

菊川橋（仮称）の構造計画と造形

丸山 務^{*1}・稲葉 建雄^{*2}・増田 博^{*3}・星野 悟^{*4}・土井 克則^{*5}・桑原 篤^{*6}

まえがき

菊川橋（仮称）は、静岡県御前崎町下岬から浜松市中田島までを海岸沿いに結ぶ、全長 62.9 km の浜松御前崎自転車道が、小笠郡大東町で一級河川菊川をわたる地点に建設中の、4 径間連続上路式 PC 吊床版橋（写真-1）である。

吊床版橋は、我が国においては、その形態に軽快さが要求されるゴルフ場の歩道橋や、溪谷に架かる簡易吊橋に替わる PC 橋として、実績が増えてきているが、2～3 径間連続形式のほか 3 方向分岐形式のものも建設されるなど、その発展は多様化の傾向をみせている。

また、上路式吊床版橋は、吊床版の上に路面となる上床版および鉛直材を組み込んだ構造の橋であり、道路橋にも適用できる橋梁形式である。

一方、本橋のように上路式と連続形式を組み合わせたタイプはこれまでに建設されておらず、世界的にも類例をみないものである。したがって、構造計画の際には、さまざまな構造モデルに対して比較検討が行われ、合理的な構造が選定されるとともに、造形も綿密に行われ、斬新な構造にマッチした形態が造りだされた。

本文では、菊川橋の構造計画と造形の考え方について、概要を報告する。

1. 橋梁計画

1.1 橋梁諸元

路線名：一般県道浜松御前崎自転車道線
架橋位置：静岡県小笠郡大東町国安地内
道路規格：自転車・歩行者専用道路（B種）
橋長：232.0 m
有効幅員：3.0 m（全幅：4.4 m）
平面線形：直線
位置図を図-1 に、一般図を図-2 に示す。

1.2 架橋地点の概要

架橋地点は一級河川菊川の河口部であり、南側が遠州灘の海岸線（千浜砂丘）である。架橋地点付近では、我が国初の河川マリーナである大東マリーナがオープンし、続いて温泉の掘削やスポーツ公園、宿泊施設の整備

