

PC吊床版橋「うさぎ橋」の設計と施工

紫田 英雄*1・山口 順一*2・牧野 正明*3・前田 文男*4

1. はじめに

うさぎ橋は、宮崎県北部の一级河川五ヶ瀬川沿いに位置する北方町に架設された支間 115 m の PC 吊床版形式の歩道橋である。この工事は、自治省の行っている地域づくり推進事業の、公園整備プロジェクトの一環である。

この橋により、五ヶ瀬川で隔てられ車で迂回していた町の中心部がある川水流地区と、町の総合運動公園がある中山地区とが結ばれた。

『うさぎ橋』の名前の由来は、北方町が『干支の町』として町全体が十二支に分けられており、架設地点の川水流地区の干支が『卯』に当たることから、命名された。

2. 計画概要

架設地点は、五ヶ瀬川の中流域にあたり、この付近で川は大きく湾曲して流れており、湾曲部外側は急斜面となり、内側は河川氾濫源の平坦な地形となっている。また付近には、北方町の重要な観光資源である鮎漁の「や

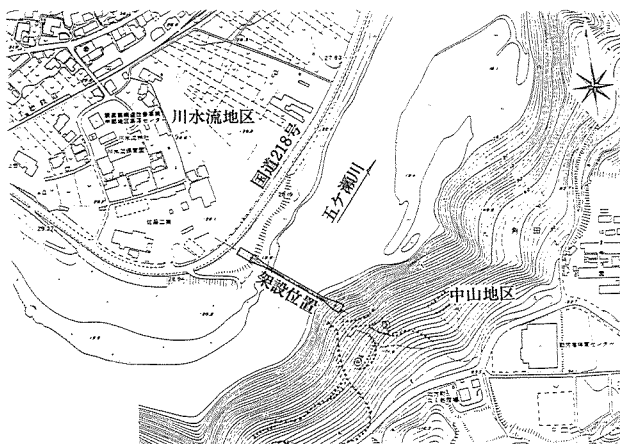


図-1 位置図

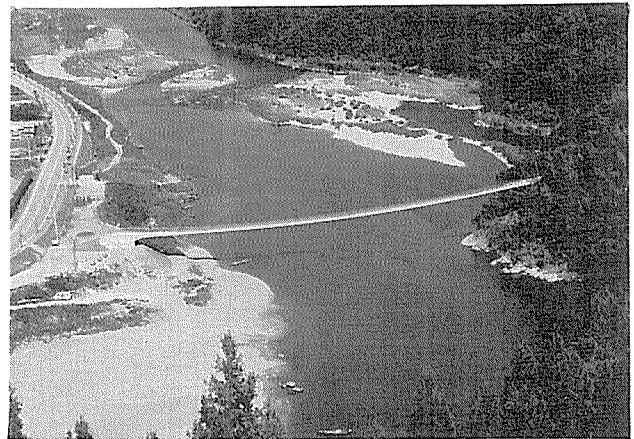


写真-1 全景 (1)

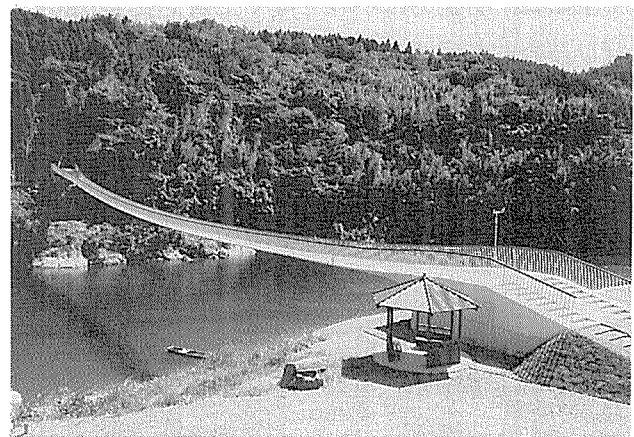


写真-2 全景 (2)

な」があり、河川内での施工は極力避ける必要があった。このため形式選定では、河川内に橋脚を持たない支間 100 m を超える次のような橋梁形式を比較検討した。

1. 無補剛桁の吊橋
2. 下路トラス橋
3. 中路式ニールセンローゼ橋
4. PC 吊床版橋

*1 Hideo SHIBATA : 宮崎県北方町 土木課課長補佐

*2 Junichi YAMAGUCHI : (株) マエダ 九州支社設計第 1 課

*3 Masaaki MAKINO : (株) ピー・エス 九州支店工務部工務課

*4 Fumio MAEDA : (株) ピー・エス 九州支店技術部設計課

施工性・経済性・景観性など検討された結果、PC吊床版橋とした。

工事概要

事業名：リブ・イン・キタカタ推進事業
(地域づくり)

