

## 吊床版橋の設計に関する一考察

オリエンタル建設(株) 本社第二技術部 正会員 ○坂西 馨  
 同上 同上 正会員 近藤 琢也  
 同上 同上 正会員 正司 明夫  
 同上 福岡支店技術部 正会員 角本 周

### 1. 目的

吊床版橋の設計では一般にケーブル理論により構造解析が行われているが<sup>1)</sup>、この理論は曲げ剛性よりも軸剛性が卓越する柔構造に適用できるものであり、特に吊床版端部の拘束度が高い場合には床版の曲げモーメントを過小評価する可能性がある。したがって、吊床版端部を剛結合により施工する場合には<sup>1)</sup>、厳密には有限変形理論による解析を行い、吊床版の支間中央の曲げモーメントを評価する必要がある<sup>2)・3)</sup>。一方、ケーブル理論による解析は有限変形理論による解析に比べて簡易であることから、設計方法として吊床版の曲げ剛性や端部の拘束度の影響を評価できる補正式を提示することが望まれている。そこで、本検討では特に支間中央に発生する曲げモーメントに着目し、有限変形理論とケーブル理論を用いたパラメトリック解析を行い、その結果を比較するものとする。

### 2. 解析モデル

図-1に対象とした吊床版橋の概略を示す。有限変形解析は汎用ソフト

「DIANA」を使用し、有限変形解析における解析モデルは、1次ケーブルをトラス要素、床版をはり要素、プレストレス導入用の2次ケーブルをはり要素内の埋込み鉄筋要素<sup>4)</sup>でモデル化した。解析段階を図-2に示す。解析は施工段階を考慮して1次ケーブル緊張(step1)、自重載(step2,step3)、2次ケーブル緊張(step4)、橋面荷重載荷、クリープ・収縮、活荷重、温度±15℃の段階解析を行った。吊床版部分の1次ケーブルに関する骨組み構造軸線は、吊支間を直線でモデル化する。荷重が載荷された後は、幾何学的非線形を考慮して解析しているため、変形を考慮した形状で解析が行われる。その後、床版コンクリートをモデル化し1次ケーブルと一体化させる。なお、本報告では、永久荷重作用時のサグが両理論で一致するように2次ケーブル緊張力を調整する。表-1に解析条件を示す。

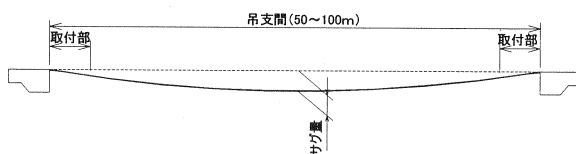


図-1 吊床版橋

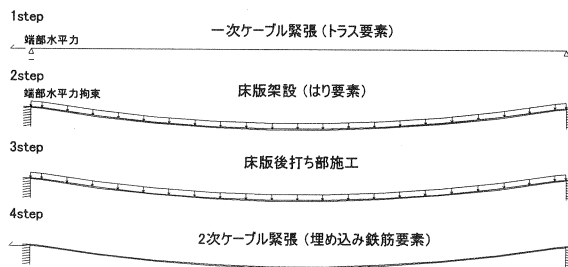


図-2 解析ステップ

表-1 解析条件

使用要素	吊床版	要素種類	3節点梁要素
		要素特性	非線形要素
		積分点	2×3
	1次ケーブル	要素種類	3節点トラス要素
		要素特性	弾性要素
		積分点	2点
2次ケーブル	要素種類	埋込鉄筋要素	
	要素特性	弾性要素	
	積分点	2点	
解析仕様	求解法	Newton-Raphson法	
	収束判定	残差エネルギー	
	解析手法	Total Lagrange法	

