

## 技術ノート

# 重橋床式吊橋(麻生大橋・浮島橋)について

キーワード  
吊橋  
重橋床式  
麻生大橋  
浮島橋

Report about ASOOHASHI and UKISHIMABASHI as Heavy Floor Type's Suspension Bridges

中崎俊三<sup>\*</sup>  
*Shunzo NAKAZAKI*

上野哲也<sup>\*\*</sup>  
*Tetsuya UENO*

島田清明<sup>\*\*\*</sup>  
*Kiyoaki SHIMADA*

草島秀幸<sup>\*\*\*\*</sup>  
*Hideyuki KUSAJIMA*

## 1. まえがき

吊橋は桁の剛性を小さくすれば、桁に発生する曲げモーメントも低下するという性質がある。そのため、長大吊橋においても耐風安定性を考慮しなければ、桁は桁高の低いプレートガーダーとして設計できる。その典型的な例が、タコマ橋(アメリカ, 1940年完成, 中央支間長853m)である。しかし、当時は吊橋の耐風安定性の問題がまだ十分に究明されていなかったため、わずか19 m/sの風速で落橋した。

タコマ橋の落橋を契機に、耐風安定性を考慮した補剛桁の設計がなされるようになった。現在ある耐風構造の吊橋形式として、下記4形式が挙げられる。

- ① 十分なねじり剛性のある補剛トラス吊橋
- ② 流線型箱桁を有する吊橋
- ③ 耐風索を有する吊橋
- ④ 重橋床式吊橋

最近では、上記以外に②に④の発想を取り入れた長大吊橋の設計方法も提案されている<sup>1),2)</sup>など、各種の組合せが考えられている。この中で、重橋床式吊橋は、「吊橋の剛性は桁自身の剛性と死荷重の大きさにより決まる」という性質を応用して死荷重を積極的に利用するもので、当社の実績としては、最大スパン160 mの八幡橋(1968年、奈良県)をはじめとしておよそ10橋を施工している。

吊橋としての換算剛性は次式で示される<sup>3)</sup>。

$$\text{換算曲げ剛性: } EJ = EI + \frac{l^2}{2\pi^2}H \quad \dots\dots\dots\dots (1)$$

$$\text{換算ねじり剛性: } GK = GK + \frac{\pi^2 b^2}{l^2}EJ \quad \dots\dots\dots\dots (2)$$

ここに、  $EJ$  : 桁自体の曲げ剛性(/Br.)

$GK$ : 桁自体のねじり剛性(/Br.)

$l$ : 支間長

$b$ : ケーブル間隔

$H$ : 死荷重による片側当たりの主ケーブルの水平張力

このように、吊橋としての剛性に死荷重が寄与していることがわかる。さらに吊橋の耐風安定性の一指標となる風圧による横倒れ座屈の限界荷重<sup>3)</sup>は、式(1), (2)の関数として表される。

重橋床式吊橋の場合、質量としてはコンクリート床版に期待することが多い。したがって、先に述べた横倒れ座屈の限界荷重などの耐風安定照査式の計算結果が満足なものでなければ、床版として必要な設計厚以上としなければならない場合もある。

重橋床式吊橋には、耐風索を不要にできること、塗装面積を少なくできることなどのメリットがあるが、全体死荷重に対する床版死荷重の占める割合が大きいことから、床版打設時の十分な検討が必要である。

主な検討項目を次に掲げる。

- ① 主桁はプレートガーダーであり、剛性が小さい。  
床版打設時の変形が大きいが、桁の応力上の問題はないか。
- ② 打設途中の床版自身も大きな変形を受けるが、コンクリートのひび割れ発生上の問題はないか。
- ③ 完成系は主桁と床版が一体となって安定しているが(後述の桁断面図参照)、床版打設時においても安定させるためには(例えば主桁の横倒れ座屈)どのような仮支持を行う必要があるか。

