

(118) 上路式補剛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	石井祐二
同上	正会員	椎名教之
同上	正会員	水野克彦

1. まえがき

上路式吊床版橋は、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年に我が国で初めて単径間形式の速日峰橋が、1995年に多径間連続形式としては世界で初めての潮騒橋が建設されている。

上路式吊床版橋は、一般的な吊床版橋よりサグを大きくとれるので水平力を抑えられること、鉛直材の長さを調整することにより縦断線形を自由に設定できること、および部材が軽く、支保工、ケーブルクレーン、大型の重機などを使用せずに急速施工することができるため、積雪寒冷地における施工条件の悪い渓谷などでも合理的に建設が可能となることなどの特徴を有している。

しかし、吊床版橋はケーブル構造であることから全体剛性が低く比較的変形しやすいため、その供用性、耐風安定性などについては詳細な検討が必要とされる場合が少なくない。全体剛性を高めることができれば、構造特性は一般に良好なものとなり、これらの項目について詳細な検討をしなければならないケースも少なくなると考えられる。

このような着想から、筆者らは、上路式吊床版橋の全体剛性を高める方法として、鉛直材間（ここでは脚支間という）に鋼斜材を設けた上路式補剛吊床版橋を考案し、構造検討を行ってきた。

本論文は、この形式の設計上限となる基本的な静的特性、および動的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

検討の対象とした上路式補剛吊床版橋の概念を、図-1に示す。吊床版の支間は60mとし、有効幅員は6.5m（歩道なし）とした。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、上床版端部と橋台との結合部にはバネを設定し、バネ定数は比較検討モデルによって変えた。吊床版は、形状を2次放物線とし、サグ・スパン比は1/10に設定した。

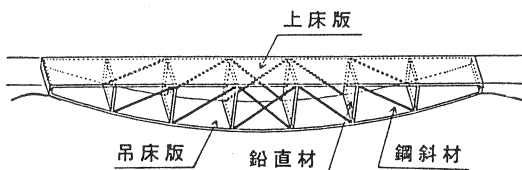


図-1 上路式補剛吊床版橋の概念

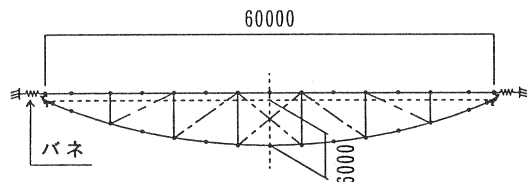


図-2 構造モデル

2.2 断面性能

主要部材の断面性能を、表-1に示す。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 1.95tf/m として有限変形理論により算出した(図-3)。

表-1 主要部材の断面性能

部材	断面積 A(m ²)	断面2次モーメント I(m ⁴)	ヤング係数 E(tf/m ²)
吊床版 (標準部)	1.6755	0.0080	3.1×10 ⁶
鉛直材	0.8653	0.0060	3.1×10 ⁶
上床版	2.8651	0.0400	3.1×10 ⁶
斜材	0.0030	0.0	2.1×10 ⁷

3. 斜材配置形態の違いが静的特性に及ぼす影響

3.1 検討の目的

上路式補剛吊床版橋における斜材の配置形態の違いが全体剛性に及ぼす影響を把握する目的で、静的特性の比較検討を行った。

3.2 検討の方法

検討の対象とした構造モデルは、図-4に示すとおり、斜材配置形態の異なる8種類のモデルである。斜材断面積はすべて一定である。上床版端部と橋台を結合するバネの定数は $K = 0$ としている。

荷重は、B活荷重相当の活荷重であり、図-5に示す方法で載荷した。

検討は、斜材配置形態以外は同一の構造モデルおよび荷重に対して有限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を選び、この結果を比較した。

ただし、ここでは初期張力による幾何剛性は考慮していない。

3.3 検討の結果

活荷重による吊床版の変位を、図-6に示す。変位に対する検討は、最大鉛直変位の生じる位置としている。

斜材を1対配置した場合 (TYPE 1シリーズ) では、最も橋台寄りに配置した場合 (TYPE 1-3) は変位が66mm生じており、斜材を配置しない場合 (TYPE 0) の67mmと比べて、全体剛性増加の効果がほとんどなかった。

