

(45) いしづち 石鎚橋の設計と施工

住友建設(株) 土木設計部 則武 邦具 ○細野 宏巳
新井 英雄 錦 英樹
四国 支店 高橋 正雄

1. はじめに

石鎚(いしづち)橋(写真-1)は、愛媛県新居浜市の滝の宮カントリークラブ内に建設されたPC吊床版橋であり、歩行者専用橋として、石鎚コース4番ホールの改良工事にともない計画された。

PC吊床版橋は国内で既に10数橋の実績があるが、本橋は今年7月に完成し、国内最大支間長の(これまでは、熊本県の梅の木轟公園吊橋の105m)単径間PC吊床版橋である。

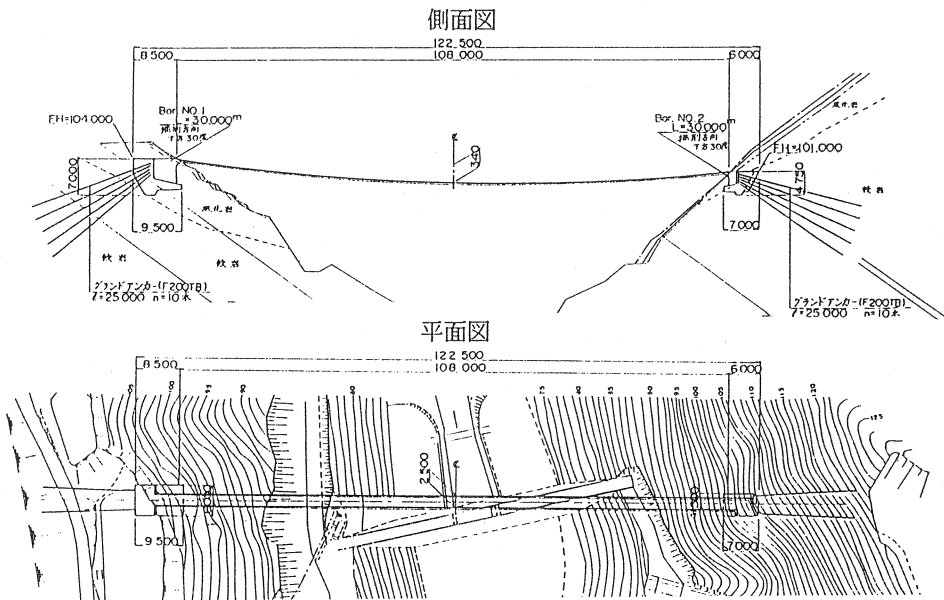


図-1 全体一般図

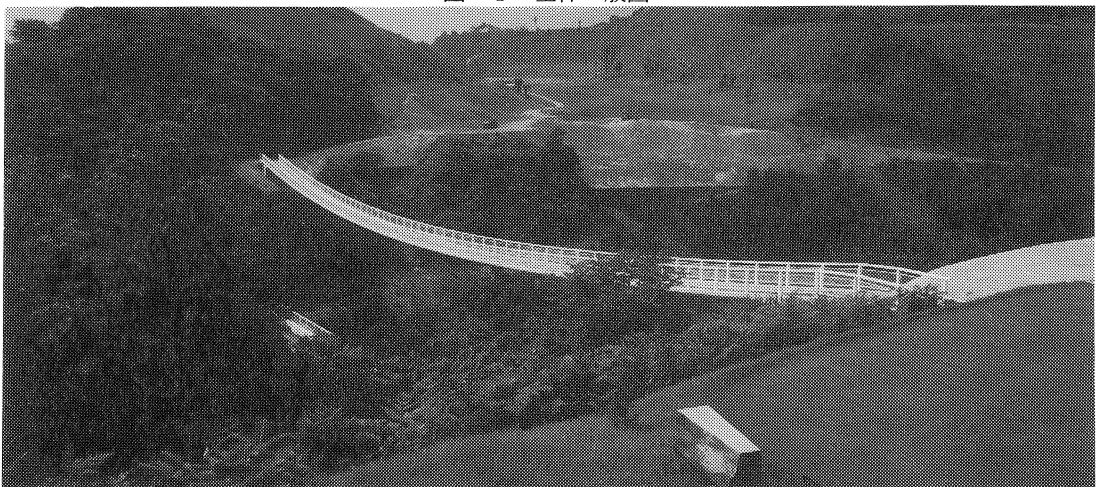


写真-1 完成写真

表-1 設計条件

橋 種	歩道橋
構 造 形 式	単径間PC吊床版橋
橋 長	122.0 m
支 間	108.0 m
幅 員 構 成	地覆 歩道部 地覆 $0.250 + 2.000 + 0.250 = 2.500\text{m}$
活 荷 重	$w=100\text{kgf/m}^2$, $P=1\text{tf}$
クリープ係数	$\phi = 2.2$
乾燥収縮度	$\epsilon_s = 15.0 \times 10^{-5}$
温度変化	$\Delta T = \pm 15^\circ\text{C}$
基本サグ量	$f = 3.400\text{ m}$

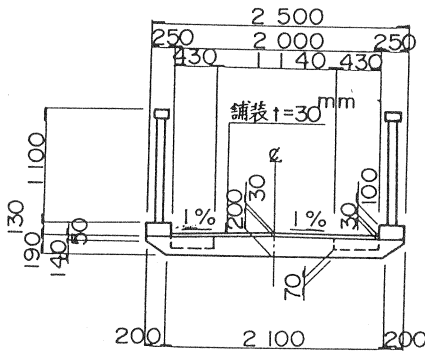


図-2 主桁断面図

懸垂架設工法を更に省力化するために、ゴンドラを利用した足場設置作業を行うとともに、耐風安定性、振動特性を向上させるための基本データを得るために振動試験を実施した。

2. 構造概要

石錠橋の全体一般図を図-1、主桁断面図を図-2に、設計条件を表-1に示す。

