

支点部にアーチ形状を有するV脚ラーメン連続箱桁橋の設計（桂川橋）

Design of a Continuous, Rigid-Frame, Box-Girder Bridge with Arched, V-shaped Supports above its Supporting Piers (Katsuragawa Bridge)

梅本喜久* 永谷秀樹* 佐々木隆太* 井上雅夫**
 Yoshihisa UMEMOTO Hideki NAGATANI Ryuta SASAKI Masao INOUE

Summary

The Katsuragawa Bridge is a bridge on the highway connecting the Oyamazaki junction of the Meishin expressway to the Kumiya junction of the Keiji bypass. It passes over the left bank of the Katsura River. With emphasis on harmony with the natural environment, the bridge has a rigid-frame structure in which the main girder is rigidly joined to V-shaped supports, each of which is curved where it connects to the main span thus forming an arch. This paper describes the essentials of the design for the Katsuragawa Bridge.

キーワード：V脚ラーメン，連続合成桁，FEM解析，隅角設計

1. まえがき

本工事は、名神高速道路大山崎JCTから京滋バイパス

久御山JCT間の自動車専用道および専用道路に並列する一般国道478号の一般国道部において、それぞれ桂川左岸上を跨ぐ2橋梁を対象としている。

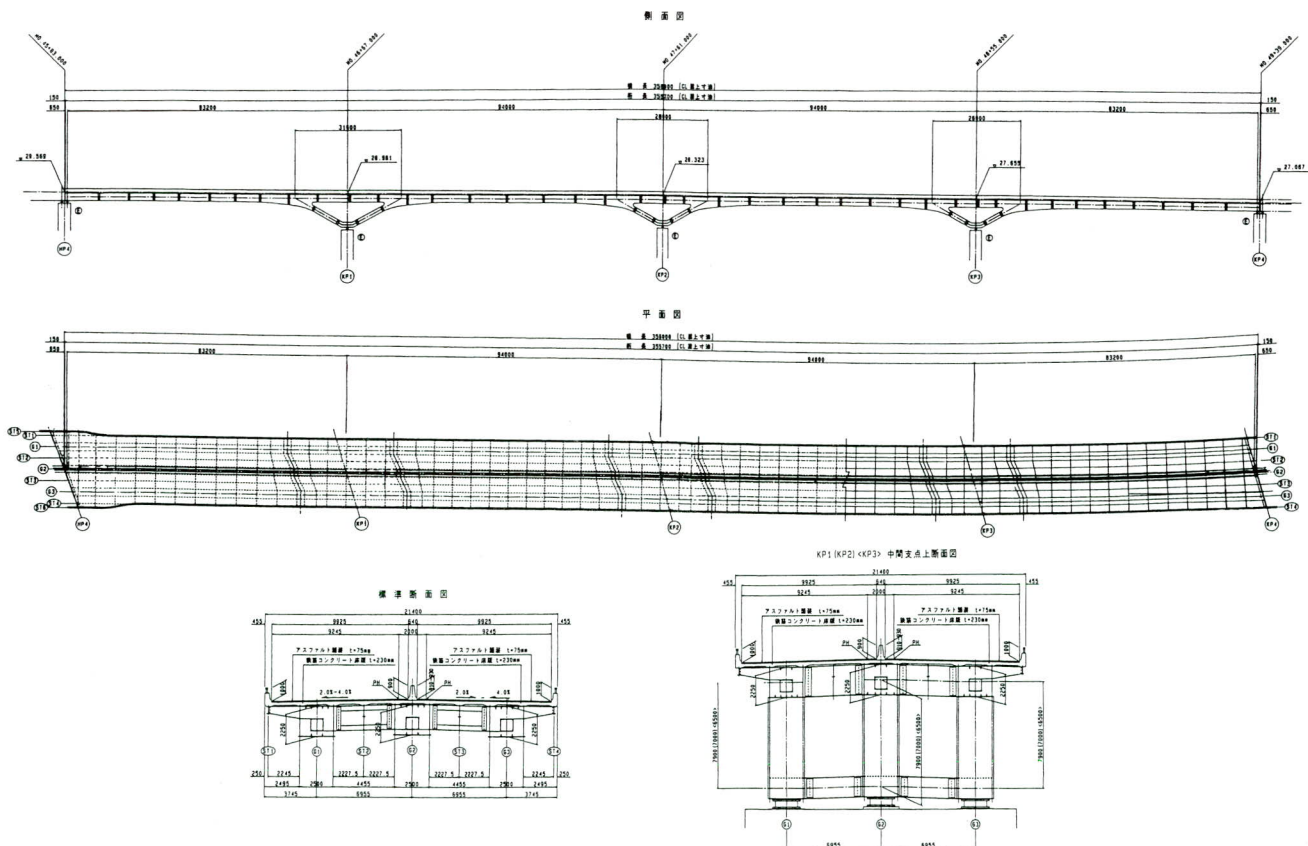


図-1 橋梁一般図

* 技術本部設計部設計一課

** 技術本部設計部次長

ここに報告する自動車専用道部の橋梁については、景観検討委員会により地域の自然背景との調和を重視したデザインコンセプトにより、アーチ形状をイメージした3基のV型橋脚と主桁(箱桁)を剛結合した立体ラーメン構造を採用している。

V型橋脚形式のラーメン橋の有利点としては以下の項目等が考えられる。

- ・側径間および中央径間の支間を長くすることができ桁下空間を広く確保できる。

- ・主桁とV橋脚を剛結することによって不静定次数を上げ合理的な設計ができる。

また、本橋の設計に際し次の検討項目が挙げられた。

- ・構造形式が複雑であるとともに、現場施工時期の制約に配慮した適切な施工法の選定と施工手順の設計への反映。

- ・構造形式が剛結構造の上に斜角を有するため、立体的な挙動の設計への反映。

- ・鋭角に交差するV脚隅角部における応力伝達機構の解明と製作性に優れた板組の選定。

- ・ゴム支承を用いた支点部の適切な補強構造。

本報告では、以上の特徴をもつ桂川橋の詳細設計における、主要な事項について述べる。

2. 橋梁概要

設計条件を以下に示す。また、橋梁一般図を図-1に、

本橋の完成予想イメージ図を図-2示す。

道路規格 第1種3級A規格

設計速度 V=80 km/h

設計荷重 B活荷重

橋 長 356.0 m (C L上)

構造形式 鋼4径間連続部分合成箱桁(支点部V脚構造)

支間割り 83.2+94.0+94.0+83.2m (C L上)

有効幅員 9.925m×2 (上下線一体構造)

斜 角 HP4 70° 00' 00"

KP1 73° 00' 00"

KP2 73° 00' 00"

KP3 74° 24' 10"

KP4 78° 11' 50"

平面線形 R=∞~A=400~R=1100

縦断線形 0.700%

横断線形 √2.000% 2.000% \ ~ √4.000%

床 版 鉄筋コンクリート床版 t=230 mm

支 承 水平反力分散支承(積層ゴム支承)