本文は最近、重橋床式吊橋として竣工した麻生大橋と浮島橋の特徴について述べるものである。

\*川田工業㈱技術本部技術部次長 \*\*川田工業㈱橋梁事業部工事部工事二課 \*\*\*川田工業㈱技術本部技術部設計二課 \*\*\*\*川田工業㈱生産事業部木材工場生産技術課

## 2. 麻生大橋

### (1) 橋梁概要

福島県柳津町の一級河川只見川に通称「麻生の渡し」と呼ばれる200mほどのワイヤと和舟による渡船があつた。麻生大橋は、この渡船に代わり、地域住民生活の大いな障害である交通事情の解消を目的に架橋された。

本橋の位置図、一般図、橋梁諸元を図-1, 2, 表-1に、全景を写真-1に示す。

### (2) 本橋の特徴

#### a) 維持費の軽減

吊橋では初めて、各個所へ耐候性鋼材、亜鉛メッキ、ステンレス鋼を使用することにより塗装塗り替えを不要とし、維持費の軽減を図っている。

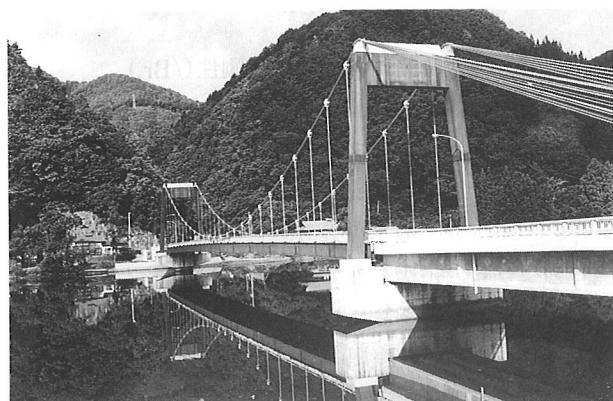


写真-1 麻生大橋全景



図-1 位置図

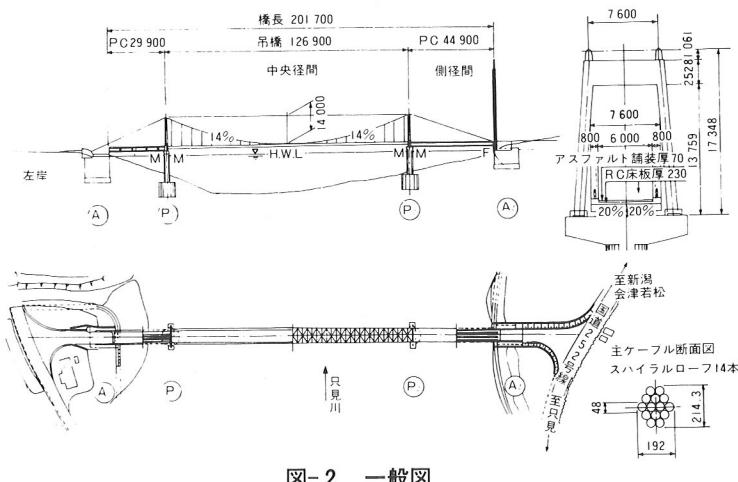


図-2 一般図

以下に各防錆方法の適用箇所を示す。

### ① 耐候性鋼材

- ・主桁、横桁、構造
- ・主塔(内面永久塗装)
- ・補剛桁等、耐風板

### ② 亜鉛メッキ

- ・メインロープ、ハンガーロープ、吊り金具、定着金具
- ・塔頂サドル、センターダイヤゴナルスティ
- ・高欄、照明装置
- ・排水管

### ③ ステンレス鋼

- ・積雪防止装置

なお、伸縮装置、排水ますはおののおの普通鋼材、鋳物の永久塗装とした。

### b) 雪害対策

主塔頂部に雪が積もり、下の歩行者や通行車両に落ちることを防止するために、積雪防止装置(SUS304)を設けた(図-3参照)。

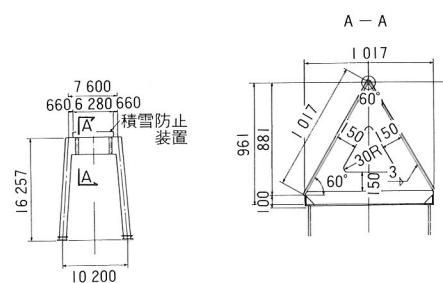


図-3 積雪防止装置

表-1 橋梁諸元

発注者	福島県会津若松建設事務所
