

## (75) ふれあい橋(単径間吊床版橋)の設計

新日本技研(株) 正会員 梶田 順一  
同 上 正会員 ○伊東 賢

### 1. まえがき

ふれあい橋は、広島県北東部の甲山町の建設省八田原ダムに計画された国内で最大支間長(147.6m)となる歩行者専用の吊床版橋である。本橋の一般図を図-1に示す。本形式は、わが国では1969年に万博9号橋が架設されて以来、すでに20橋近い実績があり、最大支間長が100mを越えるもの<sup>1)</sup>や、3方向構造のもの<sup>2)</sup>が施工されている。吊床版橋は、断面の曲げ剛性が伸び剛性に比べて十分小さいことから、これまでは床版の曲げ剛性を無視したケーブル理論を用いて設計されたものが多い。また床版端部の断面寸法を一般部より大きくしたうえで、橋台に剛結したものがほとんどであるが、これは維持管理の観点から選択された構造形式であると思われる。

剛結合された床版端部の曲げ応力を算定する目的で、有限変位理論を併用して設計を行った事例も報告されている<sup>1)2)</sup>。また床版と橋台の結合条件が吊床版橋の力学特性に及ぼす影響を、有限変位解析を行って検討した結果<sup>3)</sup>も示されている。しかしこれらの報告は、完成後に作用する活荷重を検討の対象としており、施工中に生じるサグの変化の影響を取り扱ったものではない。本橋のように長支間の吊床版橋では、施工途中におけるサグ変化が大きいと、サグ変化による支間部および端部の床版応力を正確に把握し、設計に反映させる必要がある。

本論文は、吊床版橋の施工中に生じるサグの変化による床版端部の応力に着目して、これを低減するために考案した従来と異なる新しい施工方法と、これに対応した床版構造について報告する。なお、本橋の解析には、文献4)に示される有限変位理論を用いている。