本橋は支間長 108.0mをもつ単径間PC吊床版橋であり、全幅員 2.5mのうち 2.0mが有効幅員である。床版コンクリート厚は約20cmで、吊床版両端部においてこれを片持ち梁として支持する取付け部では、20cmから 1.0mまで漸増している。基本サグ量(死荷重状態でのスパン中央の垂れ下がり量)は $f = 3.4\text{m}$ であり、上部工を張り渡すための張力は、両橋台を介して $P_u = 200\text{tf}$ のグラウンドアンカー10本によりそれぞれの支持地盤に定着している。

3. 設計の概要

3.1 構造

吊床版橋の構造は、径間に張り渡され直接歩行者などが通行する吊床版、両端部においてこれを支持する取付部、および上部工からの張力を支持地盤に定着する下部構造からなる。

3.2 上部工の設計

(1) 構造解析

PC吊床版橋は張力により高い剛性が与えられている構造である。床版が薄く、曲げ剛性より伸び剛性の卓越する柔構造であるために、鉛直荷重に対する水平力の算出にあたっては、曲げ剛性を無視し、サグの影響を含む幾何学的非線形性を考慮した解析方法を用いて構造解析を行った。解析結果を表-2に示す。

(2) サグの設定

吊床版橋のサグ量を設定するための基本的な考え方は以下の通りである。

- ① サグを小さくすれば、最急勾配が緩くなり歩行性が良くなる。しかし、張力が大きくなるため、上下部構造とも工費が増加する。
- ② サグを小さくすると初期張力が大きくなり、幾

表-2 完成系の張力と形状

	Q (tf/m)	H (tf)	f (m)	$\tan \theta$
自重作用時	1.1425	465.3	3.580	0.1326
プレストレス導入後	1.1425	481.6	3.459	0.1281
橋面工施工後	1.5430	639.3	3.519	0.1303
全死荷重時	1.5430	661.9	3.400	0.1259
+15°C	1.5430	645.0	3.488	0.1292
-15°C	1.5430	680.0	3.308	0.1225
活荷重全載時	1.7430	741.0	3.430	0.1270
+15°C	1.7430	722.5	3.517	0.1303
-15°C	1.7430	760.7	3.341	0.1237