道路規格	三種五級( $v = 30\text{km}/\text{h}$ )
橋格	二等橋(TL-14)
上部工形式	右岸 PC単純ポストテンションT桁 主径間 重橋床式吊橋 左岸 PC単純ポストテンションT桁
下部工形式	アンカーブロック兼用オープングーソン基礎橋台 壁式ニューマチックケーソン基礎橋脚
橋長	201.7m
幅員	6.0m(車道部4.0m、側帯2×1.0m)
支間長	29.1m+126.0m+43.9m
活荷重	TL-14
雪荷重	100kg/m <sup>2</sup>
舗装	アスファルトt=7.0cm
床版厚	鉄筋コンクリート床版t=23.0cm(吊橋)
主要鋼材(吊橋)	SMA41W・SMA50W(耐候性鋼材), SS41 φ48スパイラルロープ(メインケーブル) φ48ストランドロープ(ハンガーケーブル)
設計震度	$k_0 = 0.15$
鋼材重量	371t(吊橋)

### c) 耐風安定性

耐風安定の照査を、自励振動についてSelbergの経験式より求めると、限界風速は107.8 m/sとなる。これは、再現期間100年に対する10分間最大風速(新潟)の30.7 m/sを十分満足する。

また5m間隔で床版中央に風抜き孔を2個ずつ設け、

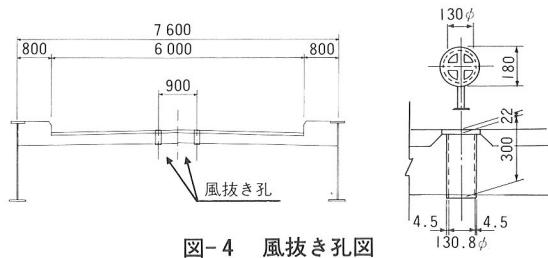


図-4 風抜き孔図

橋面上下の風圧差を小さくし、流体力学的性質の向上に努めた(図-4 参照)。

### d) 構造

#### イ) 主塔基部

主塔基部の形式には、図-5に示すヒンジ構造(ピボット支承)と固定構造がある。本橋では設計時に協議し、小

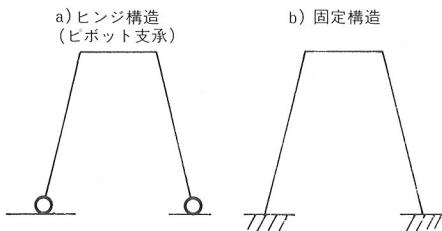


図-5 主塔基部構造

規模吊橋指針等より施工時の安全性、維持管理を配慮して固定構造とした。

#### ロ) 床版構造

構造高を低くすることを目的に、主桁間に床版を設け縦桁等を不要にするため、床版支間は橋軸方向(横桁支間2.52 m)とした。これらから床版厚は23 cmと厚く、重橋床

