

## (19) 3径間連続上路式吊床版橋の構造特性について

住友建設株式会社 正会員 近藤 真一  
 同 上 正会員 内田 誠二郎  
 同 上 正会員 〇齋 藤 謙一

### 1. まえがき

上路式吊床版橋は、比較的サグを大きくとった吊床版の上に、鉛直材を介して路面となる上床版を設けた形式の吊床版橋であり、1977年に単径間形式の速日峰橋が建設されている。また、上路式吊床版橋の応用形式として、方杖ラーメン橋の中央径間を上路式吊床版構造とした、コスタリカのリオコロラド橋が、1972年に建設されている<sup>1)</sup>。

多径間連続上路式吊床版橋は、上路式吊床版橋を橋脚を介して多径間連続構造とした形式であり、現在のところ実現してはいないタイプである。しかし、この形式の吊床版橋は、橋面の形状に制約されずに吊床版のサグを設定でき、張力をコントロールできること、および支保工を用いずに架設することができるため、地形条件に左右されずに経済的に建設が可能であることに加えて、径間長のバランスが悪い連続橋のケースで、桁橋や斜張橋などでは、合理的な構造を設定することが困難という問題のある場合でも、各径間の吊床版のサグを適切な値に設定することにより、この問題を解決することができるなどの特徴を有している。

このような多径間連続上路式吊床版橋の優位性に着目して、筆者らは、この形式を道路橋に適用する場合を想定し、この形式の最も基本的なタイプである3径間連続上路式吊床版橋の構造検討を行ってきた。

本論文は、この形式の設計上限界となる基本的な構造特性、および構造特性を向上させることができる機構などについて、検討結果の一部を報告するものである。

### 2. 検討の対象とした構造

#### 2.1 構造モデル

検討の対象とした3径間連続上路式吊床版橋の一般図を、図-1に示す。支間割りには、50m + 70m + 50mであるが、吊床版の支間としては、橋台および橋脚頭部の左右に吊床版受け梁が5mずつ張り出すため、40m、60m、40mとなる。構造モデルを図-2に示す。部材の結合条件は、鉛直材の上下端をピン結合とし、上床版端部と橋台および橋脚との結合条件を、比較検討モデルによって変えたほかは、すべて剛結合とした。吊床版は、形状を2次放物線とし、サグ・スパン比については、まず中央径間を1/10と設定し、橋脚に関して、死荷重作用時に左右の径間の吊床版から作用する水平力が釣り合うように、側径間を1/15.5と設定した。なお、橋体を構成する要素の名称を図-3に示す。