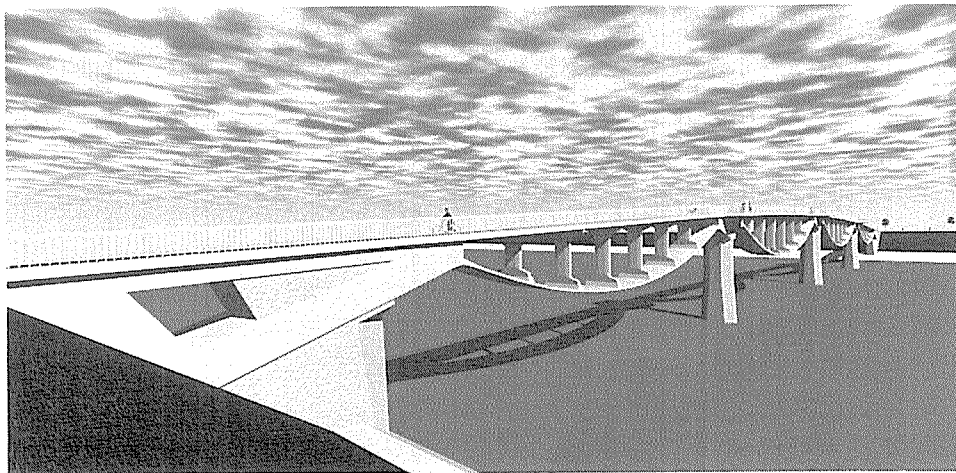


写真-1 完成予想パース

*1 Tsutomu MARUYAMA：静岡県 土木部設計検査課

*2 Tateo INABA：静岡県 浜松土木事務所

*3 Hiroshi MASUDA：静岡県 藤枝土木事務所

*4 Satoru HOSHINO：静岡県 土木部道路建設課

*5 Katsunori DOI：静岡県 御前崎土木事務所

*6 Atsushi KUWABARA：静岡県 沼津土木事務所

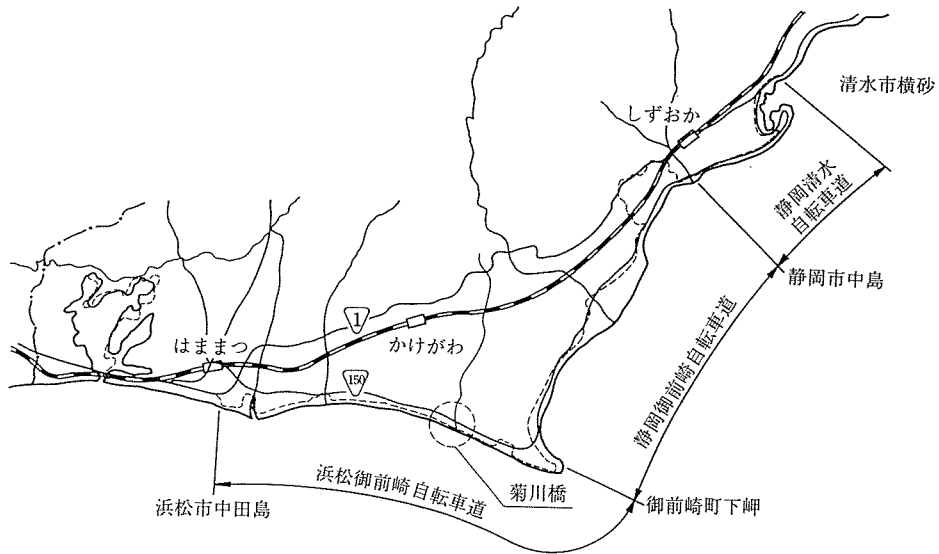


図-1 位置図

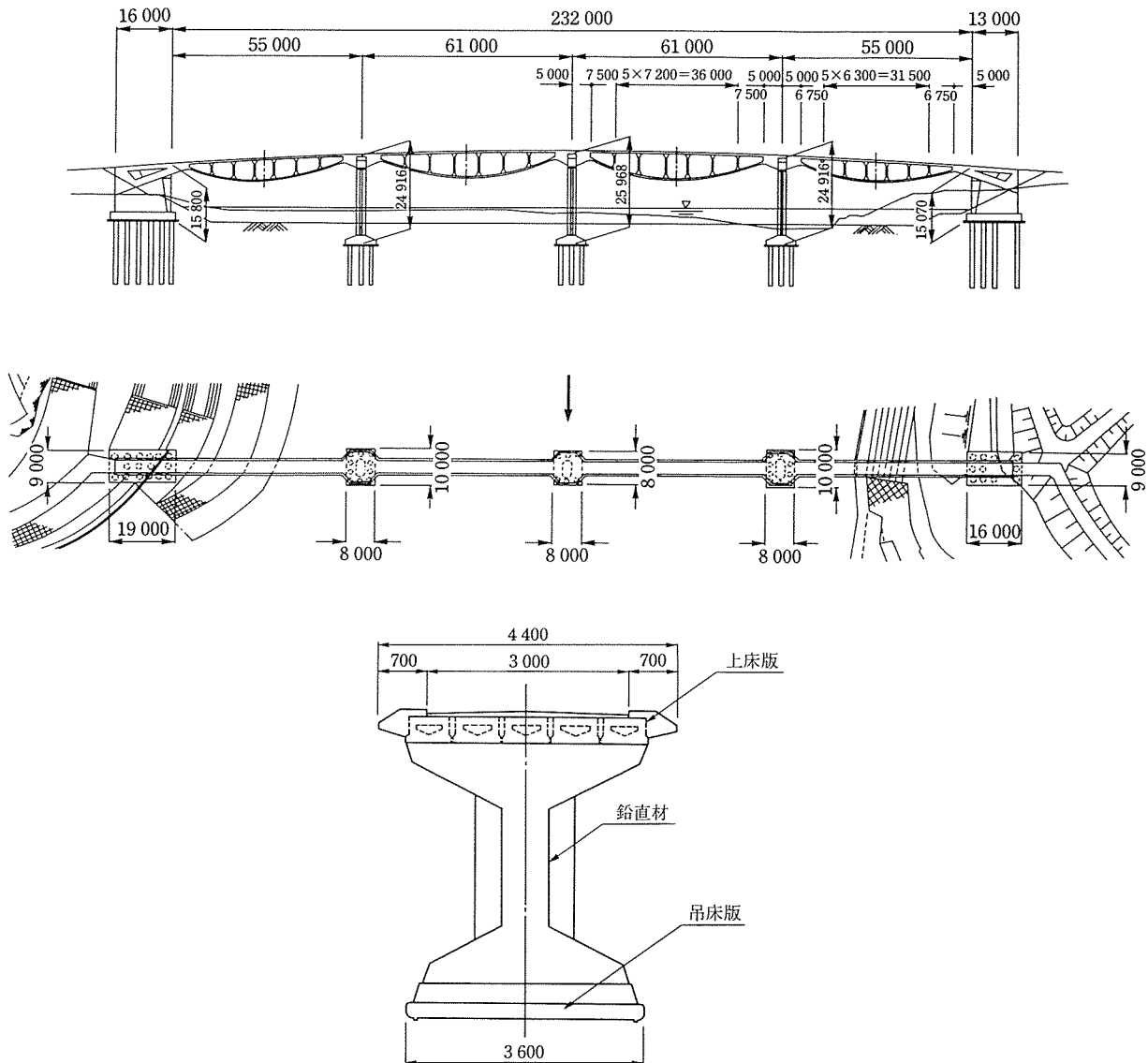


図-2 一般図

◇設計報告◇

などが実施され、マリーナ周辺を海洋公園化する構想がすすめられている。

架橋地点の地質については、基盤岩は新第3紀掛川層群の泥岩であり、その直上には第4紀洪積層の硬質シルトあるいは砂、砂礫層が載り、最上部には沖積砂層が堆積している。基盤の泥岩は、非常に起伏に富んだ堆積面をもっている。

1.3 形式選定