工事名：ふれあい遊歩道整備(うさぎ橋)架設工事

発注者：宮崎県東臼杵郡北方町

工事場所：宮崎県東臼杵郡北方町(川水流)地内

工期：平成4年1月27日～平成4年8月25日

工事内容：

種別：プレストレストコンクリート歩道橋

形式：単径間吊床版橋

工法：プレキャスト版吊架設工法

活荷重：群集荷重 200 kgf/m²

橋長：127.5 m

支間：115.0 m

全幅員：2.0 m～5.0 m

有効幅員：1.5 m～4.5 m

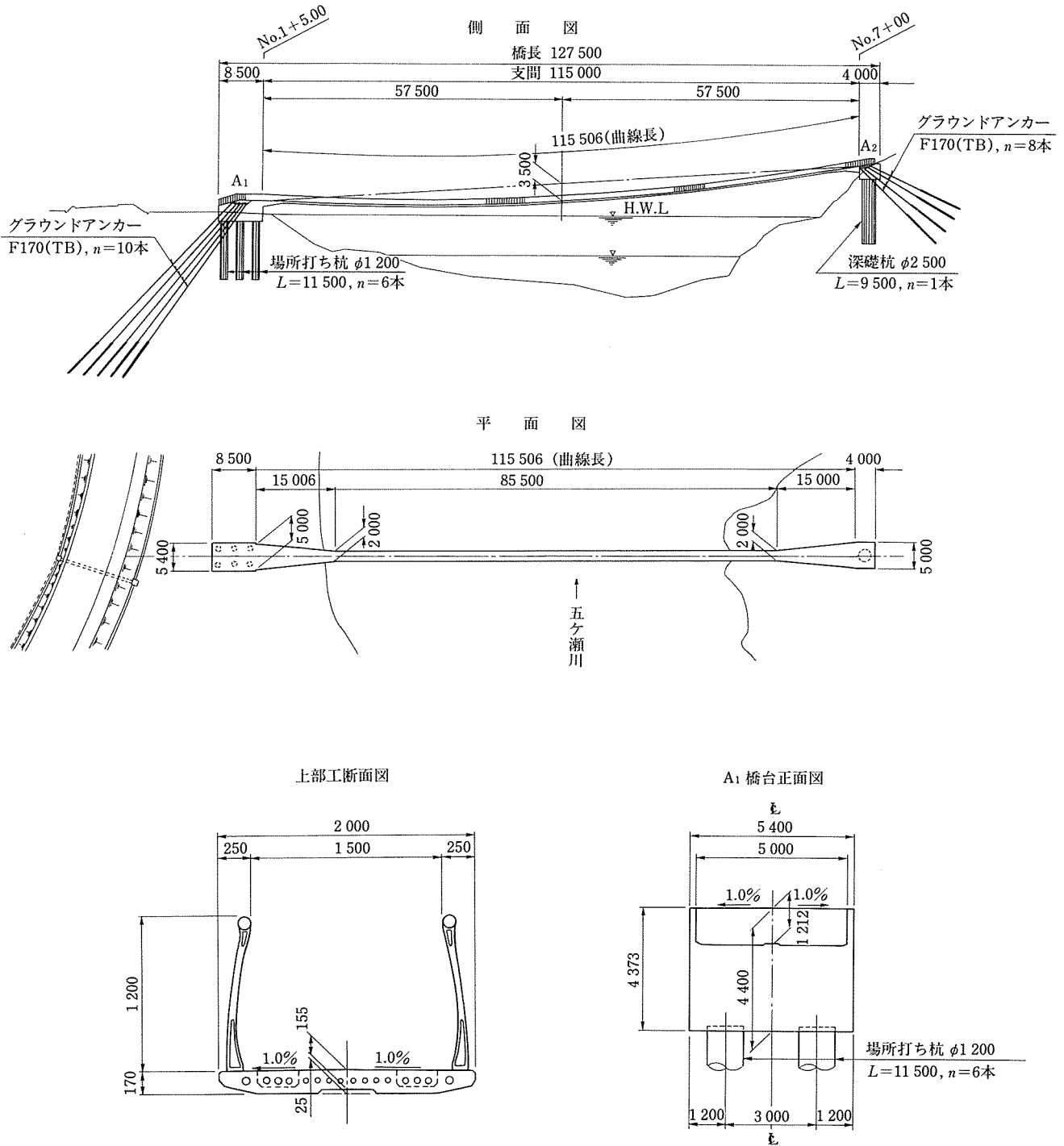


図-2 全体一般図

◇工事報告◇

基礎形式；A₁ 橋台 場所打ち杭
 (オールケーシング工法)
 A₂ 橋台 場所打ち杭(深礎杭工法)
 グラウンドアンカー；170 tf 型 永久アンカー

表-1 主要材料

種 別	仕 様	数 量	
コンクリート	下 部 工	$\sigma_{ck}=300 \text{ kgf/cm}^2$	376 m ³
	上 部 工	$\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$	30 m ³
プレキャスト版	N=47 枚	72.7 tf	
鉄 筋	SD 295 A	30.1 tf	
PC 鋼 材	1次ケーブル	SEEE F-170	5.9 tf
	2次ケーブル	SWPR 19 1T 21.8	3.3 tf
	アンカー工	SEEE F-170 TB	5.7 tf

3. 設 計

3.1 構造概要と PC 鋼材

PC 吊床版橋は、橋台間に張り渡した PC 鋼材を薄いコンクリート床版で包み、この上を人が通れるようにした橋である。

本橋で使用した PC 鋼材には、次の 4 種類がある。

① 1次ケーブル(架設ケーブル)