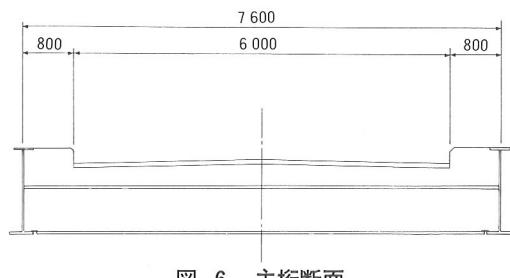


図-6 主桁断面

式吊橋としてより安定性を高めた。図-6に主桁断面を示す。

### (3) 架設

#### a) 架設工法

架設工法は以下のとおりである。

##### ① 主塔：トラッククレーンによる架設

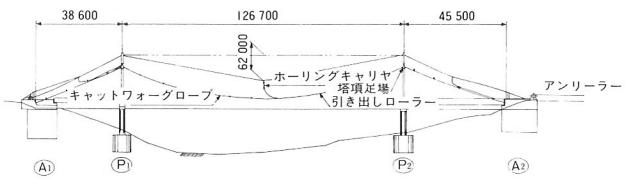


図-7 主ケーブルの架設

##### ② 主ケーブル：ホーリングシステムによる架設(図-7 参照)

##### ③ 主桁：ケーブルクレーンによる片押し架設 主桁の架設は、作業性、部材搬入条件を考慮して、右岸側に主桁ブロックにて荷取りヤードを設け、右岸よ

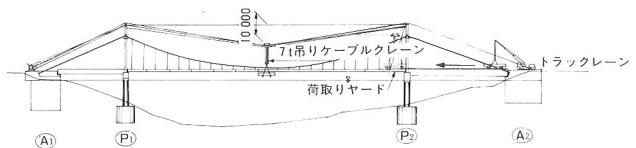


図-8 主桁の架設



写真-2 主桁架設状態

り搬入した部材をヤード上にて地組し、左岸側からハンガーへ吊り下げ、片押し架設とした(図-8, 写真-2 参照)。

なお、主桁の架設と後述の床版打設においては、おののおのの作業段階の変形、断面力を当社所有の有限変位理論による平面骨組解析プログラム(KASUS/PLANE)により数ケース計算し、最適なケースを検討した。これは安全かつ敏速な現場作業に即したケースの選定と、作業時での形状管理を目的とした。

架設計算では主桁応力、ハンガー張力を低減するため、主桁添接部の結合条件をヒンジ構造とし、現場では上フランジの添接板を数本の仮締め状態(写真-3)とした。

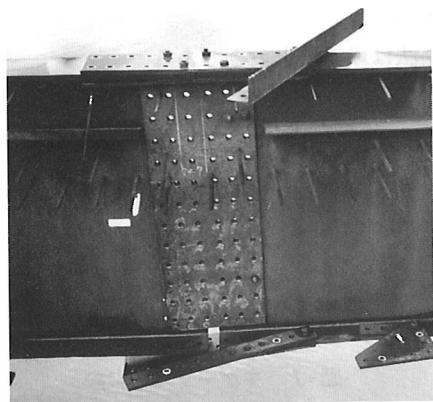


写真-3 主桁のヒンジ状態

## b) 床版打設

- 床版打設計算は図-9, 10の2ケースについて行った。
- ① CASE-1 : 打設順序を分散し主桁全体の変形量を小さくする方法(図-9)。
  - ② CASE-2 : 中央から両端へ順次打設し作業性を向上する方法(図-10)。