菊川橋を計画する際に設定された基本条件は、

- ① 橋長は、232 m とすること、
- ② 計画高水流量から決まる基準径間長は、27.5 m であること、
- ③ 計画護岸の法先から 10 m の範囲には、橋脚を設置しないこと、
- ④ 左岸側に、幅 20.5 m の航路を設けること、
- ⑤ 架橋地点が海岸に近い河口のため、維持管理の容易な橋とすること、
- ⑥ リゾートゾーンのシンボルとなる橋とすること、

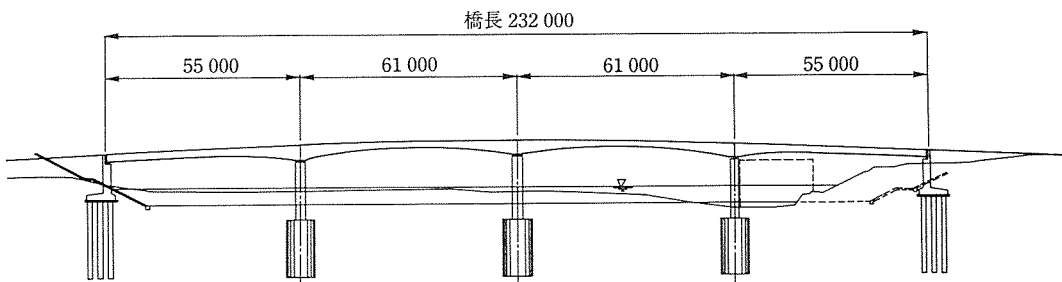
などである。

計画条件を整理すると、まず左岸側側径間長が 55 m 以上必要になることがわかる。これより、計画条件に適合する形式のうち連続形式を基本として考えれば、5 以上の径間数をもつタイプは、側径間長より中間径間長が短くなることから、構造的にアンバランスで非合理的となる。したがって、1~4 径間形式のタイプが候補となるが、1~3 径間のタイプは、4 径間タイプに比べて、規模が大きくなりすぎ工費が割高となる。このような点を踏まえ、比較検討の対象は、以下に示す 4 径間タイプの 3 案に絞られた (図-3)。