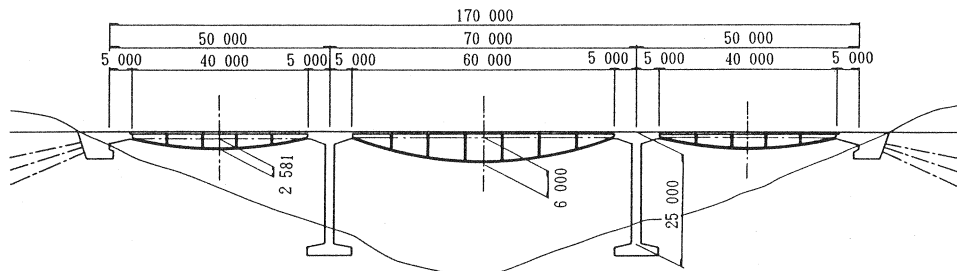


図-1 検討の対象とした3径間連続上路式吊床版橋

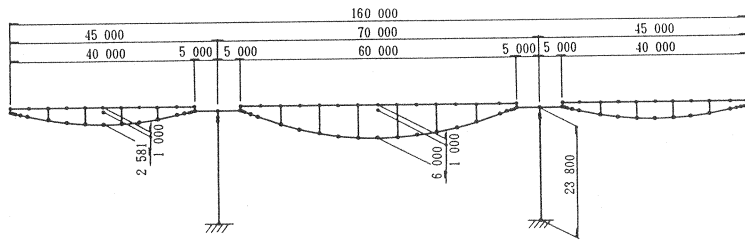


図-2 構造モデル

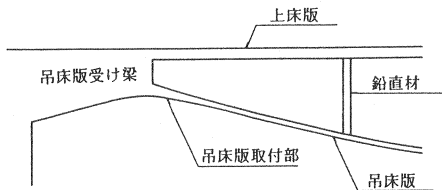


図-3 橋体を構成する要素の名称

表-1 主要部材の断面性能

部 材	断 面 積 A (m <sup>2</sup> )	断面 2次モーメント I (m <sup>4</sup> )	ヤング係数 E (kgf/cm <sup>2</sup> )
吊床版 (標準部)	1.6755	0.0080	3.1×10 <sup>5</sup>
鉛 直 材	0.8653	0.0060	3.1×10 <sup>5</sup>
上 床 版	2.8651	0.0400	3.1×10 <sup>5</sup>
吊床版受け梁	1000.0	1000.0	3.1×10 <sup>5</sup>
橋 脚	12.0828	3.0000	2.8×10 <sup>5</sup>

## 2.2 断面性能

主要部材の断面性能を、表-1に示す。橋脚頭部には剛域を設けている。吊床版取付部については、床版厚を漸増させている。

なお、死荷重作用時における吊床版ケーブルの張力は、コンクリートの単位体積重量を $\gamma=2.5\text{tf/m}^3$ 、静荷重強度を $1.95\text{tf/m}$ として有限変形理論により算出した(図-4)。

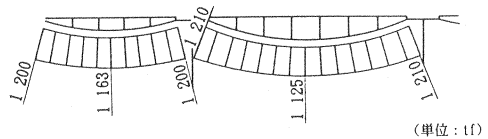


図-4 死荷重作用時における吊床版ケーブル張力

## 3. 上床版端部の結合構造の違いが構造特性に及ぼす影響

### 3.1 検討の目的

3径間連続上陸式吊床版橋においては、上床版端部が橋台および橋脚によって可動(一方のみピン固定)支持される構造が基本形と考えられる。しかし、振動特性や耐風安定性を向上させようとした場合には、構造全体の剛性を増加させることが必要になる。この全体剛性を増加させる手段として、ここでは上床版端部と橋台および橋脚の結合構造に着目して、静的特性の比較検討を行うこととした。

### 3.2 検討の方法

検討の対象とした構造モデルは、図-5に示すとおり、上床版端部結合構造などの異なる5種類のモデル(Model-1~Model-5)である。

検討は、この上床版端部結合構造以外は同一の構造モデルおよび荷重に対して、微小変形理論により解析を行い、これらの形式の構造特性の差を最もよく表し、かつ設計上限界となる特性値として、活荷重による吊床版の変位、温度変化により橋台に作用する水平力などを選び、これらの結果を比較した。

荷重は、Load-1:供用時活荷重(B活荷重相当)および Load-2:温度変化(上部構造のみ $T=-20^\circ\text{C}$ )の2種類である。図-6に活荷重の載荷方法を示す。

### 3.3 検討の結果

活荷重による吊床版の変位および吊床版取付部の曲げモーメントを図-7に示す。変位に対する検討は、側径間の吊床版の中で最大鉛直変位の生じる位置としている。吊床版の変位は、Model-1とModel-2では

33cm 程度と大きな値になっている。上床版を橋脚と剛結した Model-3 では半減し、上床版端部を橋台に剛結した Model-4 ではかなり小さな値になる。また、自定構造の Model-5 は、Model-4 と同様に小さな値になっている。吊床版取付部の曲げモーメントについても、変位と同様な傾向を示している。