3. 景観設計

本橋梁の計画地域は日本で唯一、木曾川、宇治川、桂川の3大河川が合流する地域であり、また周辺は雄大な自然に囲まれている。そこで、景観検討委員会において、この

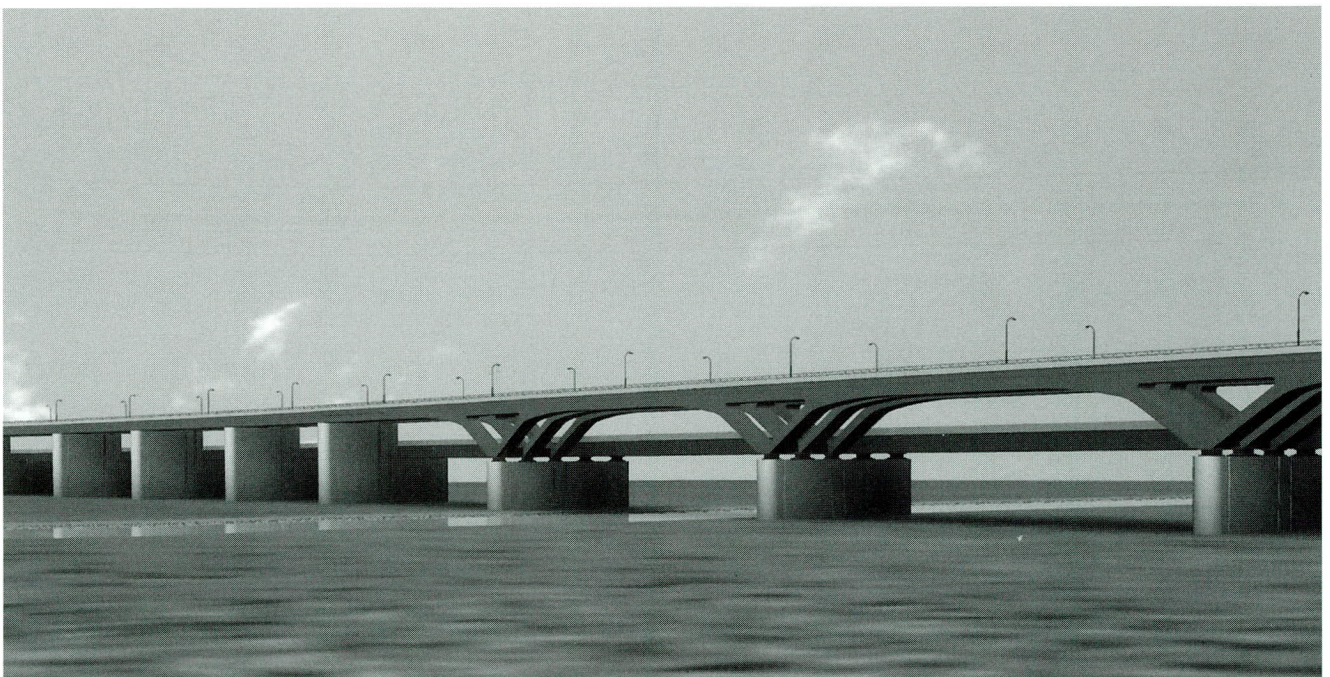


図-2 完成予想イメージ図

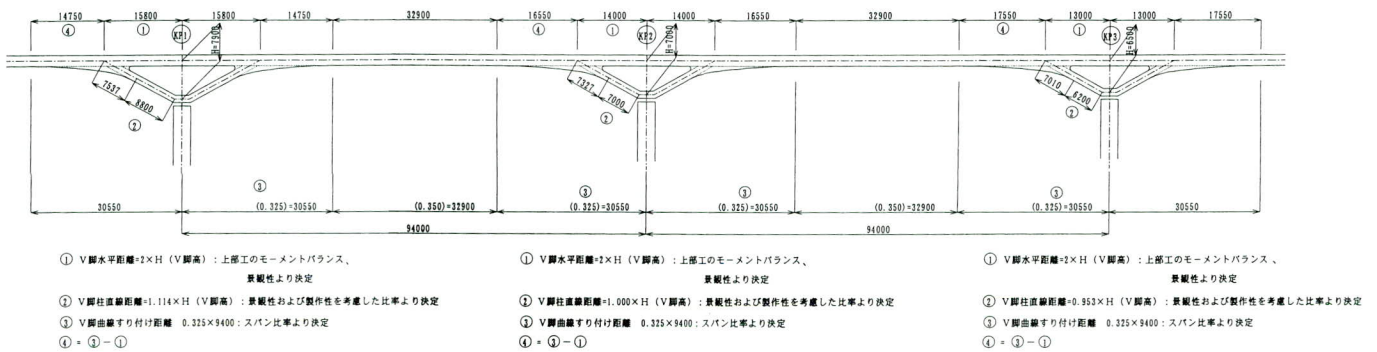


図-3 V脚形状図

風景との調和を重視した橋梁として、アーチ形状をイメージしたV脚形式を採用した。

景観性および隅角部の製作性を考慮したV脚部アーチ形状における曲線区間および扁平率を決定する基本寸法を図-3に示す。

また、V脚アーチ曲線は図-4に示すように直線AV、BVに接し、かつV点の直下Cにおいて共通接線をもつ2つの放物線L1、L2とする。

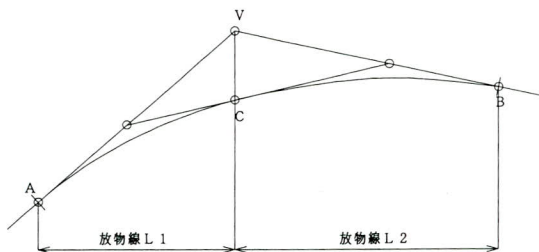


図-4 アーチ曲線図

4. 主構造の設計

(1) 設計概要

本橋の主構造は、V脚と主桁が剛結されており、これに交わる横梁と横桁で構成される。また、斜角を有しているため、詳細設計において以下の項目を重点的に検討した。

- ①本橋の構造形式は、V脚との剛結構造に加え斜角(70°~78°程度)を有しているため立体的に複雑な挙

動を示す。よって、構造解析には立体骨組解析を採用した。なお、支点の拘束条件はゴム支承を評価できるバネ支持とした。解析モデルを図-5に示す。

- ②架設は、大型クローラークレーンによるベント工法である。KP2~KP3の河川流水部においては落とし込み架設を行うが、各V脚支点部のジャッキ操作によるモーメント連結を行うので、構造解析においてジョイント部における架設ヒンジ等は考慮しないこととした。
- ③基本設計に対してさらなる合理化・省力化を目指してガイドライン設計および合成桁設計を適用した。
- ④隅角部においては、隅角設計の他にFEM解析による安全性の検証を行った。
- ⑤全体座屈については、弾性座屈解析により安全の確認を行った。等価支間長については、設計荷重状態における発生断面力性状より決定した。
- ⑥平面寸法が1880×1880mmと大きなゴム支承を使用するため、支点部における補強設計の検討を行った。