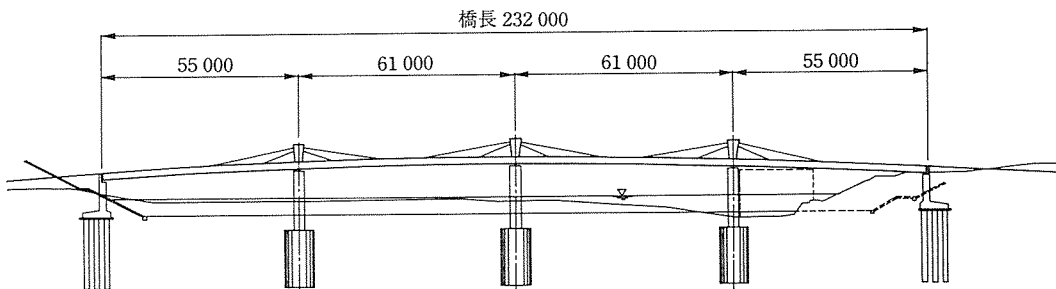
- ① 4 径間連続 PC 箱桁橋
- ② 4 径間連続 PC 斜版橋
- ③ 4 径間連続上路式 PC 吊床版橋

ここで、桁橋案としては、一般に経済性に優れている 4 径間連続有ヒンジラーメン橋が、比較検討の対象に選定されることが多いが、本橋の場合、径間長のバランスが悪く、橋脚に大きな断面力が作用し、合理的な構造を

第1案 4 径間連続 PC 箱桁橋



第2案 4 径間連続 PC 斜版橋



第3案 4 径間連続上路式 PC 吊床版橋

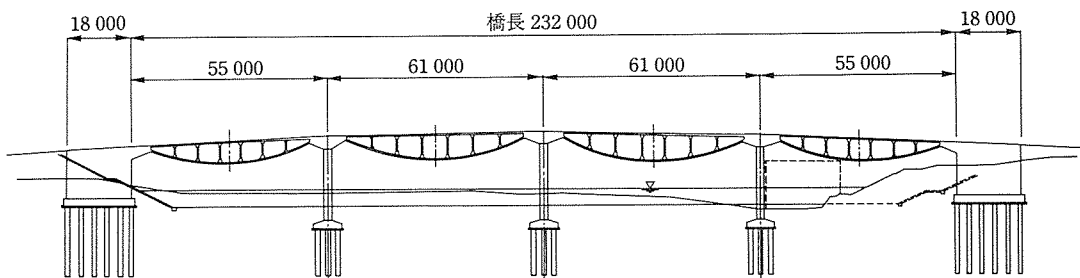


図-3 橋梁形式比較案

設定することが困難なことから、検討の対象から除外された。また、同様の理由から、PC斜張橋案もケーブル張力の調整により主桁の断面力を効果的に改善することが困難なため、PC斜張橋より全体剛性の高いPC斜版橋案が、検討の対象とされた。

これに対して、4径間連続上路式吊床版橋は、各径間の吊床版のサグを、各橋脚左右の吊床版から作用する水平力が釣り合うように設定することで、合理的な構造とすることができると思われた。

このようにして選定された3案について比較検討が行われたが、本橋のように幅員の狭い橋に対しては、箱形の主桁をもち、架設作業車を用いて張出し施工を行うことになる箱桁橋や斜版橋は、工費が割高になる結果となった。

一方、上路式吊床版橋案は、橋面の形状に制約されずに、吊床版のサグを自由に設定でき、橋台に作用する水平力をコントロールできること、幅員の狭い橋に対して工費が割高になる要素が、構造的にも施工的にも少ないこと、および、周囲のリゾートゾーンからの視点では、橋体が薄い部材の集合体であるため、海岸線を遮ることなく適度なアクセントになること、などが有利と考えられた。

これらの点や、吊床版橋の施工実績が増加しており、本橋のような特殊な構造についても施工技術的に対応可能と判断されることなどが総合的に評価され、4径間連続上路式吊床版橋案が採用された。

2. 4径間連続上路式吊床版橋の構造計画

2.1 構造計画の基本方針

上路式吊床版橋は、上床版、鉛直材および吊床版から構成されており、載荷荷重は上床版から鉛直材に伝達され、橋台および橋脚に定着された吊床版で支持される。

本橋の構造形式は、上路式吊床版橋を4径間連続構造としたものである。その構造計画に際して設定された基本方針は、

- ① 橋台に作用する水平力をできるだけ小さくすることにより、構造全体の安定性を向上させること、
- ② 全体剛性をできるだけ高くすることにより、耐風安定性および耐震性を向上させること、
- ③ 吊床版ケーブルの防錆を完全に行い、構造全体の安全性を向上させること、
- ④ 死荷重作用時においては、できるだけ橋脚に曲げを生じさせないようにすること、
- ⑤ 橋体の造形は、吊床版構造としての力の流れをイメージするとともに、統一感のあるものとするこ