何剛性によって荷重増加が同じであっても張力変動量は小さくなる。しかし、サグを大きくしても活荷重や温度変化によるたわみや張力の変動量が小さく、力学的特性が改善される領域がある。

- ③ サグにより振動に対する剛性が大きく変わり、サグを大きくすると最低次の振動モードが対称モードから逆対称モードに移る。
- ④ プレストレス2次力やクリープ・乾燥収縮によるプレストレス損失量がサグにより変化し、サグが小さいと床版コンクリートにプレストレスがほとんど残らない。サグを大きく設定することでプレストレスを有効に導入できる。

本橋の設計においては、経済性、歩行性、力学的特性、振動特性およびプレストレスの導入効率を総合的に考慮し、サグを $f = 3.4\text{m}$ ($L/f = 31$) に設定したものである。

(3) クリープ解析

本橋は床版にプレストレスを導入してPC構造としている。床版コンクリートのクリープ作用と乾燥収縮により軸方向に塑性変形が生じ、この軸歪みに相当する分、床版は上昇し、張力は力の釣り合いを保つために増大する。吊床版橋を設計するには、この増加張力によるコンクリートの引張力を求める必要がある。

コンクリートの初期応力、鋼材の拘束により発生する不静定力、並びに水平力の変化量より、クリープ、乾燥収縮による歪みを歪みの適合条件式で求め、これをケーブル方程式に代入することによって水平力を求めた。

(4) 床版の設計

床版は、間詰めコンクリート打設後に作用する荷重(橋面荷重、活荷重および温度変化など)による張力に対して全断面で抵抗するためコンクリートに引張力が生じる。本橋はこの引張力に対して、ポストテンション方式により床版に圧縮力を導入した。活荷重作用時の引張応力度の許容値は -15kg/cm^2 として、必要プレストレス量を算出した。床版をPC構造にすることは、

- ① ひびわれ幅を制御することで耐久性が向上する。
- ② 繰り返し荷重による応力変動を低いレベルに抑えるので、PC鋼材の疲労に対して有効である。
- ③ 振動や耐風安定性に対する剛性を確保できる。

などの利点がある。

表-3 作用力の内訳(単位: tf, +は引張力)

	張力 H	コン クリート Hc	鉄筋 D13 Hs	PC鋼材 F 200 Hp1	PC鋼材 1 T21.8 Hp2
自重作用時	465.3	0.0	0.0	465.3	0.0
プレストレス 導入後	481.6	-267.9	-14.5	440.9	323.1
橋面工施工後	639.3	-136.9	-7.4	452.8	330.9
全死荷重時	661.9	-41.6	-21.6	405.9	299.5
+15°C	645.0	-55.6	-22.3	404.7	298.6
-15°C	680.0	-26.5	-20.7	407.3	300.4
活荷重全載時	741.0	24.1	-18.0	411.9	303.4
+15°C	722.5	8.8	-18.8	410.5	302.4
-15°C	760.7	40.5	-17.1	413.4	304.3

$$H = H_c + H_s + H_{p1} + H_{p2}$$

の影響を受けやすい構造であるので、破断強度に対して $F = 2.5$ とした。床版に作用する張力と断面内のコンクリート、鉄筋、PC鋼材に作用する圧縮力または引張力の値を表-3に示す。

(5) 取付け部の設計

床版と橋台との取付け部は、吊床版に作用する荷重の鉛直反力を受けるため、曲げモーメントが作用する片持ち梁となる。曲げモーメントの軽減のため、施工中は橋台内部に上に凸の曲面を持つ橋座部を設け、施工時のサグ変化に伴うPC鋼材の接点移動を拘束しないような機構とした。また、床版コンクリートの自重による張力の鉛直分力が取付け部に作用しないように、床版部施工完了後に取付け部を施工し、橋台に剛結合とした。