### 3. 解析ケース

表-2に、本検討の解析パラメータを示す。解析は吊床版の曲げモーメントへの影響が大きいと考えられる吊支間長・サグ比・断面剛性の3種類をパラメータとした。

吊支間長は50m~100mの範囲で設定した。サグ比は歩道橋設計における最大勾配12%とバリアフリーにおける最大勾配である8%を考慮して、本検討では1/50~1/33の範囲で3ケース設定した。解析は最初ケーブル理論により行い、有限変形理論について端部拘束条件を一般的な設計に用いられるピン結合と実構造物に則した剛結合の2種類を検討した。また、吊床版の断面形状は図-3に示す幅員2500mm・床版厚さ200mmとし、地覆の高さを変化させ、全高 $h$ を200~330mmの範囲で3ケース変化させることにより断面剛性を変化させた。吊床版断面は取付部を含めた全支間で等断面として解析を行った。

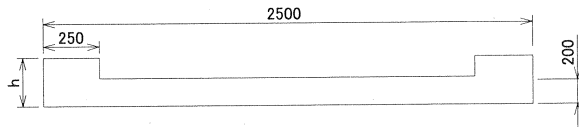


図-3 検討断面

表-2 解析パラメータ

	吊支間長	サグ比	断面剛性(h)		
	m	f/L	mm		
有限変形解析 (剛結合)	50	1/50	200	260	330
		1/40			
		1/33			
有限変形解析 (ピン結合)	75	1/50	200	260	330
		1/40			
		1/33			
ケーブル理論	100	1/50	200	260	330
		1/40			
		1/33			

表-2に示す解析パラメータの組合せについてケーブル理論を27ケース、有限変形理論については端部拘束条件をピン結合および剛結合とした各27ケース、全81ケースについて解析を行い、支間中央の曲げモーメントについての結果を比較した。

### 4. 有限変形理論とケーブル理論の比較

#### 4.1 比較1 (解析手法及び拘束条件の影響)

図-4に有限変形理論を用いた端部ピン結合および剛結合の解析結果とケーブル理論を用いた曲げモーメントを比較した結果を示す。図-4で比較する解析条件は、断面剛性 $h=200$ 、吊支間長50m、サグ比1/50とした。

端部拘束条件をピン結合した場合は、有限変形理論とケーブル理論による支間中央の曲げモーメントはよく一致している。一方、端部拘束条件を剛結合とした場合は、有限変形理論の支間中央の曲げモーメントが大きくなり両者に差が見られる。これは端部の拘束条件の相異が支間中央の曲げモーメントに影響を与えるためである。