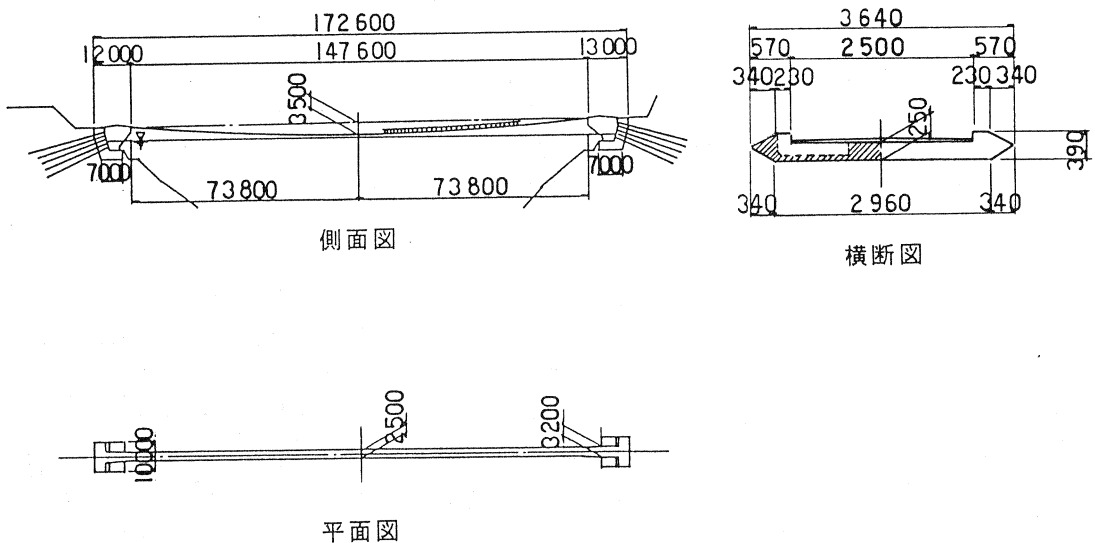


図-1 一般図

## 2. 設計条件

ふれあい橋の構造基本形状は、ダム湖兩岸の林道と計画水位から決定され、支間・サグ比は4.2となり、従来のもの(3.0~3.5)に比べてやや大きい。また、公園内やゴルフ場に施工された吊床版と比較すると、設計活荷重や幅員も大きくなっている。これらのことと長支間であることにより、床版に作用する引張り応力は既往の吊床版橋に比べて著しく大きくなる。床版の引張り応力に対する設計を、ひび割れ幅を制限することで行った例<sup>5)</sup>もある。しかし、現在のところ軸方向引張り部材の設計手法について明確な基準がないことから、本橋ではコンクリートの引張り応力度を制限し、ひびわれが発生しない手法を採用している。なおコンクリートの許容引張応力度は常時15kgf/cm<sup>2</sup>、常時+温度変化で20kgf/cm<sup>2</sup>としている。また、本橋の横断面形状は、建設省土木研究所で実施された風洞実験の結果<sup>6)</sup>により、床版両側に正三角形のフェアリングを取り付けたものになっている。設計条件を表-1に示す。

表-1 設計条件

橋 格		歩 道 橋
形 式	上部工	単径間吊床版橋
	下部工	直接基礎
	基礎工	クランポン・アソカ-
活 荷 重	200 kgf/m <sup>2</sup>	
橋 長	172.6 m	
支 間 長	147.6 m	
幅 員	2.5-3.2 m	
基本 サグ量	3.5 m	
クリープ係数	2.0	
乾燥収縮度	1.5*10 <sup>-5</sup>	
コンクリート	$\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$	

## 3. プレストレスの導入方法と床版応力

### 3.1 プレストレスの導入方法

既設の吊床版橋は、兩岸に1次ケーブルを張り渡して、これを利用してプレキャスト床版を架設し、床版端部と橋台を結合した後、予め床版断面内に配置した2次ケーブルを橋台背面で緊張し、サグを強制的に変化させ軸線長の変化を与えることで床版にプレストレスを導入している。このプレストレスの導入方法は、原理が簡単で合理的な方法ではあるが、サグの変化を伴うことから①サグ変化による付加張力を2次ケーブルが負担する必要があるため緊張力が増加する、②床版端部に曲げ応力が発生する、などの問題点がある。床版に導入するプレストレスが小さい場合はこれらの問題は顕在化しないが、本橋では、支間・サグ比、幅員、設計活荷重が大きく、また長支間であるため、プレストレス力は支間部で約800tf必要である。このため従来の導入方法を用いるとサグ変化も大きくなり、これらのことが問題となる。

本橋では、プレストレス導入に伴うこれらの問題を解決するため、床版と橋台を結合する前に一般のPC桁と同様に、床版端面で2次ケーブルを緊張して床版にプレストレスを導入する方法を採用した。このプレストレスの導入方法は、曲線部材に対するものと原理的に同じであり、任意の断面内で曲げモーメントは自己釣り合い状態にある。この結果、サグが変化しないため付加張力や曲げ応力は発生しない。

### 3.2 床版の応力

ふれあい橋で採用したプレストレスの導入方法(Case-2)と、サグの変化を伴う従来の方法(Case-1)との床版応力の比較を行った。比較検討モデルを図-2に示す。Case-1の橋台位置は、Case-2の床版端部に設けた支承位置に対応しており、支間長は149.3mである。床版断面寸法や荷重ならびに鋼材量は、両者とも同一としている。

Case-1で導入するプレストレス量は、サグの変化による付加張力が作用するため、Case-2の緊張力より約200tf程度多くなり、これは、2次ケーブル1本分の張力に相当している。

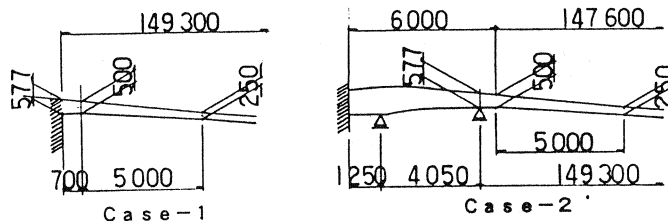


図-2 比較検討モデル

(1) サグの変化量

表-2は、Case-1とCase-2のサグ変化を比較したものである。なお、Case-2では1次ケーブルとしてアンボンドケーブルを用いるものとし、クリープ・乾燥収縮に全く関与しないものとした。計算結果によれば、Case-1ではクリープ・乾燥収縮によるものとほぼ等しいサグ変化が、プレストレスの導入によって生じている。したがって、床版と橋台を結合した後に生じるサグの変化量は、Case-2がCase-1の約40%になる。なお、クリープ・乾燥収縮によるサグ変化量は、鋼材比が大きいCase-1がわずかながら小さくなる。