以上に示した検討項目において、特に特徴的な以下の項目について報告を行う。

(2) 床版および合成桁設計

鋼桁断面決定においては、中間支点付近の床版に引張力

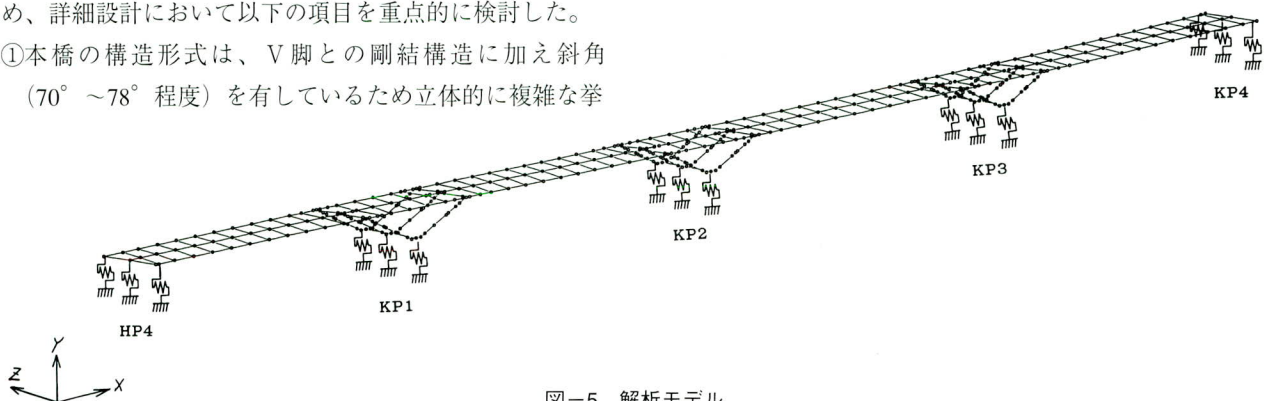


図-5 解析モデル

が発生する部分については鋼断面に余裕を持たせている。また中央径間における正曲げモーメントは発生範囲が狭い上に最大値が小さく、側径間の正曲げモーメントが卓越している曲げモーメント性状を示していることから、**図-6**に示す側径間の正曲げモーメントの生じる区間のみを合成構造とする部分合成桁設計を採用した。

床版は、全橋にわたって連続合成桁として設計した。連続合成桁では、中間支点上における床版のひび割れが問題である。本橋の中間支点上の照査方法は、P C床版鋼 2主桁橋の連続合成桁設計指針³⁾によった。

以下に、床版の設計概要を述べる。

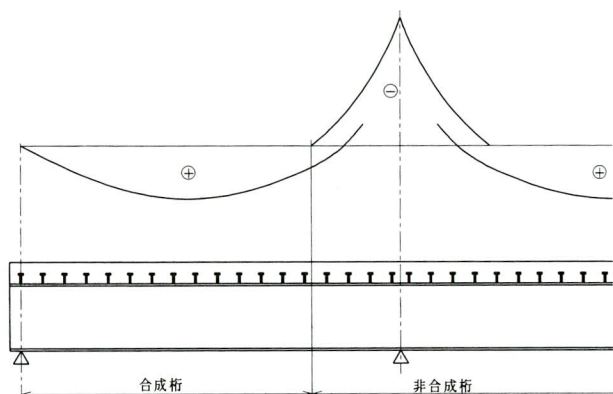


図-6 合成桁設計範囲図

1) 鉄筋強度の照査

橋軸方向の鉄筋に着目すると、下側鉄筋はL荷重（主桁作用）と同時にT荷重（床版作用）が作用した場合が最も不利な状態である。道路橋示方書では、この重ね合わせに対して、コンクリート40%、鉄筋20%の許容応力の割り増しで照査していたが、本設計においては、L荷重の6割とT荷重を重ね合わせるものとし、許容応力の割り増しは行わないこととした。照査荷重の組み合わせを**表-1**に示す。

表-1 荷重組み合わせ（鉄筋照査）

照査荷重	下側鉄筋		上側鉄筋
	床版作用	重ね合わせ	主桁作用
活荷重 ①床版作用 (T荷重)	○	○	—
②主桁作用 (L荷重)	—	—	○
③②×0.6	—	○	—
④死荷重	○	○	○
⑤クリープ・乾燥収縮	○	○	○