などである。

2.2 基本構造の設定

構造計画の基本方針に従い、構造検討が行われ、基本構造が以下のように設定された。

橋台に作用する水平力をできるだけ小さくしつつ、経済性を向上させるために、軽量コンクリートが採用されるとともに、吊床版のサグ・スパン比が1/10に設定された。また、塩害対策として、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いることにより、コンクリートのかぶり増加による自重の増加が回避されている。

全体剛性を高めるための方策として、吊床版および上床版は各橋脚と剛結構造とし、全体構造が連続ラーメン化されている。

吊床版ケーブルの防錆を完全なものとするために、ケーブルとしてエポキシ樹脂塗装PC鋼より線が採用されるとともに、シーすもポリエチレン製のものとなっている。

死荷重作用時に、できるだけ橋脚に曲げを生じさせないために、各橋脚左右の径間の吊床版の張力が等しくなるように、サグが設定されている。

また、各橋脚の頭部にはバルコニーを設け、サイクリストが休憩できるように考えられている。

3. 造 形

上路式吊床版橋は、力の流れに無駄のない橋梁形式であり、その基本的な形態は、吊構造としての力の釣り合いから決定されてしまう。したがって、本橋の構造計画で考慮されたことは、いかに力の流れをスムーズにさせるかを基本として、構造全体の剛性向上を図る、ということであった。したがって、造形には構造そのものの形を造り上げる自由度はなく、部材の形を構造にふさわしい斬新なものとするのが、その方針となった。

そしてこの方針は、本橋を構成する部材の多くをプレキャスト化することを前提として、実現させることが可能となり、現場打ちコンクリートでは諦めざるを得ないような造形とすることができたのである。

具体的には、本橋の構造が、斜材の機能を傾斜角の強い吊床版を兼ねたトラスとも考えられることから、その形態はトラス的なイメージになるものと想定されたため、煩雑な印象を与えないように、できるだけ統一感のある造形とし、反復パターンを表現できるように考えられている。たとえば、橋脚や鉛直材などは、統一したイメージの偏平な六角形断面とし、橋台前面の形状も橋脚と統一感をもたせている。また、橋脚頭部のバルコニー受け梁の形状も、鉛直材の形状に合わせ、鉛直材のリズムが橋脚の存在で断ち切れないように配慮されている(写真-2)。

一方、橋台は吊床版の大きな水平力を基礎地盤に伝達

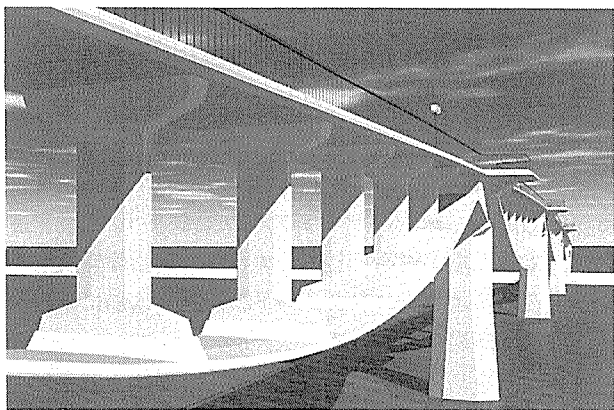


写真-2 橋脚の造形

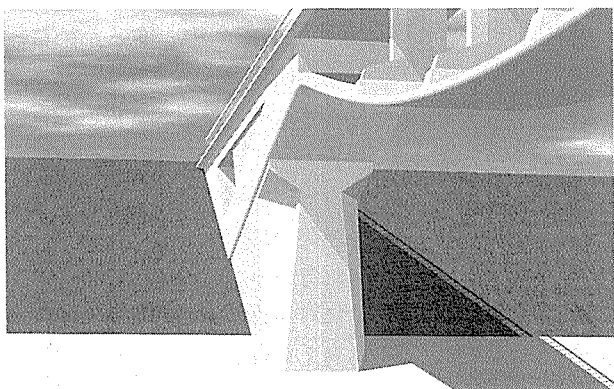


写真-3 橋台の造形

させる構造であり、その形状が大規模なものとならざるを得ないため、その造形は、水平力が基礎地盤に流れるイメージを表すことが基本にされるとともに、できるだけマッシブな印象を和らげるように、吊床版ケーブルの定着部が側面から開放される構造となっており、さらに化粧型枠の使用により、側面のテクスチャーに変化がつけられている（写真-3）。

