓越するためVonMises応
力が高い。

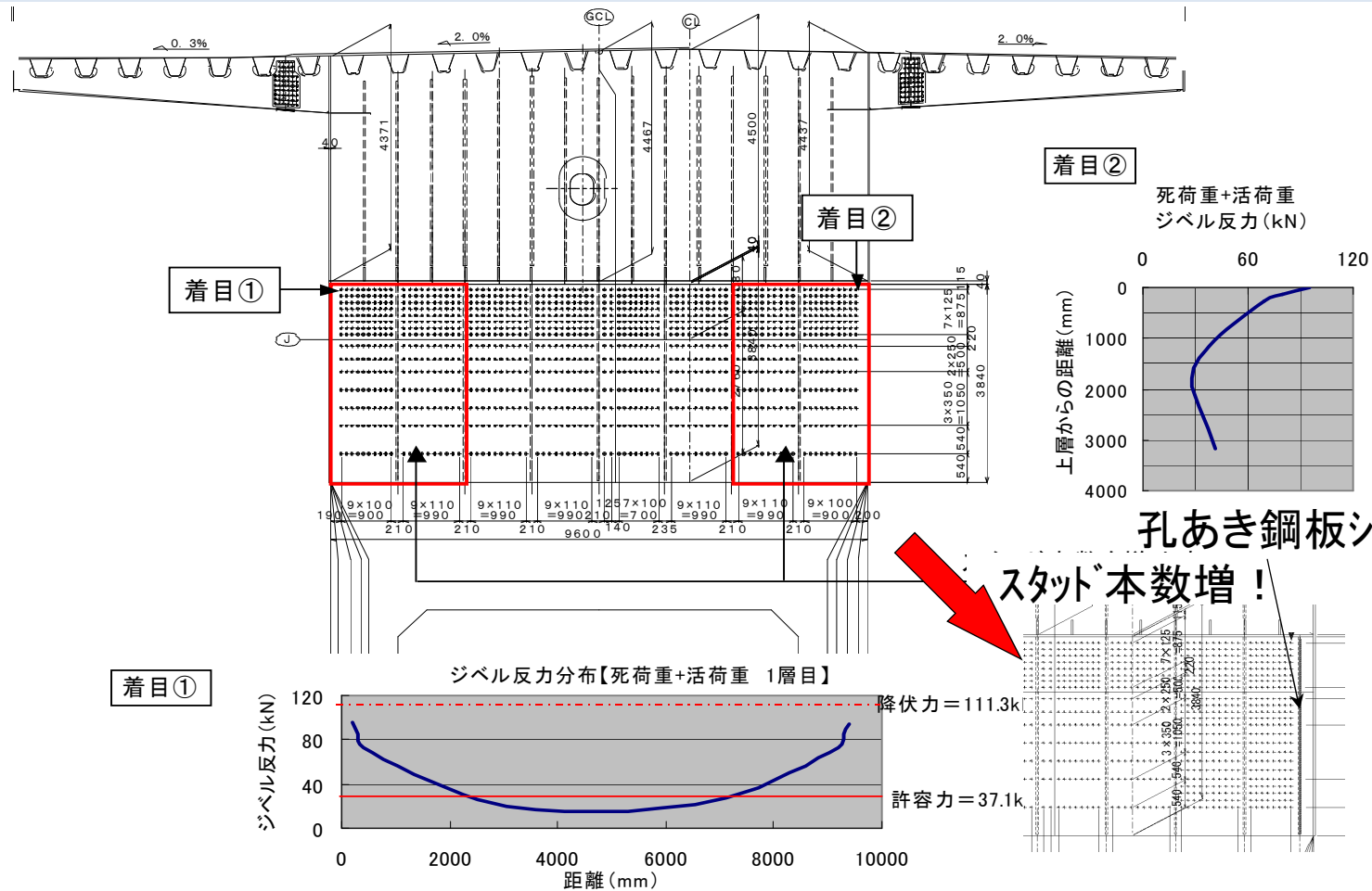
5. ダイヤフラム面の応力状態



6. スタッドの作用力

スタッドの作用力状態

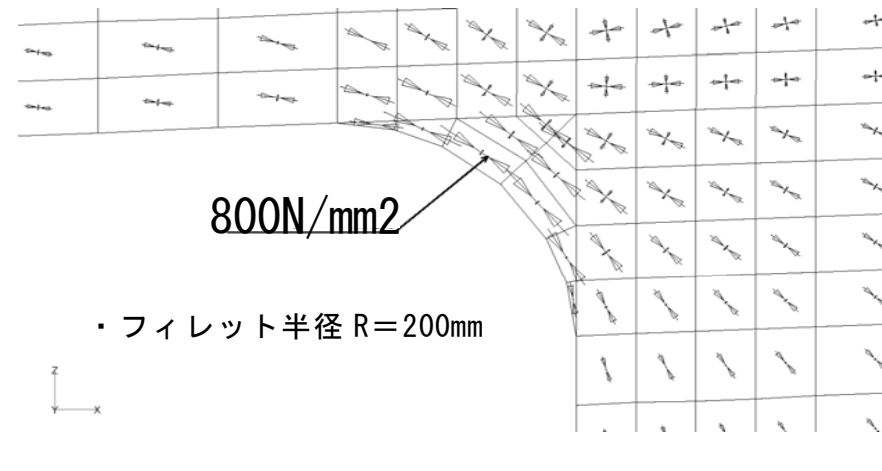
⇒スタッド本数増、孔あき鋼板ジベルの追加



7. フィレット部の応力状態

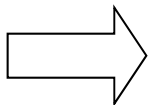
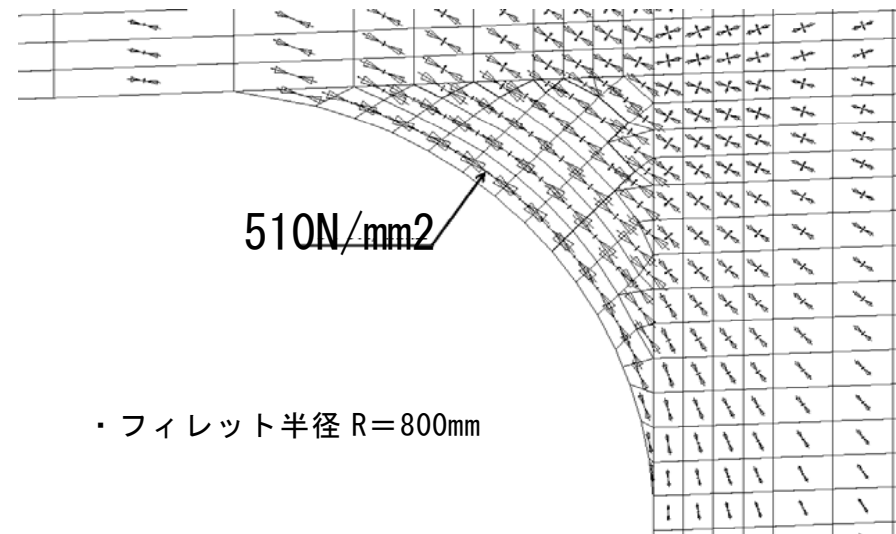
フィレットR=200mmの場合

鋼道路橋の疲労設計指針
の構造例よりR=200mmとし
た場合、
降伏を大きく超える
800N/mm²が生じた



フィレットR=800mmの場合

フィレットをR=800mmとし
た場合降伏応力度程度
510N/mm²に低減できた。



R=800mm 採用！

8. FEM解析による効果

1. 従来設計による板厚決定結果より、板厚低減が可能となった。
2. 最も効果の大きい橋脚では下表の通りとなり、約220t程度の鋼重低減となった。

	部 材		従来設計 による板厚	FEM解析 による板厚
鋼 桁	鋼床版		55	16
	下フランジ		70	28