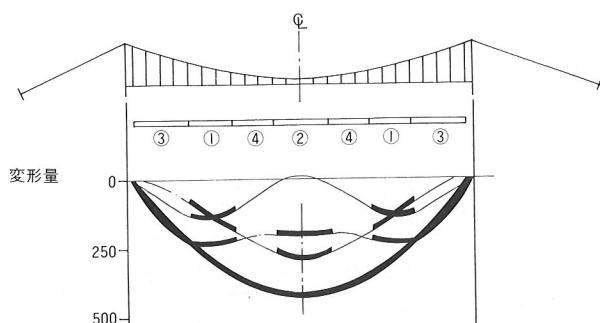


図-9 CASE-1

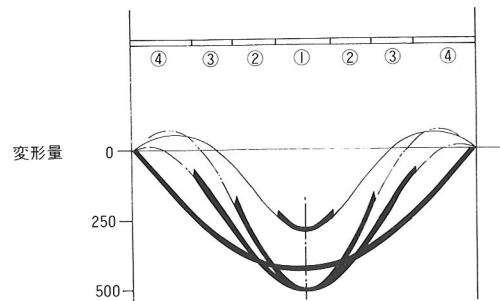


図-10 CASE-2

検討の結果より、両ケース共に許容応力内であり、連続して中央より打設でき、打継目も生じず作業性が良いなどの理由により、CASE-2を採用した。

## c) 主塔のセットバック

主ケーブル、補剛桁、床版、舗装と架設が進むに従つて主ケーブルの張力が増加し、これに伴つて主径間と側径間とのケーブル水平力がバランスするように、塔頂が

主径間側へ移動していく。しかし吊橋では、上記の全死荷重が載荷された完成時に、塔は鉛直であることが条件となる。本橋では塔基礎が固定構造であるため、塔頂サドルを移動可能な構造(図-11)とし、あらかじめ側径間側へ移動(セットバック)しておき、死荷重状態に合わせてジャッキにて移動した。写真-4に移動中のサドルを示す。

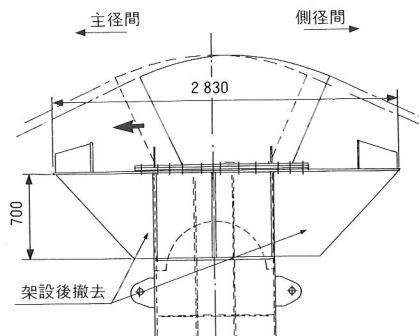


図-11 塔頂プラケット

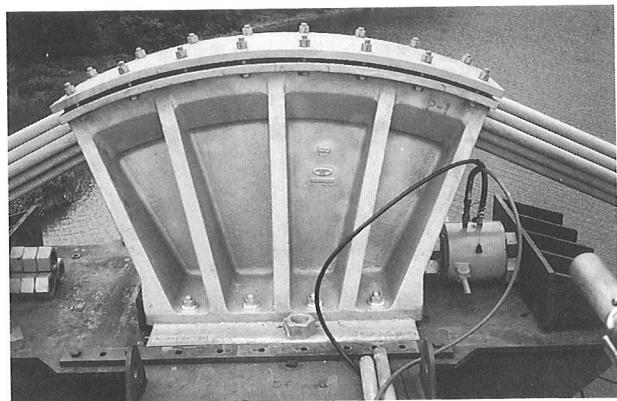


写真-4 移動中のサドル

## d) 工事工程

現場工事の工程を表-2に示す。12月中旬より3月末までは越冬のため、作業を休止した。

表-2 工程表

	62/11	12	63/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
主塔架設工	■											
ケーブル設備工	■	---	---	---	---	■						
ケーブル架設工					■							
桁設備工						■						
桁架設工						■						
床版準備工							■					
床版工								■	■			
防水・舗装工										■		
追加工事(高欄・電柱)										■		
仮設備撤去・仕上げ工											■	

### 3. 浮島橋<sup>4),5)</sup>

#### (1) 橋梁概要

天然記念物「吹割の滝」を有する利根郡利根村の吹割渓の中に浮島橋はある。橋は風光明媚な名勝を散策する遊歩道の一部として、機能的な美しさを持ち、周りの環境との調和を考慮した、塔を用いない非対称な吊橋である。本橋の位置図、一般図、橋梁諸元を図-12, 13、表-3に、全景を写真-5に示す。

#### (2) 本橋の特徴

##### a) 塔を用いない非対称吊橋

浮島(1A)と左岸側(1B)の斜面を利用した、サグ比( $f/l$ )が $1/18.3$ の非対称吊橋である。なお主塔がないために、吊り材の景観上の配置バランスより端部支承部に吊り材を設けたが、この吊り材に活荷重や温度変化による過大な引張り力や圧縮力(非抗圧部材のため、たるみとなる)の影響が懸念されたので図-14に示す3ケースにより検