(6) 振動解析

固有値解析は図-3に示す3次元骨組モデルを用いた。質量は各節点ごとに集中質量と回転慣性モーメントを与え、張力による幾何剛性は完成時の張力を用い、これを線形化して弾性剛性行列に含めた。両端部は、橋台前面の床版との結合点で全自由度を拘束した。

表-4及び図-4に振動モードと固有振動数の解析結果を示す。

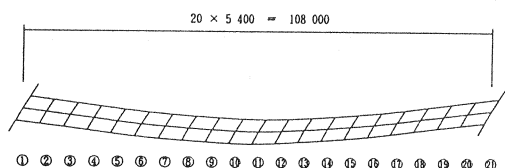


図-3 骨組解析モデル

表-4 固有振動数(Hz)

振動の種類			計算値
面	対称	1次	0.88
		3次	1.19
		5次	1.84
内	逆対称	2次	0.68
		4次	1.41
		6次	2.25
面 外		1次	0.67
ねじり		1次	1.77

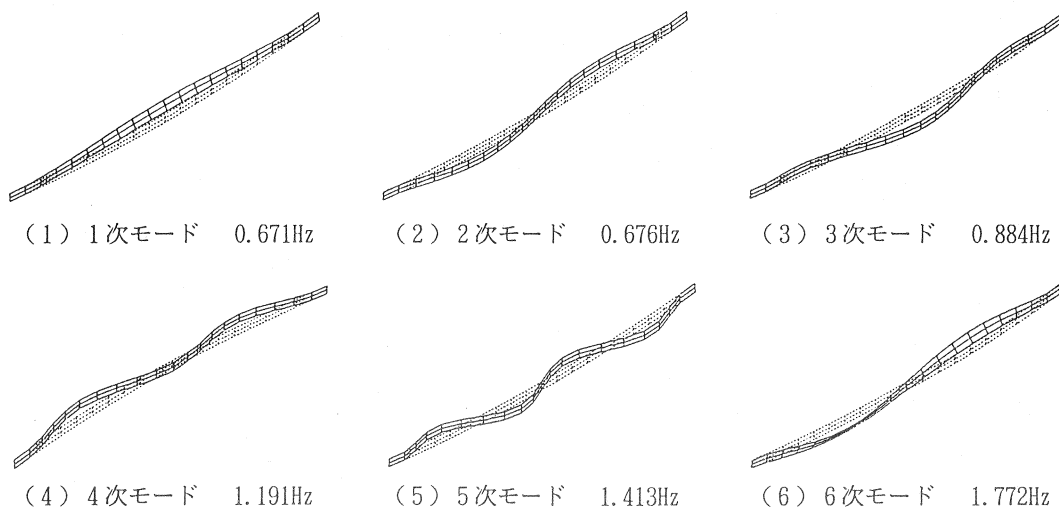


図-4 振動モード図

(7) 耐震性

橋梁の耐震設計は、道路橋示方書により地震力を静的な慣性力に置き換える修正震度法で行なわれる。しかし、一般に本橋のような吊床版橋は、通常のコンクリート橋と比較して上部工慣性力が小さく、地震に対して問題とならず、橋軸直角方向の曲げモーメントは静的風荷重が支配的である。

(8) 耐風安定性

吊床版橋は簡易吊橋などと比較して重く、耐風安定性はよいといわれているが、本橋の場合、支間が長いために風の動的な作用による安定性を照査した。静的な風荷重に対する検討として、設計風速 55m/s 対しての面外曲げモーメントによる応力度、横座屈現象について照査をし、十分に安定しているという結果を得