あらかじめ橋台間に張り渡し、これを利用してプレキャストブロック床版を架設する。

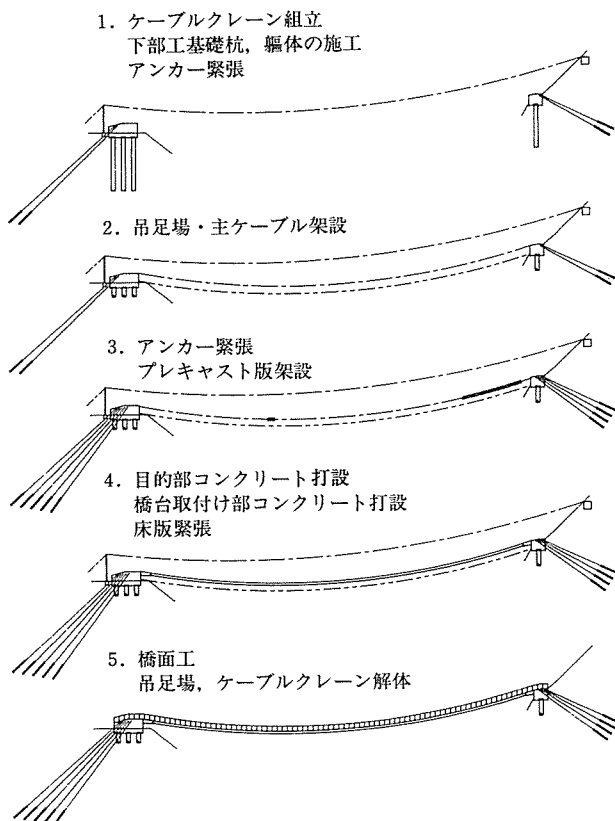


図-3 施工手順

② 2次ケーブル(ポストテンションケーブル)

プレキャスト版の架設終了後ブロック目地部の施工を行い、この PC 鋼材を緊張しポストテンション方式によりプレストレスを導入する。吊床版橋では、両桁端は橋台に固定されているが、2次ケーブルを緊張するとサグが変化することによりプレストレスを導入することができる。

③ 拡幅部 2次ケーブル

本橋では、端部床版が拡幅しており、この部分にも同様にプレストレスを与えるため PC 鋼材を配置している。

④ グラウンドアンカー

上部工より生じる水平力に対しては、すべて橋台部に取り付けられたグラウンドアンカーにより対処している。

3.2 下部工の設計

(1) 地 質

A₁ 側の地質状態は、玉石混じり砂質土が地表面下 25 m 付近まであり、それ以降は頁岩を主体とし砂岩をパッチ上に挟んでいる。基礎は、支持層を 10 m 程度下の砂礫層に求めるための杭基礎となった。

A₂ 側は、約 35° 以上の急傾斜を形成しており、基盤岩である頁岩を主体として、表層には崖堆積物、表土が分布している。また付近には、数箇所崩壊地形の形跡が認められる。支持層を、表土の下の基盤岩まで求める必要があり、A₁ 同様杭基礎が必要となった。

(2) 杭の設計

A₁ 橋台側は、国道 218 号線より重機械の搬入が可能なので、オールケーシング工法の場所打ち杭とした。配置は、 $\phi 1200 \times 11.5 \text{ m}$ を 6 本とした。A₁ 橋台の平面形状は、この杭の最小間隔から決まった。

A₂ 橋台側は、重機械の搬入ができないので $\phi 2500 \times 9.5 \text{ m}$ の深礎杭 1 本とした。

杭には、グラウンドアンカー張力、および上部工荷重の張力が作用する。これらの水平力のバランスがとれていれば、杭には水平力は作用しないが、上部工の施工に従い常に張力は変動するので、試算の結果、施工性を配慮してグラウンドアンカーの設計張力の 1/2 の力に耐えられるように杭の設計を行った。

(3) 橋台の設計

橋台は、上部工の床版からの反力と、グラウンドアンカー反力を地盤(杭)に伝える役目を持つ。本橋の場合、両橋台とも杭基礎を採用しているので、グラウンドアンカーの配置は、杭と上部工の床版内に密に配置されている PC 鋼材との取合いを考慮して行った。このため、上部工の PC 鋼材を橋台背面までストレートに伸ばして定着し、グラウンドアンカーは、橋台上面の上部工 PC 鋼材の両外側に 1 列ずつ定着した(図-4)。