(2) 支間部の床版応力

表-3は、支間中央の床版コンクリート応力度を比較したものである。表中のクリープ・乾燥収縮による応力度の上段はサグ変化に伴う付加張力、下段は断面内の応力移行による応力度を示している。

Case-1とCase-2を比較すると、プレストレス以外の応力度の値に有意な差はない。なお、プレストレスによる応力度の差は、プレストレス導入時のコンクリート換算断面積の差によるものである。

(3) 床版端部の曲げモーメント

表-4は床版端部の曲げモーメントを比較したものである。ここで、Case-1のプレストレス導入に伴う曲げモーメントは約110tfmとなり、これは死荷重時の曲げモーメントの82%、最大値となる死荷重+温度変化(降下)時の曲げモーメントの59%に対応する。また両案の曲げモーメントを比較すると、Case-2の死荷重時(クリープ乾燥収縮終了時)の曲げモーメントはCase-1の65%、常時の曲げモーメントは56%である。以上から、今回採用したプレストレスの導入方法によって、床版端部の曲げモーメントを大幅に低減することが可能になるといえる。

4. 床版構造と架設方法

4.1 支間部床版構造

ふれあい橋ではプレストレスの導入に伴う床版端部の曲げモーメントをなくすため、従来とは異なりサグの変化がないプレストレスの導入を採用している。この導入方法ではプレストレス導入時に1次ケーブル

表-2 サグの変化量 (m)

荷重	Case-1	Case-2	比
前死荷重	-	-	-
プレストレス	0.360	-	-
後死荷重	-0.083	-0.081	1.025
クリープ	0.318	0.327	0.972
乾燥収縮			
死荷重計	0.595	0.246	2.419

表-3 床版コンクリート応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

荷重	Case-1	Case-2	比
前死荷重	-	-	-
プレストレス	84.6	95.5	-
後死荷重	-21.7	-21.1	1.028
クリープ	-19.6	-32.4	0.605
乾燥収縮	-21.5	-11.1	1.937
死荷重計	21.7	30.9	0.702
活荷重	-28.4	-28.4	1.000
温度変化	-11.8	-11.8	1.000
活+温度	-40.6	-40.6	1.000
D + L	-6.7	2.6	-
D + T	9.9	19.1	0.518
D + L + T	-18.8	-9.6	1.958

(表中の符号は圧縮を正としている。)

表-4 床版端部の曲げモーメント (tfm)

荷重	Case-1	Case-2	比
前死荷重	-	-	-
プレストレス	110.70	-	-
後死荷重	-21.75	-24.55	0.886
クリープ	44.87	112.80	0.398
乾燥収縮			
死荷重計	133.82	88.25	1.516
活荷重	-29.47	-29.47	1.000
温度変化	54.19	54.19	1.000
活+温度	24.59	24.59	1.000
D + L	104.35	54.19	1.775
D + T	188.01	142.44	1.320
D + L + T	158.41	112.84	1.404

ルとコンクリートが付着していないことが必要となるため、本橋では1次ケーブルにアンボンドケーブルを用いている。使用するケーブルは、図-3示すように1次ケーブルには270tf(19φ11.1)を14ケーブル、また2次ケーブルには通常の320tf(12φ15.2)が7ケーブルである。

アンボンドケーブルは、完成後も床版コンクリートと付着しないが、床版自重を受けて鋼材とシースの間には摩擦力が作用しており、これがコンクリートのクリープ・乾燥収縮による自由な収縮を拘束すると考えられる。この摩擦力は、一般のPC橋のプレストレス導入時の摩擦と異なるものであり、摩擦係数の値が不明である。

本橋の設計では1次ケーブルの一部がボンドケーブルと同様にコンクリートと付着しているとして、摩擦の影響を考慮している。すなわちクリープ・乾燥収縮に対して1次ケーブルを無視した場合と、1次ケーブルの50%がコンクリートと付着した2ケースについて断面設計を行っている。なお、この2ケースではクリープ・乾燥収縮によるサグ変化量に75mmの差が、また床版応力度は死荷重時において、約8kg/cm<sup>2</sup>程度の差がある。