また、2対配置した場合 (TYPE 2シリーズ) では、中央寄りに配置した場合 (TYPE 2-1) が40mmであり、他の場合に比べて全体剛性増加の効果があ

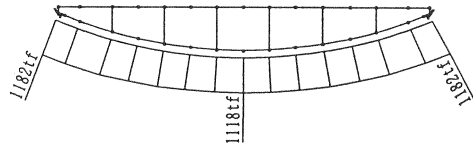


図-3 死荷重作用時における吊床版ケーブル張力

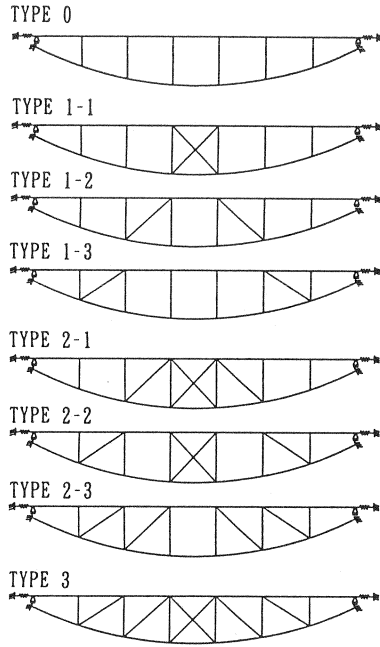


図-4 静的特性の検討モデル

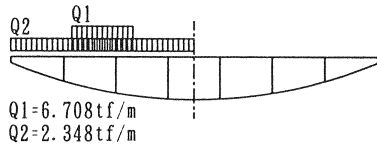


図-5 活荷重の載荷方法

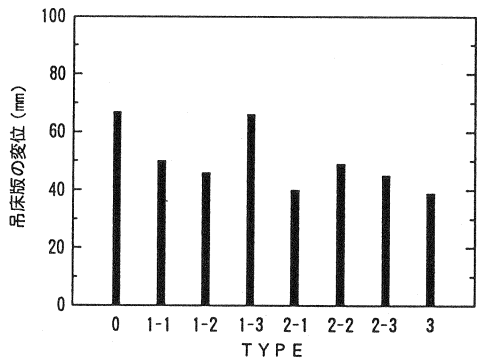


図-6 活荷重による吊床版の変位

た。

3対配置した場合 (TYPE 3) は、変位が39mmであり、すべてのタイプのなかで最も大きい剛性増加の効果が得られた。

4. 上床版端部弾性結合構造の効果

4.1 検討の目的

上路式補剛吊床版橋においては、上床版端部が橋台によって可動 (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、動的特性や耐風安定性を一層向上させようとした場合には、文献1)で示した上床版端部を橋台と弾性結合する構造 (図-7) を応用し、全体剛性をさらに増加させる手法が考えられる。

そこで、上床版端部と橋台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。

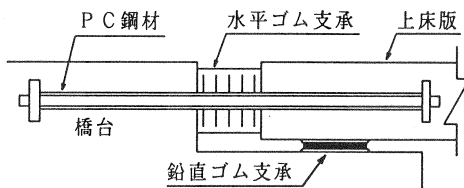


図-7 上床版端部弾性結合構造の概念

4.2 検討の方法

検討としては、上床版端部弾性結合構造の合理的なバネ定数に対する検討および弾性結合構造が全体剛性増加に与える効果に対する検討の2項目を行った。

合理的なバネ定数に対する検討は、図-4のTYPE 3についてバネ定数を変化させたモデルに対して、前項と同様な活荷重の載荷および全体温度変化 (-20℃) を考慮し、吊床版の変位および橋台に作用する水平力に着目して行った。

弾性結合構造が全体剛性増加に与える効果については、図-4の各モデルに対して活荷重を載荷し、吊床版の変位に着目して行った。解析方法は前項と同様な方法によった。上床版端部弾性結合構造のバネ定数は5種類設定し、比較検討することとした。

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を図-8に示す。これによると、バネ定数K (橋台1個所あたり) が 1.0×10^2 tf/m 以下では変位が大きい値になったが、 1.0×10^3 tf/m から 1.0×10^4 tf/m の間で大きく変化し、 1.0×10^5 tf/m 以上では小さく抑えられた。