4. 設 計

4.1 設 計 条 件

設計は、基本的には道路橋示方書などに従って行われた。設計で考慮された主要な荷重は、以下のとおりである。

- ・死 荷 重：軽量コンクリート単位重量は、 $\gamma=2.0$ tf/m³（鋼材含む）としている。
- ・活 荷 重：歩道等の活荷重 350 kgf/m²
- ・風 荷 重：道示によっているが、耐風設計便覧により動的照査も行われている。
- ・温度変化：全体系温度変化 ±15℃
- ・設計震度： $k_h=0.20$

ただし、動的照査も行われている。

4.2 構造および材料

吊床版は、橋台および橋脚から張り出した吊床版受け梁に定着されている。上床版は各橋脚と剛結されてお

り、鉛直材も上床版および吊床版と一部を除いて剛結されている。

上部構造は、大部分がプレキャスト化されており、そのコンクリートには軽量コンクリートが用いられているが、現場打ちコンクリートの後打ち部および下部構造には、普通コンクリートが用いられている。また、吊床版ケーブルおよび上床版プレテンションケーブルには、エポキシ樹脂塗装 PC 鋼より線（ $\phi 15.2$ ）が用いられている。

基礎形式は、橋台、橋脚ともに杭基礎である。

4.3 構造解析

設計においては、上部工の施工は、まず各径間に吊床版1次ケーブルを張り渡し、これにプレキャスト板を取り付け、鉛直材および上床版を建て込んだ後、吊床版後打ち部の現場打ちコンクリートを打設するものと仮定されている。

したがって、吊床版や上床版の接合部の現場打ちコンクリートが施工される前の、架設系における構造解析は、有限変形理論によっている。

一方、完成系では、本橋の構造は全体剛性が高いことから、微小変形理論の適用が可能であった。そこで、完成系断面力は、構造系を平面骨組にモデル化し、任意形骨組解析プログラムを用いて算出されている。

4.4 上部構造の設計

完成系においては、吊床版は、静荷重や活荷重などによって生じる引張力に対して、ケーブルも含めたコンクリート断面全体で抵抗することになるため、コンクリート断面に軸方向引張力が生じる。この引張力に対しては、吊床版2次ケーブルによりプレストレスを導入し抵抗させている。吊床版の許容引張応力度としては、軸方向引張力に対して、道示Ⅲの許容軸引張応力度の規定が準用されている。