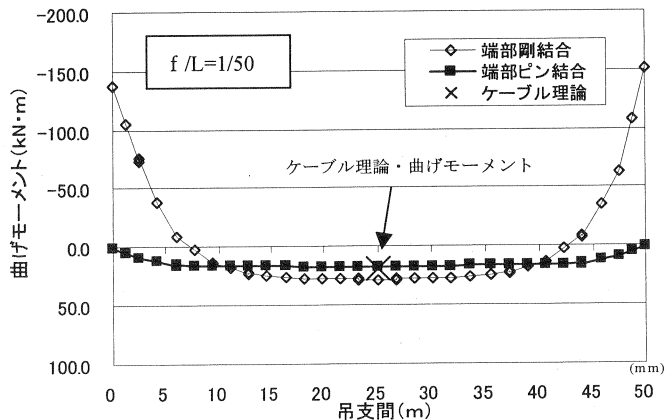


図-4 曲げモーメント分布

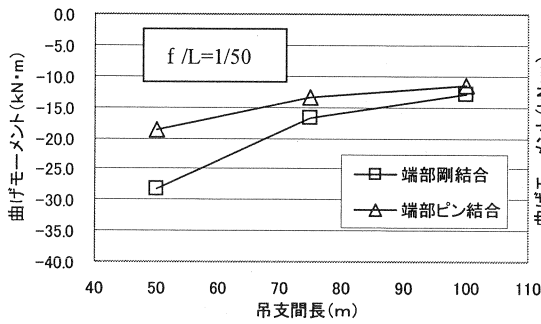


図-5 支間長の変化による比較

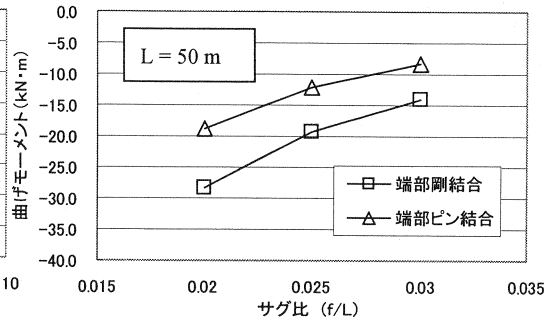


図-6 サグ比の変化による比較

#### 4.2 比較2 (吊支間・サグ比の影響)

図-5に支間長をパラメータとした解析結果を示す。比較する解析条件はサグ比1/50、断面剛性は $h=200\text{mm}$ とした。支間長が長くなるに従い、両理論の支間中央の曲げモーメントの値は近づく。これは吊床版端部の拘束条件が支間中央の曲げモーメントに与える影響が支間長が長くなるに従い小さくなるためと考えられる。図-6に示すサグ比を変化させた解析結果を示す。比較する解析条件は吊支間50m、断面剛性は $h=200\text{mm}$ とした。サグ比が小さいほど両理論の結果の差が大きくなるが、これはサグ比が小さくなると2次ケーブル緊張力に対するアーチ効果が小さくなるためと考えられる。

#### 4.3 比較3 (床版剛性)

図-7および図-8に、断面剛性をパラメータとして端部の拘束条件を剛結合とピン結合とした有限変形解析結果の比較を示す。吊支間50mおよび100mに対する曲げモーメント分布を示す。図-7および図-8に示す解析条件はサグ比1/50とした。

図-7に示すように、吊支間50mの場合では断面剛性が大きくなるにしたがい端部ピン結合との差が大きくなる。一方、図-8に示すように、吊支間100mの場合では吊支間50mに比べて断面剛性の変化による曲げモーメントの値の差は小さい結果となっている。

これは、吊支間が長ければ支間中央の曲げモーメントに対する端部の拘束条件の影響が小さくなり、かつ、吊支間に対して断面剛性が十分に小さいためにケーブル構造に近くなるためと考えられる。

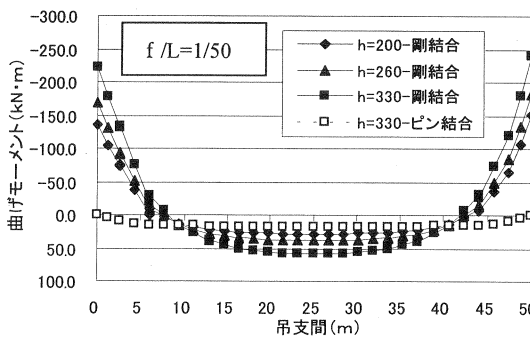


図-7 曲げモーメント分布 (支間50m)

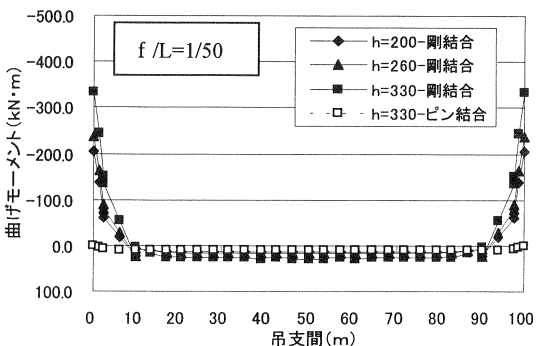


図-8 曲げモーメント分布 (支間100m)

4.4 比較4 (吊支間と剛性をパラメータとした考察)

図-9.1~9.3に床版の曲げ剛性を吊支間で除したパラメータ  $EI/L$  と支間中央の曲げモーメントの関係を示す。 $(E=3.1e7(kN/m^2))$ ここで、実線はケーブル理論による解析結果、点線は端部を剛結合した場合の有限変形理論による解析結果を線形回帰した結果である。