次に、温度変化および活荷重により橋台に作用する水平力を図-8に示す。温度変化による水平力については、Model-1, 2, 3 は上床版端部が橋台に対して可動となっているために、ほとんど生じていない。逆に、Model-4 は上床版端部が橋台と剛結されているために、1800tf 以上も生じる結果となっている。活荷重による水平力については、Model-5 を除いてどのモデルでも差がなく、200tf 程度となっている。

すなわち、全体剛性が高く変形しにくい構造が必要とされる場合には、Model-4 あるいは Model-5 の採用が考えられるが、Model-4 は温度変化により大きな水平力が生じるため、設計が困難である。Model-5 は自定構造であるため、完成系では水平力の問題はないが、施工法を、先行して架設した吊床版を支保工として利用し、鉛直材および上床版を建て込む方法とする場合には、架設系における水平力の処理などが課題となる。

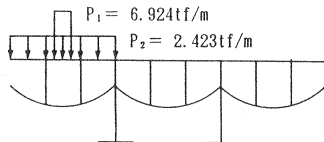


図-6 供用時活荷重の载荷方法

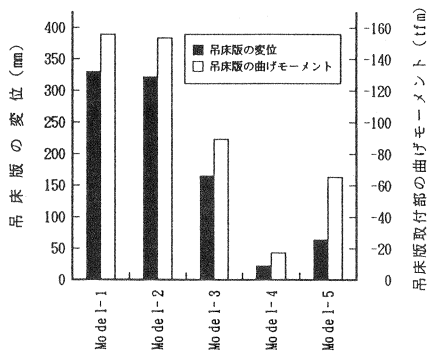
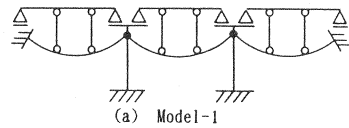
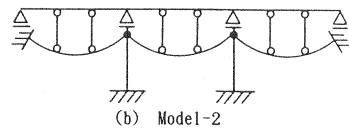


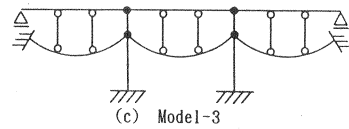
図-7 活荷重による吊床版の変位および曲げモーメント



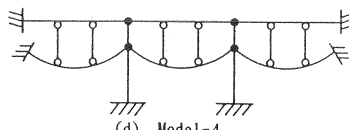
(a) Model-1



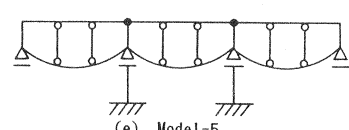
(b) Model-2



(c) Model-3



(d) Model-4



(e) Model-5

図-5 上床版端部結合構造の検討モデル

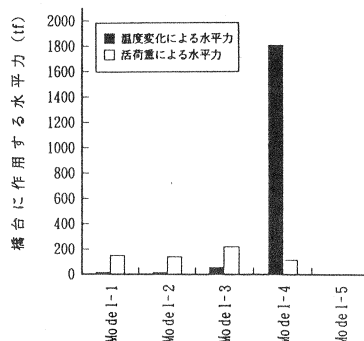


図-8 橋台に作用する水平力

#### 4. 上床版端部弾性結合構造の検討

##### 4.1 検討の目的

前項において、3径間連続上路式吊床版橋では、上床版端部を橋台に対して可動とした場合と、剛結とした場合と、構造特性に大きな差が生じることが明らかになったので、両者の中間の特性を有する構造として、上床版端部を橋台と弾性結合する形式を考え、この効果を検討することとした。なお、この上床版端部弾性結合構造としては、ゴム支承とPC鋼材を組み合わせた水平バネ機構を想定している(図-9)。

## 4.2 検討の方法

検討は、Model-6 によった(図-10)。上床版端部弾性結合構造のバネ定数(K)は9種類設定し、比較検討することとした。前項の Model-3 (K=0) および Model-4 (K=∞) も検討の対象に含めている。検討項目は前項と同一とした。