吊床版ケーブル張力の引張強さに対する安全率は、主荷重載荷時において2.5とされている。

吊床版に生じる曲げモーメントに対しては、プレストレスで抵抗させずに鉄筋で補強されている。

吊床版1次ケーブルとしては4 $\phi 15.2$ が8本、2次ケーブルは5 $\phi 15.2$ が12本配置されている（図-4）。

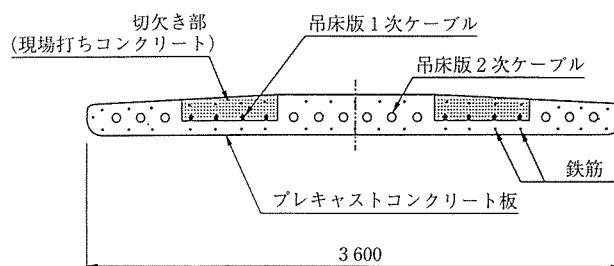


図-4 吊床版の断面

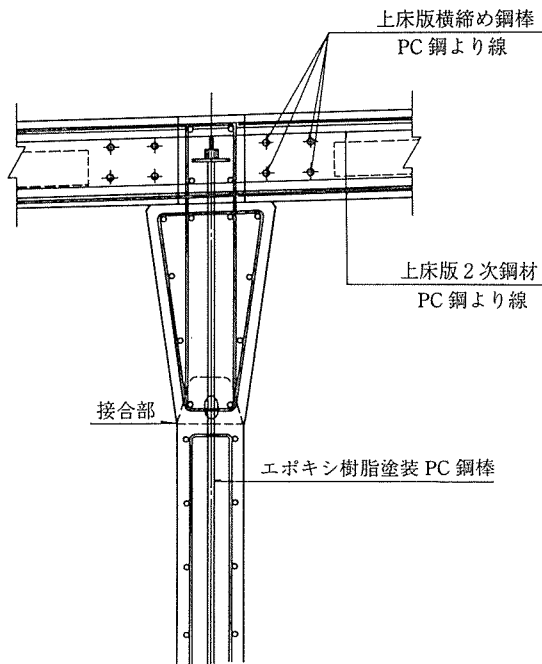


図-5 上床版接合部

上床版は、プレテンション方式のホロー桁を横方向に5本並べた構造であるが、橋脚および鉛直材上では、プレテン桁どうしを接合し、一部を除いて連続ラーメン構造としている。したがって、連続構造となってから後に生じる完成系断面力に抵抗するために、ポストテンション方式の上床版2次ケーブル(φ15.2)を40本配置し、プレストレスが導入されている(図-5)。

上床版は、一般的な曲げおよび軸力を受けるPC部材として、道示Ⅲの規定が適用されている。ただし、軽量コンクリートが用いられるので、許容曲げ引張応力度および許容斜引張応力度については、普通コンクリートの場合の70%とされている。

4.5 下部構造の設計

本橋の全体構造は、常時においても、橋軸方向地震時においても、作用する荷重が、基本的には橋台に作用する水平力に変換される構造であることから、橋台は、常時大きな水平力を受けている。したがって、杭を長期の持続荷重に対して均等に荷重を受けるように配列することができない。そこで、設計は、持続荷重に対し、杭には引抜きを生じさせないか、または引抜きが生じた場合には、引抜き側の杭を無視しても杭基礎の安定が得られるように行われた。杭は、φ1.2 mの鋼管杭であり、A₁橋台には18本、A₂橋台には11本配置されている。設計荷重作用時(温度変化時)における橋台の水平変位は、5 mm程度である。

橋脚の設計は、橋軸直角方向地震時がクリティカルとなっている。杭は、φ1.0 mの鋼管杭であり、P₁および

P₃橋脚には10本、P₂橋脚には6本配置されている。

4.6 耐震設計および耐風設計

本橋の耐震設計は、基本的には道示Vに従い、震度法により行い、動的解析により安全性が照査されている。動的解析は、3次元モデルを用い、応答スペクトル法により行われている。

耐風設計は、静的設計に加えて、道路橋耐風設計便覧に従い、動的耐風設計の必要性があると判定された場合に、同便覧に示されている照査式による照査を行うこととしている。上路式吊床版橋では、 B/d の値の小さい上床版が設計的にクリティカルになるが、本橋の場合、ねじれ散発振動の発現風速を、この照査風速より大きくするために、上床版の地覆形状を通常より偏平なフェアリング形状としている。

あとがき

上路式吊床版橋にとって、形態は構造そのものであり、力の流れそのものである。吊構造としての力の釣りが、基本となる形態を支配しているともいえる。

したがって、菊川橋の構造計画では、まず力の流れを把握することから始まって、さまざまな構造のシミュレーションが行われ、構造全体の安全性の向上を図るという基本方針のもとに、最適と考えられる構造が選択されていった。この際に、主として検討された課題は、合理的な部材要素の結合条件を選定することであって、吊床版があまりにもシンプルな構造であるためか、造形に関してはほとんど自由度がなかった。すなわち、構造を決めていく段階では、形を造るという方向からのアプローチは行われなかった。構造の理想を追求しようとするれば、造形の役割は自ずと決まってくるようである。

本橋の施工は、橋面工の段階に入っており、この春にはいよいよその姿が見られるようになる。

本報告では、これらの構造計画と造形の考え方について簡単に述べたが、今後上路式吊床版橋を計画する際の参考になれば幸いである。

最後に、菊川橋の構造計画にあたりご指導をいただいた建設省土木研究所をはじめ、ご尽力いただいた関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 鈴木昭男・渡邊信幸・和田直隆・鈴木 勲：菊川橋の計画と設計，橋梁，1994年7月
- 2) 鈴木昭男・渡邊信幸・和田直隆・鈴木 勲・菅沼信夫・久米計生：菊川橋の設計，橋梁と基礎，1994年11月

【1994年10月4日受付】