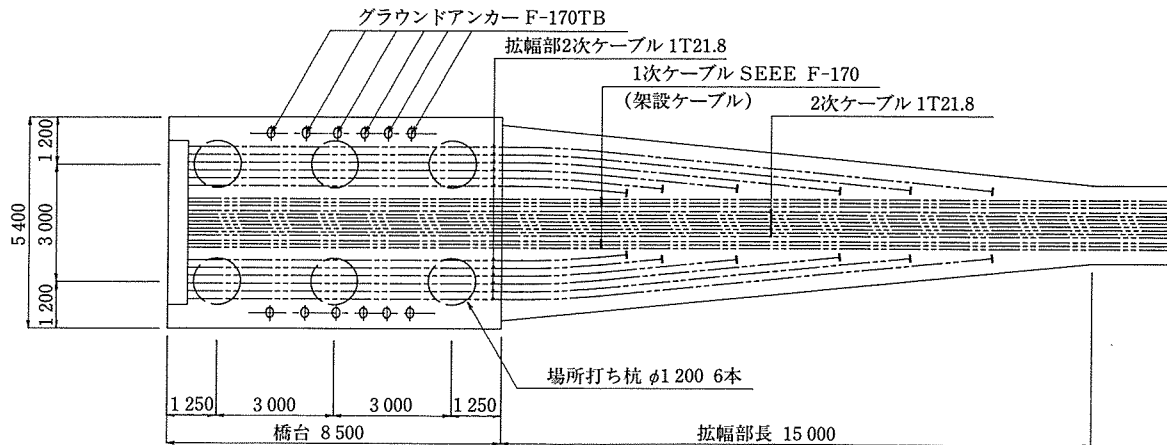
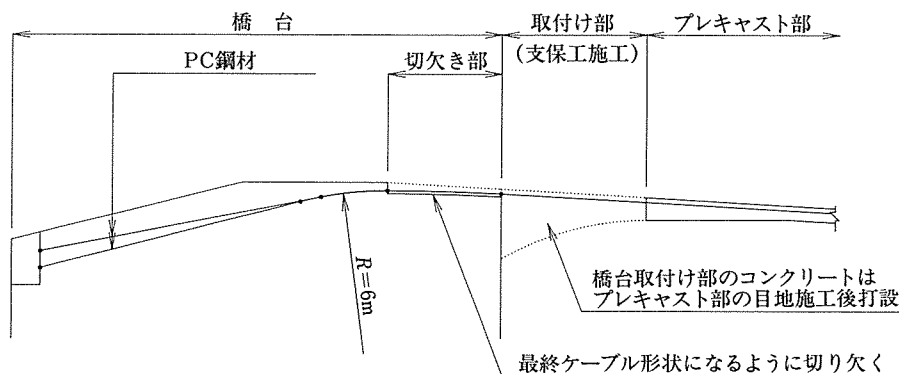
図-4 A₁橋台PC鋼材配置平面図

図-5 橋台取付け部の構造

プレキャスト版を吊り下げる1次ケーブルは、プレキャスト版の架設にともないサグが逐次変化するので、ケーブル形状の円弧部分の最上部から支間側を最終ケーブル形状になるように溝状に切り欠き、常にケーブルに折れ角が生じないようにした(図-5)。

また、橋台は、マスコンクリートとしてA₁で3ロット、A₂で2ロットに分けてコンクリートを打設した。打ち継ぎ目の上下には、温度ひび割れに対する補強筋を配置した。

(4) グラウンドアンカーの設計

グラウンドアンカーには、SEEE F-170 TBを用いた。これは、自由長部分を被覆材(ポリエチレン樹脂)とスライドパイプの二重防蝕加工とし、定着部は、コルゲートシースによって被覆した永久アンカー仕様のものである。

使用本数は、A₁側10本、A₂側8本。配置角度は、A₁側47°~55°、A₂側25°~43°である。平面配置は施工性を考慮して2列の平行とした。A₁側の本数が多いのは、グラウンドアンカーの定着部が、隣接する国道を越えて民地に入らないようにする必要があり、このために配置角度が大きくなったことによる。

定着長は、周面摩擦抵抗によるものと、鋼材とセメントペーストの付着によるものの二通りから求め、A₁、A₂

側とも8.5 mとなった。

また、アンカー施工の不測の事態に備え両橋台とも2本の予備のケーシングパイプを配置した。

3.3 上部工の設計

(1) 基本サグ量の設定

サグ量の設定は、吊床版橋の構造特性を決める重要な要素である。サグ量が小さいと、最急勾配が緩くなり利便性に優れる反面、張力が大きくなり上下部工とも工費が高くなる。

本橋は、A₁橋台とA₂橋台の高低差が7 m程度あり、急勾配となるA₂橋台側には、橋面に階段を設置することにしたので比較的大きなサグ(3.5 m、スパン・サグ比1/33)とした。

(2) 解析方法

構造解析は、床版自重についてはケーブル理論より求め、橋面工荷重、温度変化および乾燥収縮については、荷重による変形が小さいものとして微小変形理論による平面骨組解析により求めた。

活荷重については、大変形理論により全載荷と支間中央より前後に分けた半載荷(起点側、終点側)の3ケースについて求めた。参考のため微小変形理論で活荷重の半載荷を計算したところ、変位で3倍程度の値であった。

◇工事報告◇

(3) 活荷重強度とPC鋼材の応力度振幅

本橋は、公園内の歩道橋であり不特定多数の利用が予想される。このため活荷重強度は、「小規模吊り橋指針・同解説」(日本道路協会)に準拠して200 kgf/m²とした。これは、この種の橋梁としては比較的大きいものである。