また、上床版端部弾性結合構造の全体剛性の増加に与える効果を把握するために、前項の Model-3 の上床版厚を変化させたモデルと、Model-6 との構造特性の比較 (Case-1)、および Model-3 の橋脚部材厚を変化させたモデルと、Model-6 との構造特性の比較 (Case-2) を行った。

## 4.3 検討の結果

### 4.3.1 上床版端部弾性結合構造の合理的なバネ定数

活荷重による吊床版の変位、および吊床版取付部の曲げモーメントを図-11に示す。これによると、Kが  $2.0 \times 10^2 \text{ tf/m}$  以下では、変位および曲げモーメントがかなり大きい値になるが、Kが  $2.0 \times 10^4 \text{ tf/m}$  以上では小さく抑えられる。

次に、温度変化および活荷重により橋台に作用する水平力を図-12に示す。これによると、温度変化により橋台に作用する水平力は、Kが  $2.0 \times 10^6 \text{ tf/m}$  以上では 1700tf 程度以上と大きくなり設計が困難となるが、Kが  $2.0 \times 10^4 \text{ tf/m}$  以下では 300tf 以下に抑えられる。また、活荷重により橋台に作用する水平力は、バネ定数にかかわらず比較的小さな値であり、設計上問題とならない。

すなわち、温度変化により橋台に作用する水平力がある程度小さく抑えながら、全体剛性を増加させるためには、上床版端部と橋台を弾性結合する構造が効果的であることがわかる。また、上床版端部弾性結合構造には合理的なバネ定数の範囲があり、これは構造規模によって異なると考えられるものの、今回の検討モデルでは、K =  $2.0 \times 10^4 \text{ tf/m}$  程度が適当な値となった。

### 4.3.2 上床版端部弾性結合構造の全体剛性増加に与える効果

Case-1 の、活荷重による吊床版の変位および吊床版取付部の曲げモーメントを図-13に示す。これによると、バネ定数が  $K = 2.0 \times 10^4 \text{ tf/m}$  である Model-6 と、変位および曲げモーメントを同程度にするためには、Model-3 では 2倍程度の上床版厚が必要であることがわかる。また Case-2 の、活荷重による吊床版の変位および吊床版取付部の曲げモーメントを図-14に示す。これによると、Model-6 と、変位および曲げモーメントを同程度にするためには、Model-3 では橋脚の部材厚を2倍以上にする必要があることがわかる。

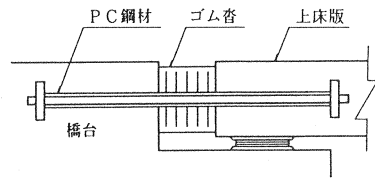


図-9 上床版端部弾性結合構造

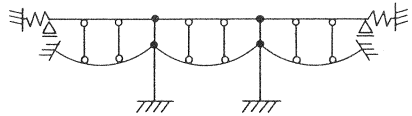


図-10 上床版端部弾性結合構造を有するモデル (Model-6)