	ウェブ		86	58
鋼製柱	フランジ		86	28
	ウェブ	上層	86	58
		下層	86	37
	ダイヤフラム	上層	86	14
		下層	86	28

VII. FEM解析を設計に導入する場合の課題

1. FEM解析を設計への導入は解析だけでなく、**模型溶接試験・载荷試験による応力伝達挙動の検証**や**製作・架設の確認等を反映した解析内容の検証**が必要である。
2. また、それらを**総合的に一括管理する技術支援体制**も必要である。
3. 対象構造物のモデル化や解析結果の評価方法等について、**汎用性のあるマニュアル等の策定**が必要である。
4. 作成された**解析モデルの管理体制**を整える必要がある。

VIII . お わ り に

東京ゲートブリッジは、FEM解析の設計への導入を含む、新手法・新技術を積極的に取り入れることにより、数々の制約条件をクリアし、コストパフォーマンスはもとより、景観性・耐久性にも優れた橋梁となった。

設計から製作・施工まで総合的にサポートいただいた、技術検討委員会（委員長：三木千壽東京都市大学総合研究所教授）、分科会の委員はじめ、設計コンサルタント、施工関係者の皆様に深く謝意を表します。

東京港臨海道路Ⅱ期工事：平成15年着手、平成24年2月12日開通