2) 耐久性の照査

ひび割れ幅の照査は、コンクリート標準示方書（土木学会 平成8年）の算出式を適用する。また、許容ひび割れ

幅は、コンクリート標準示方書の特により厳しい腐食性環境の0.0035cを適用する。照査荷重の組み合わせを**表-2**に示す。

表-2 荷重組み合わせ（耐久性照査）

照査荷重	上側鉄筋ひび割れ
①床版作用 (T荷重)	—
②主桁作用 (L荷重)	—
③②×0.6	○
④死荷重	○
⑤クリープ・乾燥収縮	○

3) 最小鉄筋量および構造細目

中間支点上の配筋筋の最小鉄筋量は2%以上とし、最大鉄筋径D22で上段、下段とも同一径、同ピッチで配置する。

4) 設計結果

以上の設計によって得られた中間支点上における配筋状態を**図-7**に示す。

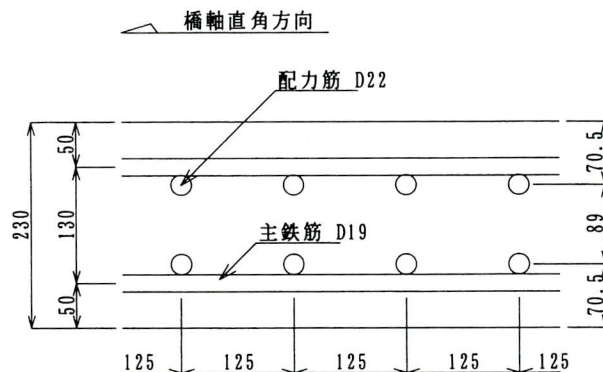


図-7 中間支点上配筋図

(3) 隅角部の設計

1) 構造概略・設計方針

隅角部は、最大高さ約5.5m・最大重量約60tであるため輸送が困難である。そのため、**図-8**に示すように水平継ぎ手・鉛直継ぎ手を設けて3ブロックに分割する構造とした。

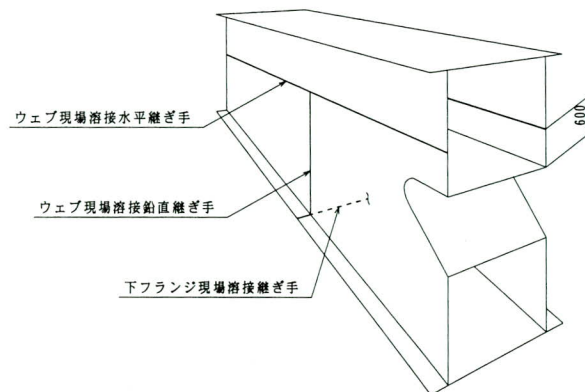


図-8 隅角ブロック分割図

隅角部の設計においては、隅角部ウェブのせん断応力、せん断おくれ(shear lag)現象による曲げ応力の修正、フランジ力作用点におけるはりおよび柱の応力分布の攪乱などの問題がある。また、円弧フランジを有する隅角においては、面外変形による腹板への応力集中が考えられる。

よって、今回設計対象となる隅角部に対しては、以下に示す設計法の適用が考えられた。

・shear lagを考慮した隅角部設計法

奥村・石沢⁴⁾、中井・福岡⁵⁾等による設計法が通常用いられている。

・曲がり梁とした隅角部設計法

大野の式およびプライヒの式に基づく、円弧形状の応力分布に対する影響および円弧フランジが面外方向変位による影響を考慮した設計法が通常用いられている。

本橋の隅角部は、鋭角側のすり付け半径が景観上500mmと非常に小さいため、円弧フランジ構造を採用することは製作精度管理が非常に難しいと考え、一般に採用されている主桁と柱が直線的に交差する板組構造を採用した。(図-9参照)

したがって、円弧フランジに適用する曲がり梁としての設計法にはよらずに、奥村・石沢による設計法を採用し、設計力に対して交角 ($\theta \neq 90^\circ$) の影響を考慮した。