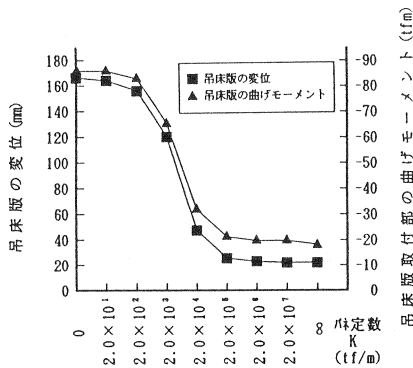


図-11 活荷重による吊床版の変位および曲げモーメント

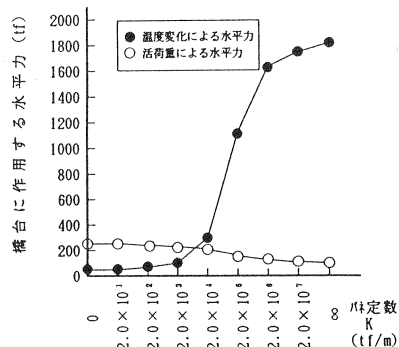


図-12 橋台に作用する水平力

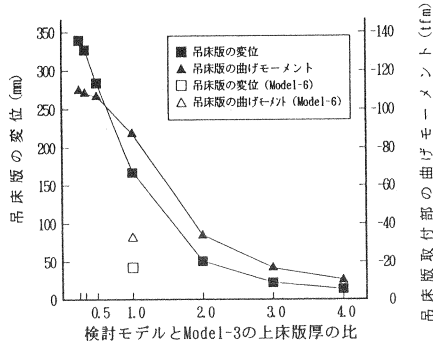


図-13 上床版厚が全体剛性に及ぼす影響

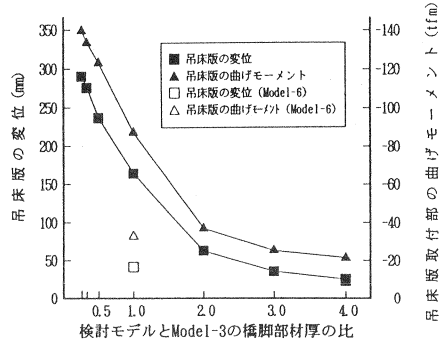


図-14 橋脚部材厚が全体剛性に及ぼす影響

## 5. 解析手法に関する検討

### 5.1 検討の目的

一般に吊床版橋の構造解析には、有限変形理論あるいはケーブル理論が用いられている。しかし、単径間上路式吊床版橋では、完成系においては微小変形理論を用いた設計が可能となることが報告されているが<sup>2)</sup>、連続タイプについて検討された例はないようである。そこで、完成系モデルに対して、有限変形理論と微小変形理論の解析結果の比較検討を行うこととした。

### 5.2 検討の方法

検討は、同一の構造モデルおよび荷重に対して、Case-1:有限変形理論(幾何剛性考慮)、Case-2:有限変形理論(幾何剛性無視)、Case-3:微小変形理論の3手法でそれぞれ解析を行い、橋台に作用する水平力、吊床版の変位、吊床版の曲げモーメントなどの結果を比較することとした。

構造モデルは、前項の Model-1, Model-4 および Model-6 の3種類を設定した。

荷重は、Load-1:供用時活荷重(B活荷重相当)、Load-2:終局時活荷重(供用時活荷重の2.5倍)、および Load-3:温度変化(上部構造のみ $T=-20^{\circ}\text{C}$ )の3種類を考慮した。

### 5.3 検討の結果

活荷重による吊床版の変位を表-2に示す。これによると、3つの解析手法の中では、いずれのモデルにおいても、微小変形理論による値が最大値を示し、有限変形理論(幾何剛性考慮)の値が最小値を示した。特に、Model-1では、供用時においてもその差が大きく、変位に関しては微小変形理論を適用することが適当でないと考えられる。活荷重による吊床版の軸力(表-3)、および活荷重による吊床版取付部の曲げモーメント(表-4)についても、吊床版の変位と同様なことがいえる。

温度変化により橋台に作用する水平力を表-5に示す。これによると、いずれのモデルも、有限変形理論(幾何剛性考慮)による値が最大となり、微小変形理論の値が最小となっている。

表-2 活荷重による吊床版の変位

		(単位: mm)					
Case	Model Load	Model-1		Model-6		Model-4	
		Load-1	Load-2	Load-1	Load-2	Load-1	Load-2
Case-1	有限変形理論 (幾何剛性考慮)	221	518	43	105	20	49
Case-2	有限変形理論 (幾何剛性無視)	310	701	47	113	21	52
Case-3	微小変形理論	333	832	48	120	21	53
	Case-3 Case-1	1.51	1.61	1.12	1.14	1.05	1.08