本検討範囲での支間中央の曲げモーメントは、パラメータ  $EI/L$  が  $7.0 \times 10^7$  程度以下であれば両理論による結果はほぼ一致する。また、同一のサグ比においては、両理論による解析結果は、それぞれパラメータ  $EI/L$  に線形比例して大きくなる。

5. まとめ

本検討では、吊床版橋の支間中央の曲げモーメントに着目し、有限変形理論とケーブル理論による解析結果の比較を行った。吊床版の支間中央の曲げモーメントは、端部の結合方法やサグ比、 $EI/L$ (曲げ剛性/吊支間)によっては有限変形理論とケーブル理論による解析で差が生じる結果となった。現在ケーブル理論が一般的に設計に用いられているが吊支間、断面剛性の値によっては、解析手法によって結果に大きな差が現れることが分かった。今後は、これらのパラメトリック解析の結果をもとに、ケーブル理論を設計に適用できる吊支間と断面剛性の範囲を明確にしていくことが必要であると考える。

参考文献

- 1) (社)プレストレストコンクリート技術協会, PC 吊床版橋設計施工規準(案), 2000.
- 2) 中沢他: 吊床版橋の力学的特性に及ぼす取付部の構造形式の影響, コンクリート工学年次講演論文集, Vol.16, No.2, 1994.
- 3) 町他: PC 吊床版橋の吊床版取付部形状に関するパラメトリック解析, 第11回PCシンポジウム論文集, 2001.
- 4) J.A.Figueirast and R.H.C.F. Póvoast: Modeling of prestress in non-linear analysis of concrete structure, Computer & Structure, Vol53, No.1, pp.173-187, 1994

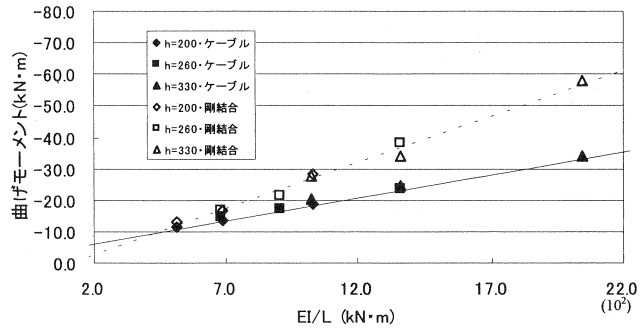


図-9.1 剛性支間比と曲げの関係 ( $f/L=1/50$ )

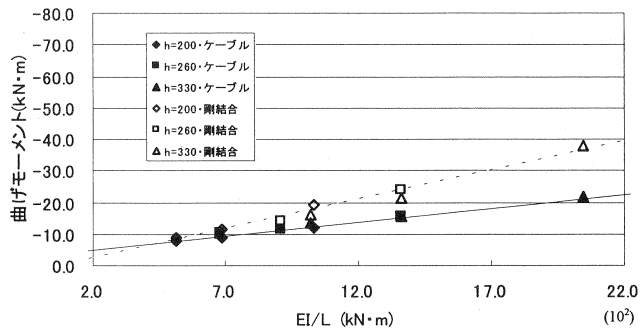


図-9.2 剛性支間比と曲げの関係 ( $f/L=1/40$ )

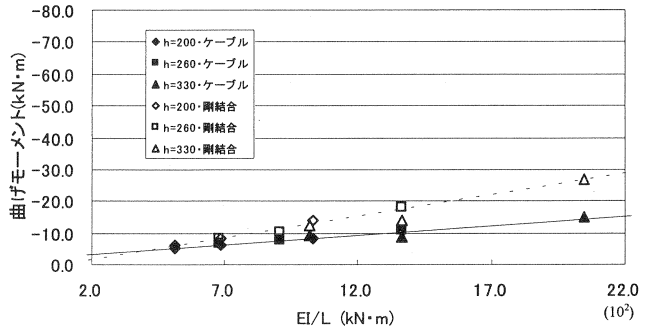


図-9.3 剛性支間比と曲げの関係 ( $f/L=1/33$ )