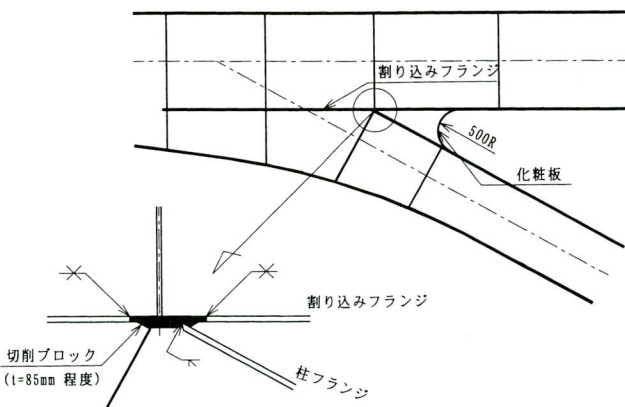


図-9 板組み構造図

2) FEM解析

奥村・石沢による隅角部設計を適用した断面に対して、さらにより詳細な応力状態を評価し特異な応力集中に対する検証と設計の安全性の確認するため、FEM解析を行った。

(a) 解析モデル

解析対象は、図-10に示す設計上断面力が最大であるG

3桁K P 3橋脚の右側の隅角部断面 (K P 3 R) とし、図-12に示すシェル要素を用いてモデル化を行った。

解析において主桁・横梁 (主桁内ダイヤフラム) ・柱各部は、実構造物と同様にモデル化を行った。

載荷荷重は、立体骨組解析より隅角部着目位置における同時性を考慮した発生断面力を算出し、その発生断面力と等価となるようFEM解析モデルの載荷点における断面力を決定した。

また、境界条件は解析上の釣りが合いが容易に保てるように柱下端部を全方向固定とした。

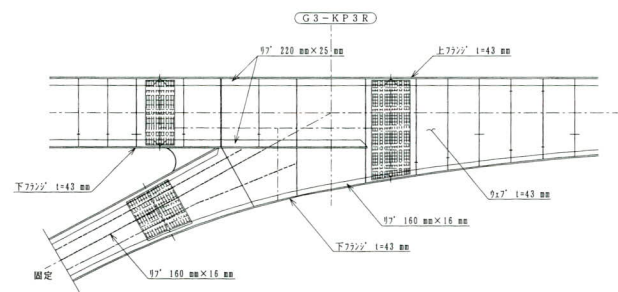


図-10 解析対象

(b) FEM解析結果

ウェブの主応力矢線図を図-11、モデル全体のミーゼスの相当応力度コンター図を図-12に示す。

図-11より円弧フランジ (a部、b部) の応力レベルが他と比較して高く見られるが、設計評価値に比べて十分に低い値であった。

また、図-12に示すミーゼスの相当応力度の解析結果より、発生応力に関して、大きな応力集中が見られず設計許容応力度以下であることから、本橋におけるV脚隅角部の構造の安全性が確認できた。

(4) 橋脚基部の設計

支点上補剛材幅に対して支承幅が大きく補剛材の剛性が不足した場合には、支圧応力が不均等になることにより支点上補剛材と下フランジの交点部等において応力集中の発生が懸念される⁵⁾。

本橋で使用する反力分散支承は、中間支点において平面寸法(1880mm×1880mm)と非常に大きいため、基部に交差する横梁のウェブをゴム支承の縁端近傍まで広げることにより支点部全体の剛性を上げ変形の均一化を図り、上記の支圧応力の均等化と応力集中の緩和に対処した。ここで、支点上補剛材にフィレットを設けて応力の伝達を円滑伝える構造とした。また、図-13に示すように製作性も考慮し

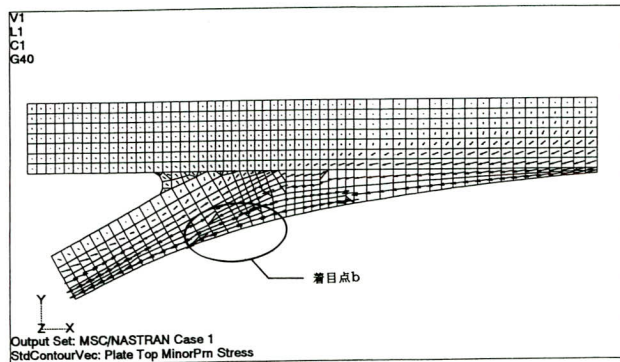
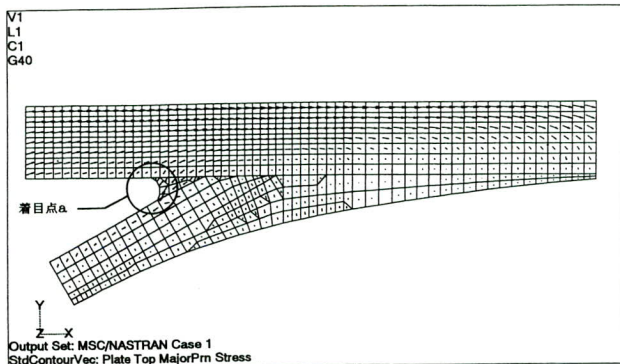