た。また、動的振動に対しては、耐風設計便覧に乗っ取って検討した。その結果、曲げおよびねじれによる渦励振の発生風速は 3~5m/sで、振幅は 0.5mm程度であり問題はなく、曲げねじれフラッターに対しても十分安定であるという結果を得た。静的風荷重に対しては、高欄の充実率を金網を含めて 0.426とし、荷重強度 450kg/cm²を載荷した両端固定梁として橋軸直角方向の曲げモーメントを算出した。引張応力の発生に対しては、鉄筋と一次ケーブルを引張抵抗鋼材と考えて照査した。

3.3 下部工の設計

(1) 地質調査結果と下部工形状

両橋台架設地点においてボーリング調査を行なった。その結果を踏まえて両橋台の形状を決定した。A1橋台側の地層は約10mで橋台支持層(砂岩層(C_L以上))となるが風化層が厚い。そのため橋台の底盤幅を広げ、地盤反力を分散できる形状とした。また、A2橋台側の地層は約5mから砂岩層(C_M~C_L)が出るが、15~17mの粘板岩層はかなり風化が進んでいる。さらに、A2橋台架設地点は山の中腹に位置している。そこで、掘削土量が最少となるような形状とした。

(2) 基礎工

基礎工は摩擦圧縮型のグラウンドアンカーを用いた。地質調査結果においては両橋台とも軟岩であったがA1橋台側の地層はかなり風化が進んでいるため、地盤とグラウトの付着応力度は $\tau = 8 \text{ kgf/cm}^2$ (風化岩)とした。また、安全率は永久アンカーとして $F = 3.0$ とした。

(3) 橋台の安定計算

最大地盤反力度は、A1橋台が設計荷重時において、橋台前面で $q_{\max} = 26 \text{ tf/m}^2$ 、A2橋台が設計荷重時において、橋台前面で $q_{\max} = 44 \text{ tf/m}^2$ である。

4. 施工の概要

4.1 施工順序

この橋の架橋地点は急峻な渓谷にあるため、これまでに実績の多い懸垂式架設工法を採用した。また、プレキャスト床版を使用することにより工期を大幅に短縮できることが特徴にある。以下に施工順序を説明する。

(図-5) 参照

- 1) 橋台、グラウンドアンカーを施工し、下3段のアンカーを緊張する。
- 2) 主ケーブルを張り渡し、安全ネットで防護する。
同時に、残り2段のアンカーを緊張する。
- 3) 工場製作したPC版を主ケーブルに順次吊り下げる。
- 4) PC版間の間詰めコンクリートを打設する。
- 5) 橋台の取付け部を打設する。
- 6) PC版内の後ケーブルを緊張する。
- 7) 橋面工を施工し、防護ネットを解体する。