PC鋼材の許容引張応力度は、通常のPC構造物と同様に引張強度の6割とした。

活荷重によるPC鋼材の応力度の振幅は、あらかじめ床版にプレストレスを導入しているので2.5 kgf/mm²程度と小さく、疲労に対しても問題ないと思われる。

(4) 断面形状

標準断面形状は、図-6に示すとおり。

地覆は、軽量化、風の抵抗、排水、施工の簡略化を考慮して設けなかった。

高欄は、床版から直接立ち上がるため、 $H=1\ 200$ とし、取付け用のアンカーボルトは、直接床版に埋め込んだ。

断面は、両側に1次ケーブル(架設ケーブル)SEEE F-170を6本通すための切欠き部を設け、中央に2次ケーブルSWPR 19 1T21.8を8本配置した。両外には、照明用の電線を配線するためにφ50のボイドを配置した。

プレキャスト版の最小厚は、1次ケーブルの切欠き部の位置で60 mmである。

横風による浮き上がりの防止のため、床版の両端の下面にテーパをつけて、全体的に逆翼型断面とした。

また本橋は、長大スパンの吊床版橋であり、風による挙動や歩行時の横揺れを考慮して、端部15 m区間にわたり標準幅員2 mから5 mに拡幅している。さらに橋

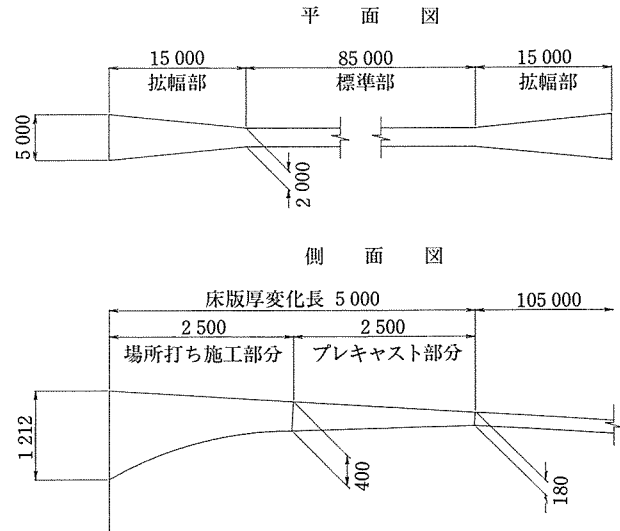


図-7 床版変化要領

台側端部5 mの区間で床版厚をプレキャスト版の部分(2.5 m)で18 cmから40 cm、場所打ち施工部分(2.5 m)で40 cmから120 cm程度に厚くしている(図-7)。

(5) 断面力

設計は、PC鋼材の張力に着目して行った。主な荷重状態におけるPC鋼材の張力は、以下のとおり¹⁾。

橋体自重	391.0 tf
プレストレス	19.0 tf

(2次ケーブルのプレストレス2次力)

橋面工	60.0 tf
活荷重 (起点側半載荷)	75.3 tf
(終点側半載荷)	82.3 tf
(全載荷)	138.7 tf

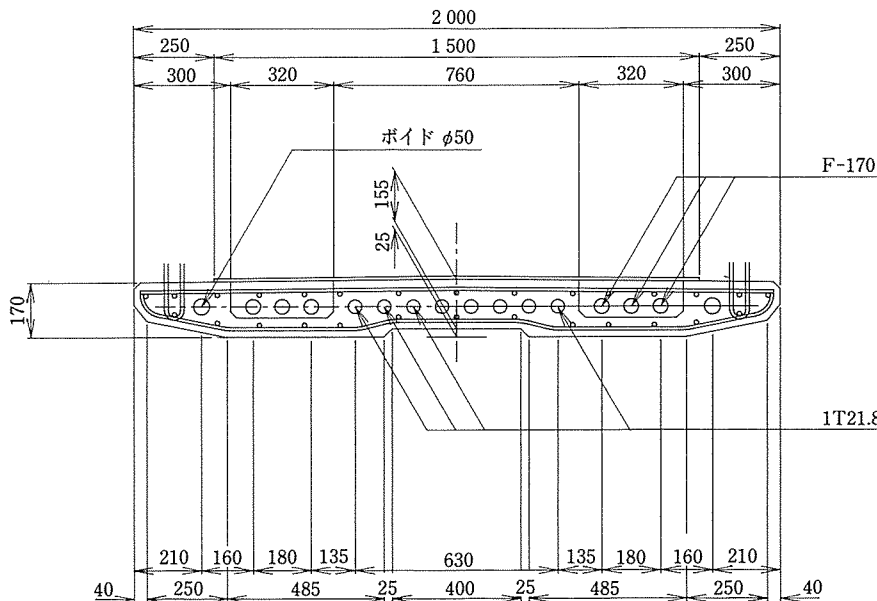


図-6 床版断面図

温度変化 (+15°C) -7.7 tf
 (-15°C) +7.7 tf
 ただし (+は引張力)

これらの張力に対して、橋体自重による張力は、1次ケーブルで受け持たせ、橋面工、活荷重および温度変化による張力は、1次ケーブルと2次ケーブルで併せて受け持つようにした。