図-11 ウェブ主応力矢線図

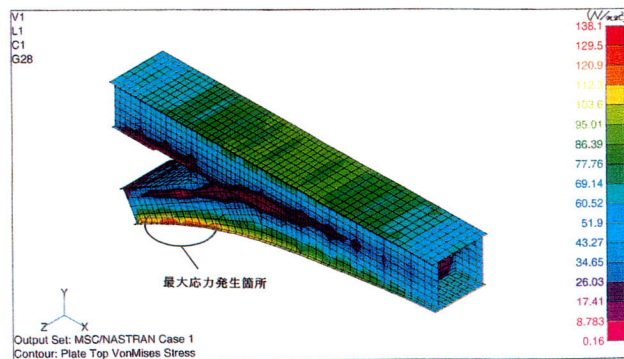


図-12 応力度マスター図（ミーゼスの相当応力度）

た寸法・形状としている。

さらに、設計に際しては支点部作用力に対して設地震時水平力による曲げおよび常時におけるゴム支承からの回転抵抗による曲げも考慮して安全性の確認を行っている。

5. あとがき

本工事は、いよいよ平成12年10月中より2 渇水期にわたって、栈橋架設や大型機材を使用する大がかりな架設が始まる。

景観を考慮し、地域のシンボルともなりうる橋梁の設計

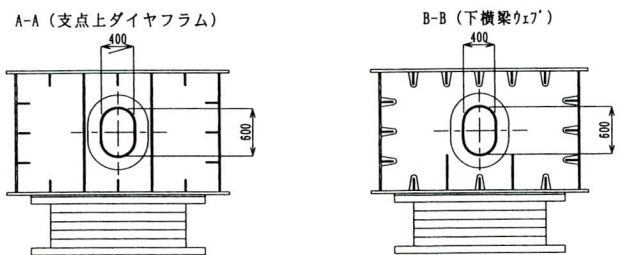
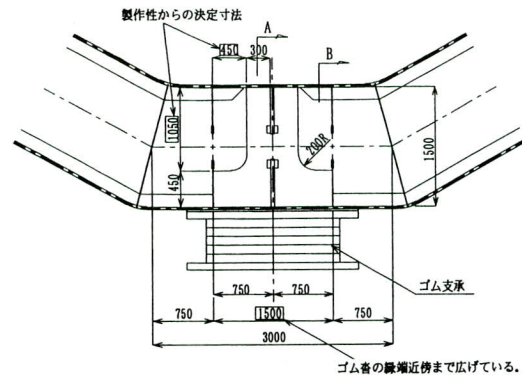


図-13 橋脚基部構造図

に着手できたことに対して大変に満足しています。

最後に、本工事の設計・施工にあたり、ご指導、ご協力していただいた日本道路公団関西支社、および京滋工務事務所の皆様、当JV構成会社の松尾橋梁（株）、日本橋梁（株）の関係各位に深く感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 川戸，井上，服部：灘川橋の設計報告，東骨技報，No. 41（1996）
- 2) 宮坂，南荘，浜田，村田ほか：梅町橋梁（V脚ラーメン橋）の設計，橋梁と基礎，1990.10
- 3) 日本道路公団 関西支社 構造技術課：P C床版鋼2 主桁橋の連続合成桁設計指針，1999.9
- 4) 奥村，石沢：薄板構造ラーメン隅角部の応力計算について，土木学会論文報告集第153号，1968.5
- 5) 中井，福岡，酒造，明橋：鋼製ラーメン隅角部のShear lagと耐荷力に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol. 33A，土木学会，pp.199-206（1987.4）
- 6) 鈴木，前野，永谷，井上：ゴム支承を用いた鋼箱桁支点部の補強設計法，橋梁と基礎，1999.11

2000.11.1 受付