写真-5 浮島橋全景



図-12 位置図

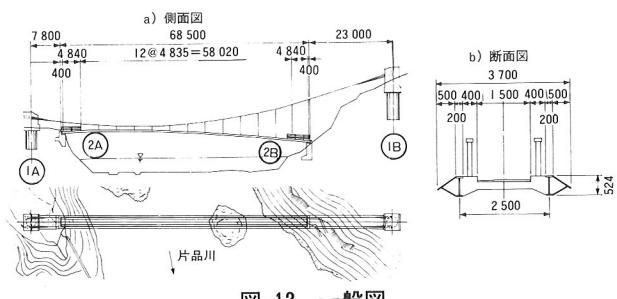


図-13 一般図

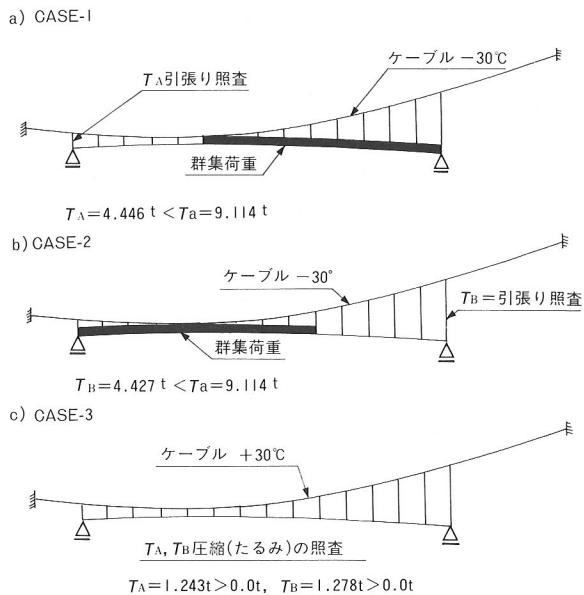


図-14 端部ハンガー張力の検討

討した。

図中、 $T_A$  : 2A端部吊材張力(t)、 $T_B$  : 2B端部吊材張力(t)、 $T_a$  : 許容引張力(t)である。

以上から端部ケーブルは、冬期での引張り力と夏期においてのたるみについて、問題のないことが確認された。

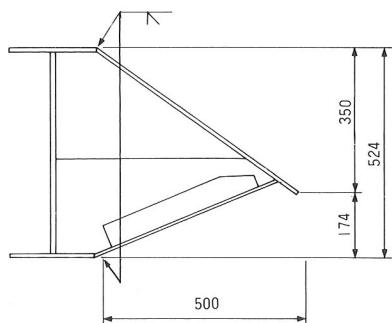
なお、本橋のような塔を用いない吊橋例としては、国内では白金橋(岩手県)がある。

#### b) 美観

本橋は前述した名勝地であり、環境との調和と美観が最重要課題であった。そこで塗色選定には文化庁と村役場で協議し、補色性に優れる茶系色となった。また橋面上高欄には、石楠花と林檎をモチーフしたデザインパネルを組み込み(写真-6)、カラー舗装を施した。

表-3 橋梁諸元

発注者	群馬県利根村役場
橋格	歩道橋
上部工形式	重橋床式吊橋
下部工形 式	逆T式橋台 重力式杭基礎アンカー
橋長	68.5m
幅員	1.5m
支間長	67.7m
活荷重	200kg/m <sup>2</sup> (主構造、下部工)
雪荷重	100kg/m <sup>2</sup> (活荷重載荷時)
舗装	カラー舗装30~41mm
床版厚	鉄筋コンクリート床版t=20.0cm
主要鋼材 (吊橋)	SM41A・SS41・SC46・S35C φ52スパイラルロープ (メインケーブル) φ22ストランドロープ (ハンガーケーブル)
設計震度	K <sub>h</sub> = 0.14
鋼材重量	44.1t