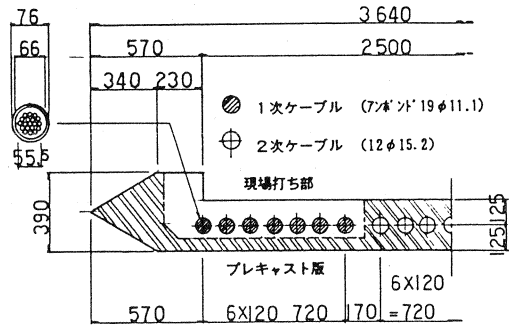


図-3 床版断面図

#### 4.2 床版端部構造

床版端部構造は、プレストレス導入の際に床版の移動を拘束しないようにすることが必要である。本橋では施工中、床版端部を橋台と分離した状態でスライド可能なゴム支承によって支持する構造としている。このゴム支承は完成後にもそのまま残り、完成後に作用する鉛直荷重を支持することになる。

本橋の橋台と床版は、プレストレス導入時には分離しているが、導入後は2次ケーブルを接続して橋台背面まで配置した後に剛結する構造にしている。床版を橋台に剛結した場合、クリープや乾燥収縮によって断面決定に支配的な2次不静定力が生じる。床版端部付近の完成時曲げモーメント分布を図-4に示す。これによるとモーメントの最大値は、支間側の支承上で生じ、橋台との結合部付近で符号が逆転する。この曲げモーメントに対して床版断面は、D25φ120~150mmの配筋で設計可能であった。

床版と橋台を分離して、2次不静定力を生じさせない構造では、床版厚を薄くすることが可能であり、また導入するプレストレス量も大幅に低減できることから、床版に対して有利である。しかし、伸縮装置および橋台と床版の継ぎ目部のケーブルの維持管理に問題がある。特に、本橋は完成後には地元甲山町に移管されることになっている。これらの維持管理の点を考慮して、本橋では完成時に床版と橋台を剛結する構造を採用している。

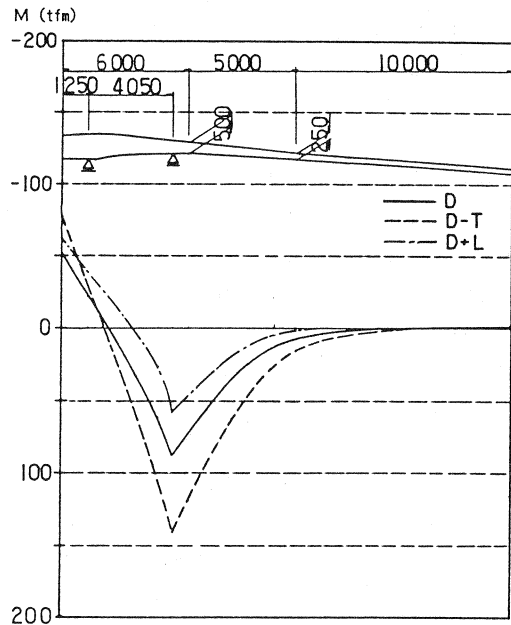
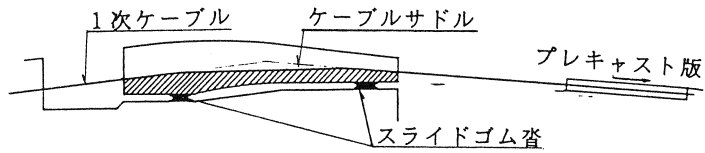


図-4 床版端部の曲げモーメント図

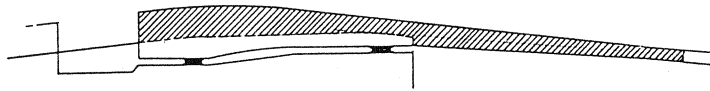
#### 4.3 架設方法

本橋の架設方法を図-5に示す。本橋では1次ケーブル架設前に橋台上にゴム沓に支持されたケーブルサドルを構築する。1次ケーブル架設から床版コンクリートの打設までは、既往の吊床版橋と全く同じ施工方法となる。プレストレス導入は床版端面で行い、プレストレス導入後に橋台と床版を剛結する。床版端面に定着した2次ケーブルは接続して橋台背面まで配置しておき、床版と橋台を剛結した後、橋台背面で再度緊張して、後打ち部にプレストレスを導入して一体化させることにしている。