4.2 上部工の施工

1) PC鋼材及びPC版の架設

サグ量及び主ケーブルの張力は、施工完了時に所定の値になるように各施工段階をさかのぼって算出し、主ケ

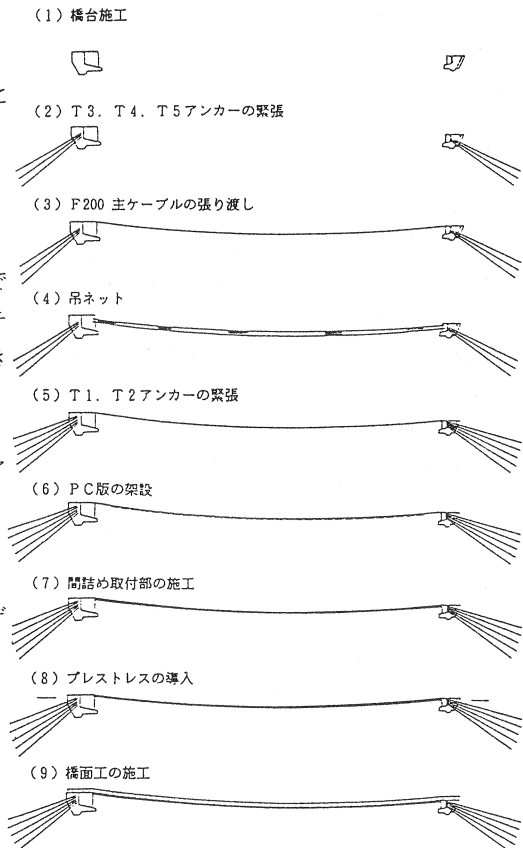


図-5 施工要領図

ケーブルを張り渡し緊張する。主ケーブル緊張後、PC版架設作業に備えて安全ネットにより全面防護を施した。

PC版は下部工の施工と並行してPC工場にて製作した(PC版1枚は $2\text{m} \times 2.5\text{m}$ 約 2.3tf)。

現場に搬入したPC版は移動用ローラーを取付けてケーブルに吊るした後、ウインチでケーブル上を所定の位置まで移動して固定した(写真-2)。

PC版どうしの隙間を30cmあけて、その隙間を場所打ちとする。この方法を採用したことにより、床版の連続性が確保され、コンクリート自重をPC鋼材に負担させることが可能となる。さらに、プレストレスを与えることによって柔構造物のプレキャスト部材間の目地処理をより耐久性のあるものとする事ができる。

2) 場所打ち部の施工

PC版架設後、ゴンドラ足場を設置し、隙間部の型枠床版上側の鉄筋、プレストレス導入のためのPC鋼材を配置する。隙間部の型枠は、コンクリート打設によりサグ量が変化するため、吊型枠構造として床版の曲率の変化や軸方向の伸びを拘束しないようにした。ゴンドラ足場を使用することにより、従来の吊足場仮設工を大幅に省力化することができた(写真-3)。

隙間部のコンクリート打設は、サグの変化に大きな影響を与える支間中央部から始めて、両橋台に向かって左右同時にバランスを取りながら打設した。

3) 橋台取付け部の施工

橋台取付け部の施工は、吊床版部のコンクリートが硬化し吊型枠を解体した後に、型枠をセットして鉄筋を配置した。打設したコンクリートが所定の強度に達した後に、13本のPC鋼材(1T21.8)で床版にプレストレスを導入しグラウトを注入した。

4.3 振動試験

施工中ならびに完成後において、現場振動試験を実施した。この結果については、当日発表予定である。

5. おわりに

以上、石鎚橋の設計、施工についてその概要を述べた。吊床版橋は美観及び経済性に優れる構造である。さらに、今回採用した施工法によれば、地形条件に左右されず、急速施工とより一層の省力化施工が可能である。今後も吊床版橋を採用する場合、本報告が参考になれば幸いと思う。

最後に、ひぐらし橋に引続き本橋にも吊床版橋の採用を決定され、終始ご援助いただいた河の北開発(株)を初め、多大なご指導、ご尽力をいただいた関係者各位に心より謝意を示す次第である。

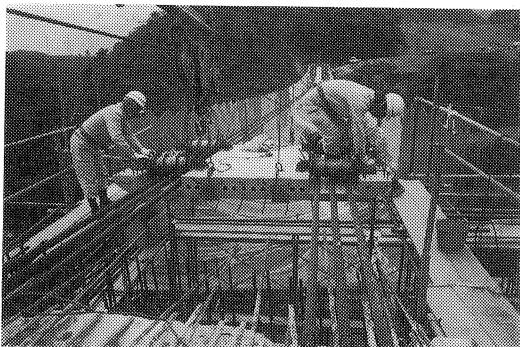


写真-2 PC版の取付け

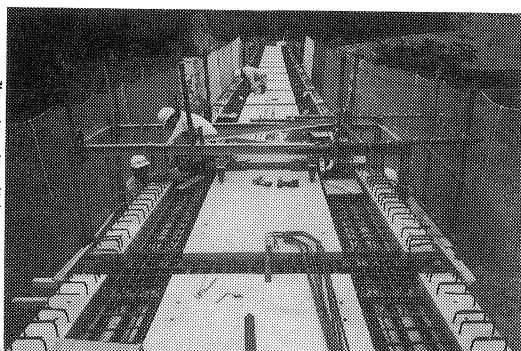


写真-3 ゴンドラによる型枠取付け