また耐風安定性能の向上と美観を考慮して、主桁側面にフェアリングを設けた。フェアリングの断面図を図-15に示す。

### c) 工場製作

主桁には、図-15のように断面の片側にフェアリングがあり、組立、溶接順序を図-16のとおりとした。

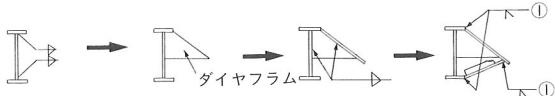


図-16 主桁の製作

なお、フェアリングを溶接することにより横曲りが生ずるので、これを極力小さくするため、溶接(①)は、手溶接による飛石法で行った。

また仮組立では、横横のない構造から、主桁形状、間隔を確保するにあたり、床版打設時の下フランジ補強材(図-20)を用いて製作精度を確認した(写真-7)。

### (3) 架設

#### a) 架設工法

架設工法は以下のとおりである。

- ① 主ケーブル：引き出しローラーによる架設
- ② 主桁：トラッククレーンによる架設(図-17参照)

なお、主桁の架設と後述の床版打設においては、有限変位理論による平面骨組解析(KASUS/PLANE)により検討し、安全性の確認と形状管理に役立てた。

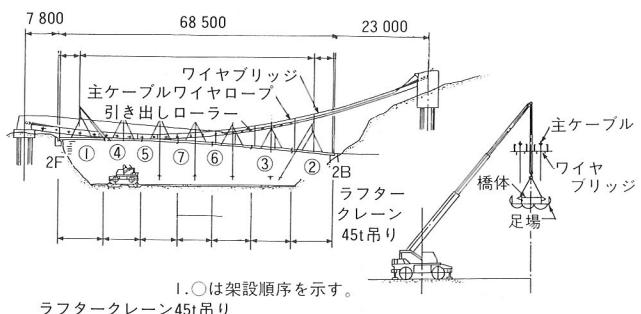


図-17 主桁架設図

#### b) 床版打設

床版硬化前の安定性は低く、橋全重量の70%を占める床版コンクリート打設には十分な検討を必要とした。図-18, 19, 表-4に数種の検討ケースより打設方法の異なる2ケースについて示す。

- ① CASE-1 = 打設順序を分散し変形量を小さくした方法(図-18)。

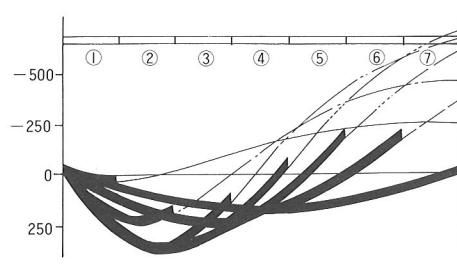
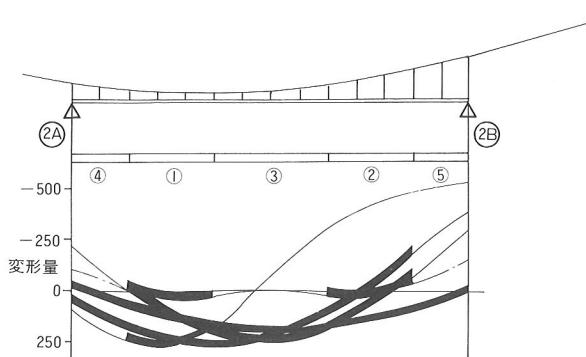


表-4 断面力、変形の最大最小

	断面力(t・m)		変位量(mm)	
	MAX	MIN	MAX	MIN
CASE-1	19.3	-12.1	-302	368
CASE-2	25.3	16.1	-579	497