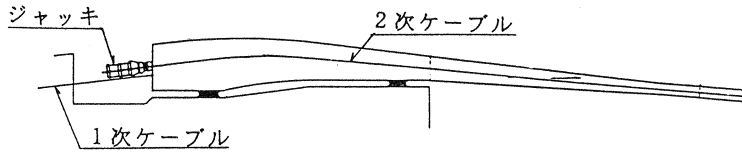
Step I 1次ケーブル架設、プレキャスト版架設



Step II 現場打ちコンクリート施工



Step III 2次ケーブル緊張



Step IV 2次ケーブル接続、後打ち部施工

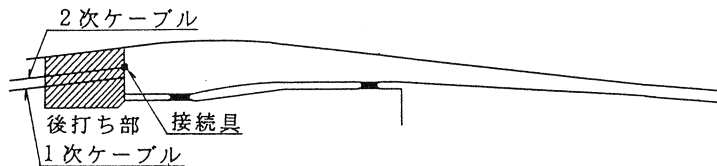


図-5 架設方法

## 5. まとめ

ふれあい橋の支間長はわが国最大である他、支間・サグ比、幅員、設計活荷重が従来の吊床版橋に比較すると大きく、床版に発生する引張力が非常に大きくなる。このため床版には大きなプレストレスを導入する必要がある。従来の吊床版橋で用いられたサグ変化を伴うプレストレス導入方法を採用すると、床版端部の曲げモーメントのうち、プレストレスによるものが80%以上(死荷重時)を占めることになる。したがって本橋では、一般のPC桁と同様に、床版端面でプレストレスを与えることによって、サグの変化が生じない導入方法を採用し、またこの方法を可能とする床版構造を検討した。この方法によって、床版と橋台を結合した後のサグの変化量は、従来の方法の約40%に、床版端部の曲げモーメントは約56%(常時)に低減することが可能となった。今回の設計から、本橋で採用したサグの変化のないプレストレスの導入方法は、長支間の吊床版橋に対してきわめて有効であることが明らかとなった。

今後は、今回提案したプレストレスの導入方法の他に、クリープや乾燥収縮を拘束しない床版端部構造や継ぎ目付近の細部構造、導入するプレストレスを減らすための床版の設計方法、耐風安定性に関する検討をすることによって、吊床版橋を本橋よりさらに長支間の歩道橋や本格的な道路橋へ適用することが可能になると考えている。

なお、本橋で使用する大容量のアンボンドケーブルの摩擦力がクリープ・乾燥収縮に及ぼす影響については、十分解明されていない。施工前にアンボンドケーブルの拘束力を明らかにするための摩擦試験を行い、この結果を設計、施工に反映させる予定である。

ふれあい橋は、本年10月には1次ケーブルの架設と、それに引き続きプレキャスト床版の架設を行い、平成8年春には完成する予定である。

## 謝 辞

本設計業務を行うに際し、建設省土木研究所 横山構造研究室長、佐藤構造研究室長、西川橋梁研究室長、岡原基礎研究室長(役職は設計当時)、建設省八田原ダム工事事務所の皆様のご指導をいただきました。また、新日本技研(株)技術総括取締役 高尾孝二博士にはプレストレス導入に関していろいろな助言をいただきました。ここに記して深謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 柴田, 山口, 牧野, 前田: PC吊床版橋 うさぎ橋の設計と施工, プレストレストコンクリート, Vol. 35, No. 1, pp14~21, 1993
- 2) 新井, 錦, 中村, 永井: 亀甲橋の設計, プレストレストコンクリート, Vol. 34, No. 2, pp7~17, 1992
- 3) 中沢, 今井, 赤木, 前田: 吊床版橋の力学特性に及ぼす取付部の構造形式の影響, コンクリート年次論文報告集, Vol. 16, No. 2, pp907~1002, 1994
- 4) 倉方, 高橋: 増分法による直平面骨組有限変位問題の直接的計算法, 土木学会年次学術講演概要集 [I], 1986
- 5) 上迫田, 徳山他: 千振湖橋(吊床版橋)の設計と施工, プレストレストコンクリート, Vol. 34, No. 4, pp7~13, 1992
- 6) 建設省土木研究所 構造橋梁部構造研究室: ふれあい橋の耐風性調査報告書, 土木研究所資料, 94号, 1993