橋台取付け部は、剛構造のため曲げモーメントが生じる。この曲げモーメントは、活荷重の半載荷+温度変化時に最大となり、その値は次のとおり。

	A ₁ 側	A ₂ 側
正の曲げモーメント	81.5 tf・m	34.5 tf・m
負の曲げモーメント	-33.4 tf・m	-75.1 tf・m

このモーメントに対して2次ケーブルによる軸力を考慮した RC 計算を行い配筋量を求めた。配筋量は、上側に D 19 を、下側に D 25 をそれぞれ 25 本とした。

(6) 1次ケーブルの緊張力

プレキャスト版の架設に先立ち、1次ケーブルに初期張力を与えておく必要がある。本橋では、次式を用いて張力を求め、参考とした²⁾。

$$\gamma^3 - \left[1 - \frac{EA}{2 \cdot l \cdot H_0} \int_0^l \left(\frac{\bar{Q}_0}{H_0} \right)^2 dx \right] \times \gamma^2 - \frac{EA}{2 \cdot l \cdot H_0} \int_0^l \left(\frac{\bar{Q}_1}{H_0} \right)^2 dx = 0$$

- ここに、 l : 吊床版の支間 (m)
- EA : 吊床版の伸び剛性 (tf)
- H_0 : 荷重載荷前の水平力 (tf)
- \bar{Q}_0 : l を支間とした単純梁の荷重載荷前のせん断力 (tf)
- \bar{Q}_1 : l を支間とした単純梁の荷重載荷後のせん断力 (tf)
- r : ($=H_1/H_0$)
- H_1 : 荷重載荷後の水平力 (tf)

この式は、載荷荷重による形状変形が小さいことが前提となっている。したがって、まず最初にある初期張力を仮定し、床版自重を微小荷重に分割して載荷する。次にそれにより増加した張力を、新たな初期値として再計算する。この作業を繰り返し、所定のサグに見合う初期張力を求めた。

しかし、上式では、橋台部分のケーブルの伸びが考慮されないことと、本橋が、端部拡幅しているために床版自重が等分布荷重でないことから、別途大変形理論によりこの結果を検証して補正を行った。

(7) 耐風安定性

本橋は、歩道橋であるが、参考のため「道路橋耐風設計便覧」(日本道路協会)(以下、耐風便覧)により耐風安定性の検証を行った³⁾。

その結果は、次のとおり。

設計基準風速 31.2 m/s
 照査風速 (ねじれに対して) 43.1 m/s
 照査風速 (たわみに対して) 43.1 m/s
 これに対して、発散振動の発現風速は、
 発現風速 (ねじれに対して) 16.5 m/s
 発現風速 (たわみに対して) 17.6 m/s

渦励振については、ねじれ・たわみとも B/d (総幅/桁高) が大きい ($B/d=11.1$), 最大振幅 (h_c, θ_c) が小さくなり、許容振幅 (h_a, θ_s) 内に収まる。

耐風便覧に提案されている算出式によれば、耐風安定性は良好とはいえない。しかし耐風便覧では、本橋のような橋梁までは想定しておらず、この検討の結果によりこの種の橋梁の耐風安定性に問題があると結論づけるのは、早急であると思われる。

吊床版橋に関する、耐風安定性や風洞試験の報告は、ほとんどなく、工事規模からみて風洞試験は難しいため、本橋では、実橋による耐風安定性の長期観測を行うこととした。

4. 施 工

4.1 下部工の施工

(1) 仮 設 工

A₂ 橋台側は、急傾斜で資機材の搬入が直接行えないため、索道を設置し、施工全期間にわたって使用した。吊上げ能力は、最大運搬荷重がアンカー削孔機械 (スキッドタイプ) 2.4 tf と、キャリア・吊りフック重量 0.4 tf であることから 3 tf 吊りとした。

表-2 実施工程表

(単位: 月)

工 種	1	2	3	4	5	6	7	8
準 備 工	■							
仮 設 工		■						■
下 部 工	A ₁ 橋 台 工	■	■	■	■			
	A ₂ 橋 台 工		■	■	■	■		
上 部 工	プレキャスト版製作		■	■				
	橋 体 工					■	■	
工							■	■
跡 片 づ け								■

(2) 基礎杭の施工

A₁ 側の場所打ち杭は、スウィングジャッキ (ケーシング圧入用) と、50 tf 吊りクローラークレーン (掘削および吊り作業) を使用して施工した。地質が玉石混じり砂質土で玉石が多くグラブハンマー等を併用して削孔を行った。

◇工事報告◇

A₂側の深礎杭は、周囲に崩壊の跡があることから発破の使用は危険であるとしてブレイカーのみを使用して施工した。

(3) 橋台の施工

グラウンドアンカーの施工が下部工の施工後になるため、ケーシングパイプとして鋼管(φ165)を予め組立架台により所定の位置・角度にセットした。コンクリートは、硬化熱を抑えるために高炉セメントを用いた。