② CASE-2 = 左岸より順次設し作業性を向上させた方法(2A固定、図-19)。

検討の結果、両ケース共に主桁仮固定材を必要とし、以下の理由により、CASE-2 の方法を採用した。

① 打設順序、沓の据付け方法などで作業性が良い。

② 打設時間も短く、コンクリートの硬化前に完了することから、ひび割れなどの問題がない。

この仮固定材とは、コンクリート硬化前は2主桁間を結ぶものは横構しかなく、打設時の横倒れ座屈防止策として、圧縮側フランジ(上、下フランジ)を仮固定するものである。

固定方法は、上フランジでは足場と兼用の単管パイプにて1.2 m間隔で固定し、下フランジではアングル材(図-20)にて4 m間隔に固定し、硬化後撤去した。

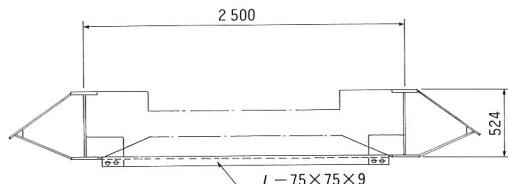


図-20 アングル仮固定材

### c) 現場計測結果

床版打設時において計算値と実測値とを比較した。計測位置を図-21に、変位量の比較を表-5に示す。

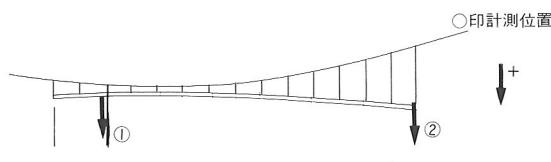


図-21 計測位置

表-5より、上下への変形量は共に実測値が計算値より小さいことがわかる。これは計算値と実際の主桁剛性の差として、床版型枠や主桁補強が剛性に影響していると考えられる。

### b) 工事工程

工事工程を表-6に示す。現場が観光地であること、施工上渇水期となることから、3月下旬までの約5カ月間での上下部工の施工となった。

表-5 変形量比較表

打設パネル	①			②		
	計算値	実測値	差	計算値	実測値	差
打設前	0	0	0	0	0	0
2パネル	176	150	-26	-122	-110	12
4パネル	354	250	-104	-336	-302	34
6パネル	435	360	-75	-525	-485	40
8パネル	414	350	-64	-579	-541	38
10パネル	347	270	-77	-487	-461	26
12パネル	277	240	-37	-242	-188	54
打設完了	205	180	-25	135	165	30

表-6 工程表

	63/11	12	1/1	2	3	4
準備工	■					
下部工 1Aアンカー工		■■■				
2A橋台工		■■■				
1Bアンカー工		■■■				
2B橋台工		■■■				
製作工	■■■					
ケーブル架設工			■■			
上部工 桁架設工				■		
床版工				■■		
現場塗装工				■		
その他					■■	
高欄・舗装工					■■	

### 4. あとがき

道路橋としての中小吊橋の施工数はここ数年少なく、一方、歩道橋では景観面より年間数橋施工されている。

重橋床吊橋は、前述した架設、床版打設時等の施工時検討を十分に行うことにより、その卓越した安定性と経済性から、道路、歩道橋を問わず、今後より多く採用されていく中小吊橋の形式である。

麻生大橋は既に昭和63年10月供用開始され、浮島橋は遊歩道関連工事が完了しだい供用される予定である。

最後に、麻生大橋にてご指導を賜った福島県土木部、会津若松建設事務所の方々、浮島橋にてご指導を賜った群馬県土木部、利根村役場の方々に深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 川田忠樹：セバーン吊橋の栄光と悲劇—質量付加方式の提案一、橋梁と基礎、1984年4月。
- 2) 野村国勝・岡 清志：質量付加式吊橋の静的特性、橋梁と基礎、1985年1月。
- 3) 本州四国連絡橋公団：耐風設計基準・同解説、1976年。
- 4) 平井 敦ほか：鋼橋(III)，技報堂、昭和42年9月。
- 5) 川田忠樹：吊橋の設計と施工、理工図書、昭和40年。