表-3 活荷重による吊床版の軸力

		(単位: tf)					
Case	Model Load	Model-1		Model-6		Model-4	
		Load-1	Load-2	Load-1	Load-2	Load-1	Load-2
Case-1	有限変形理論 (幾何剛性考慮)	128	324	356	881	392	978
Case-2	有限変形理論 (幾何剛性無視)	161	396	374	924	403	1003
Case-3	微小変形理論	165	413	378	945	403	1008
	Case-3 Case-1	1.29	1.27	1.06	1.07	1.03	1.03

表-4 活荷重による吊床版取付部の曲げモーメント

(単位: tfm)

Case	Model	Model-1		Model-6		Model-4	
	Load	Load-1	Load-2	Load-1	Load-2	Load-1	Load-2
Case-1	有限変形理論 (幾何剛性考慮)	-97	-225	-28	-66	-17	-42
Case-2	有限変形理論 (幾何剛性無視)	-146	-326	-31	-73	-19	-45
Case-3	微小変形理論	-158	-396	-32	-81	-19	-47
	Case-3 Case-1	1.63	1.76	1.14	1.23	1.12	1.12

表-5 温度変化により橋台に作用する水平力

(単位: t)

Case	Model	Model-1	Model-6	Model-4
Case-1	有限変形理論 (幾何剛性考慮)	22	318	1842
Case-2	有限変形理論 (幾何剛性無視)	14	297	1833
Case-3	微小変形理論	14	290	1809
	Case-3 Case-1	0.64	0.91	0.98

Model-4 および Model-6 の水平力については、解析理論による差は小さい。Model-1 についても、水平力の値そのものが小さいため設計実務上は問題にならない。

以上の検討より、Model-1 に関しては、活荷重による吊床版の変位、吊床版の軸力および吊床版の曲げモーメントの算出に微小変形理論を適用することが適当でない結果となったが、微小変形理論によって得られた各モデルの特性値の大小関係は、有限変形理論によるそれと整合しており、さまざまな構造モデルの特性を比較検討する場合には、微小変形理論によっても定性的な判断基準が得られることがわかった。

なお、活荷重載荷による特性値としては、側径間に全載したケースの結果のみ示したが、半載したケースでも同様な傾向が得られている。

## 6. まとめ

3径間連続上路式吊床版橋に関する構造検討を行った結果から、この形式の上床版端部結合構造の違いが構造特性に及ぼす影響などについて得られた知見を整理すると、以下ようになる。

- (1) 3径間連続上路式吊床版橋の、荷重による変形を小さくし、かつ温度変化により橋台に作用する水平力を低減させるためには、上床版端部と橋台との弾性結合構造、あるいは吊床版の水平反力を上床版にとらせた自定構造が有効である。
- (2) 3径間連続上路式吊床版橋における、上床版端部弾性結合構造のバネ定数には、温度変化により橋台に作用する水平力のある程度低減させながら、全体剛性を増加させることのできる範囲がある。
- (3) 本検討で取り上げた程度の規模の3径間連続上路式吊床版橋において、さまざまな部材結合条件を有する構造モデルなどを比較検討する際には、微小変形理論でも定性的な判断基準が得られる。
- (4) 上床版端部を橋台と弾性結合し全体剛性を増加させた構造では、完成構造系に対する設計で用いる断面力を、微小変形理論によって算出しても、設計上問題となるほどの誤差は生じない。

## 7. あとがき

本論文では3径間連続上路式吊床版橋の静的特性について述べたが、この形式を道路橋に適用するためには、ねじり特性や動的特性なども明確にしておく必要がある。上床版端部結合構造の違いは、これらの特性にも影響を及ぼすが、この点については稿を改めて報告したい。

## 参考文献

- 1) Lin, T. Y., and Kulka, F., Construction of Rio Colorado Bridge, Journal of the Prestressed Concrete Institute, Vol. 18, No. 6, pp. 92-101, November-December 1973
- 2) 甲斐・徳光・松下・荒川・別府・佐藤: 速日峰橋の設計と施工(その2), プレストレストコンクリート, Vol. 21, No. 5, pp. 30-43, 1979年10月