架設ケーブルの溝状の切欠き部は、5 cm程低めに施工し、後に無収縮モルタルを用い、所定の高さに円弧状に仕上げた(写真-3)。

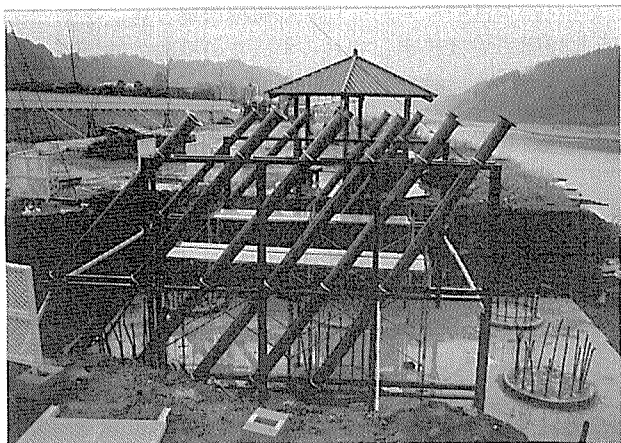


写真-3 A₁場所打ち杭とケーシングパイプ

(4) グラウンドアンカーの施工

グラウンドアンカーの削孔は、ロータリーパーカッション式の2重管削孔(φ135)で行った。

A₁側は、削孔長が45 mと長いので、橋台上にH形鋼で構台をつくり、クローラータイプの削孔機を使用した。岩質が玉石混じり砂質土のため、送水による孔内スライムが排出されず、外管が締め付けられて削孔が困難であり、通常より日数を要した。

A₂側は、削孔長が21.5 mと短いため、橋台上に単管で足場を組み立て、重量の軽いスキッドタイプの削孔機を用いて削孔した。

グラウンドアンカーの緊張は、杭に過大な水平力が作用しないように、1次ケーブル張渡し前に設計張力の1/2の張力を導入し、プレキャスト版を2/3程度架設した時点で所定の設計張力とした。

4.2 上部工の施工

(1) プレキャスト版の製作

プレキャスト版の製作は、下部工の施工と並行して工場で行った。

プレキャスト版の長さは、標準版で2.5 m、拡幅部の異形版で0.5 m~2.1 mである。重量は、標準版で1.5 tf、異形版で、1.9 tf~1.5 tfであり、異形版の長さは、重量を2.0 tf以内に抑えるように決めた。

型枠は、全47枚に対して、標準版用を2枚、異形版用を1枚使用した。

また、最小版厚が60 mmと薄いため、取扱い、運搬を慎重に行った。

(2) プレキャスト版の架設

プレキャスト版の架設は、A₁橋台側よりプレキャスト版を4基のローラーにより1次ケーブルに吊り下げ、A₂橋台からウィンチにて順次引き寄せ行った。

プレキャスト版を1次ケーブルに吊り下げるためには、1次ケーブルの下を通す必要があるため、A₁橋台

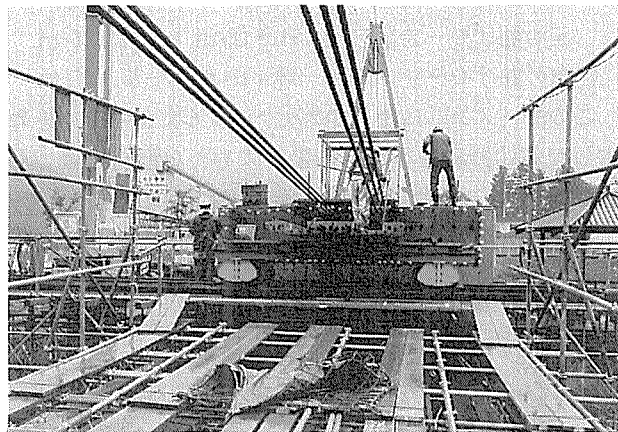


写真-4 横取り装置

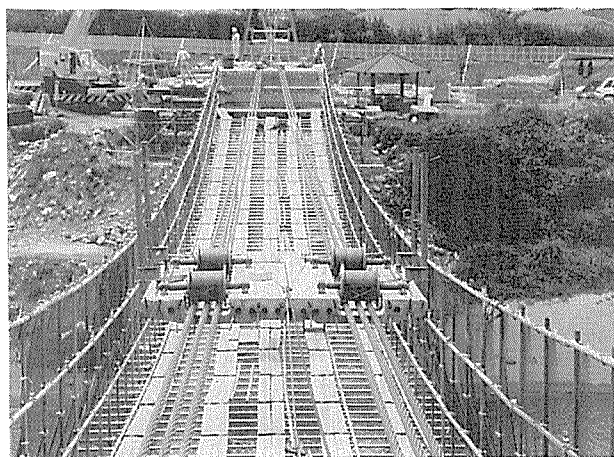


写真-5 プレキャスト版の架設

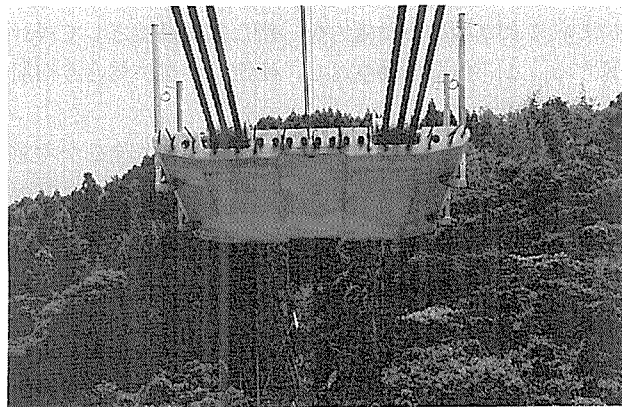


写真-6 プレキャスト版の架設

前面に横取り装置をつくり、プレキャスト版を1次ケーブルの下に移動させ、クレーンにより吊り下げてローラーを取り付けた(写真-4)。

プレキャスト版を所定の位置に引き寄せた後、位置の微調整を行い、プレキャスト版1枚当たり6か所を厚さ16mmの鋼板で固定した。

(3) 2次ケーブルの緊張

プレキャスト版の架設後、目地部および1次ケーブル切欠き部のコンクリートを打設した。次に両橋台取付け部(各2.5m)のコンクリートを打設し、2次ケーブル(1 T 21.8)8本をセンターホールジャッキにて両引きで緊張した。最後に、拡幅部2次ケーブル(1 T 21.8)全24本を片引きで緊張した。

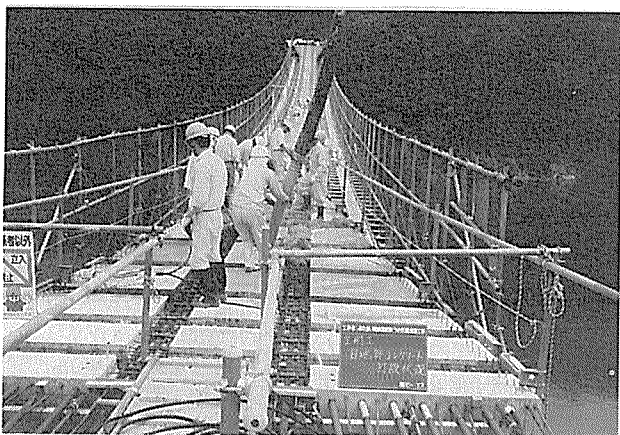


写真-7 ブロック目地部の施工

(4) 橋面工の施工

緊張終了後、階段をモルタルで施工し、橋面にエポキシ系の防水塗装を施した。

アルミ製の高欄の建込み後、吊り足場、ケーブルク

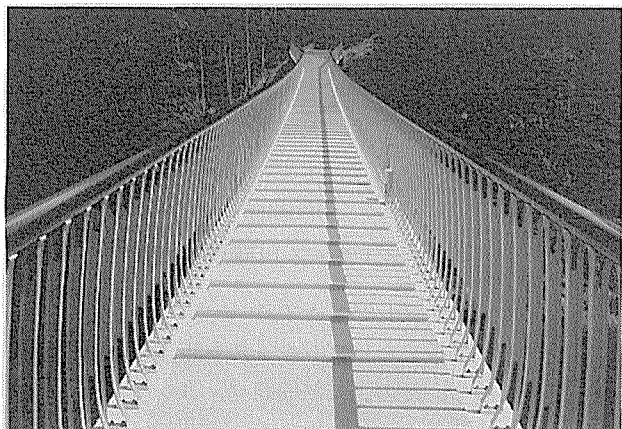


写真-8 階段

レーンを解体し、最後にカラーセラミックス舗装を施した。

5. 計 測

うさぎ橋は、現時点において国内最長の支間を有する吊床版橋である。その構造特性は、既存のPC構造物と大きく異なる。また吊床版橋の支間の増大には、耐風特性の把握が重要である。本橋では、今後の吊床版橋の設計施工に反映させるために種々の試験を行い、データを収集することにした。具体的には、前述の長期耐風観測を含め、次の4項目について行っている⁴⁾。

1) 施工時計測

施工時のPC鋼材の張力、コンクリートの応力度の計測。

2) 静載荷試験

橋梁完成後、群集荷重による静的載荷試験。

3) 振動試験

橋梁完成後、実際の通行および人力加振による振動試験。

4) 長期計測

供用後の、風による橋の挙動の長期(1年間程度)計測。

6. おわりに

うさぎ橋は、白くその優美な姿を、五ヶ瀬川の川面に映している。力学的に合理的なこの構造は、今後車道橋を始め広い分野に応用されるものと期待される。また、多径間化や支間も更に長くなると思われる。

静載荷・振動試験は、平成4年8月25日、26日に実施しており、長期計測も現在実施中である。

最後に、本橋の設計施工にあたり御指導・御協力いただいた関係各位、ならびに計測計画・実施に御尽力いただいた宮崎大学に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 新井英雄, 錦 英樹, 中村収志, 永井 篤:「亀甲橋の設計」プレストレストコンクリート, Vol. 34, No. 2, 1992
- 2) 則武邦具, 熊谷紳一郎:「吊床版橋の設計と施工(上)」プレストレストコンクリート, Vol. 32, No. 3, 1990
- 3) 「道路橋耐風設計便覧」日本道路協会, 1991
- 4) 梶川康夫, 卜部 剛, 斉藤良算, 中村一樹:「吊床版橋の振動実験」橋梁と基礎, Vol. 24, No. 4, 1990

【1992年9月29日受付】