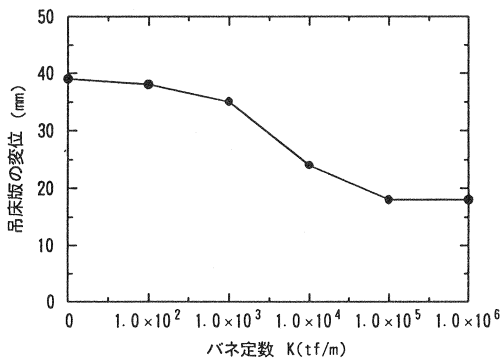


図-8 活荷重による吊床版の変位

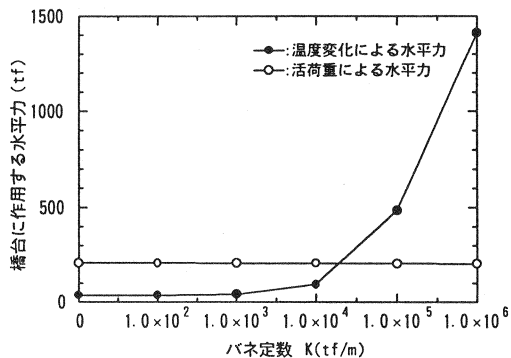


図-9 橋台に作用する水平力

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-9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 1.0×10^6 tf/mでは1400tf程度と大きくなり設計が困難となるが、 K が 1.0×10^4 tf/m程度以下では100tf以下に抑えられた。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、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がある程度小さく抑えながら、全体剛性を増加させることのできる合理的な範囲がある。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、 $K = 1.0 \times 10^4$ 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

図-4に示す各モデルにおいて、バネ定数を変化させた場合の活荷重による吊床版の変位を、図-10に示す。また、この時の弾性結合構造の効果を示すために、バネ定数(橋台1個所あたり)が $K = 0$ tf/mの場合と $K = 1.0 \times 10^4$ tf/mの場合の吊床版変位の比を、図-11に示す。

これによると、TYPE 1-3ではバネ定数が $K = 0$ tf/mの場合と $K = 1.0 \times 10^4$ tf/mの場合の吊床版変位の比は0.91にとどまっており、弾性結合構造の効果はみられなかった。

TYPE 2-1およびTYPE 3では、この比が0.63および0.62となり、弾性結合構造の効果がみられた。また、TYPE 3は変位が24mm ($K = 1.0 \times 10^4$ tf/m)と最も小さくなった。

これより、斜材の配置形態および上床版端部弾性結合構造のバネ定数を適切に設定することにより、合理的に全体剛性の増加を図ることができることがわかった。今回の検討モデルにおいては、上床版端部弾性結合構造のバネ定数を 1.0×10^4 tf/mとし、TYPE 2-1あるいはTYPE 3のような形態に斜材を配置することが合理的といえる。

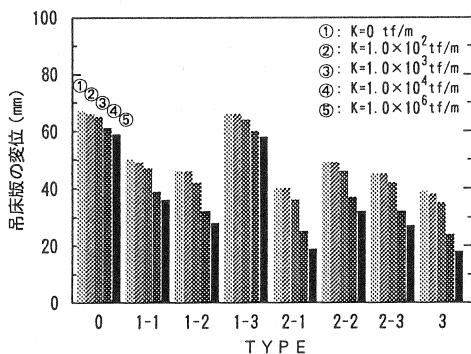


図-10 活荷重による吊床版の変位

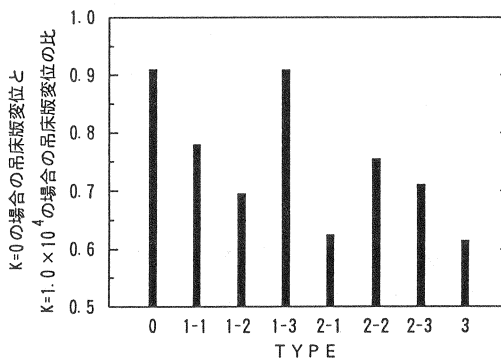


図-11 上床版端部弾性結合構造の効果

5. 斜材に付加する減衰が動的特性に及ぼす影響

5.1 検討の目的

上路式補剛吊床版橋の動的特性を改善するために、斜材に減衰を付加する手法を考案した。

ここでは、斜材に付加する減衰が、構造全体系の動的特性に及ぼす影響を把握する目的で、斜材配置形態の違いおよび減衰を付加する斜材の違いが構造減衰に及ぼす影響について比較検討を行うこととした。

図-12に、斜材に減衰を付加する機構の概念を示すが、これは文献2)で紹介された制振ダンパーと同様の機能を有するものを想定している。

5.2 検討の方法

検討は、図-4に示した構造モデルにおいて、減衰を付加する斜材を変えた13種類のモデル(図-13)に対しての全体構造系の対数減衰率を求めて比較した。減衰を付加する斜材は1対としたが、TYPE 3については、比較のためにすべての斜材に減衰を付加したケースを検討に加えた。

解析は、初期張力による幾何剛性を考慮した複素固有値解析によった。

上床版端部弾性結合構造のパネ定数は、 1.0×10^4 tf/m、斜材断面積は 0.003m^2 、1段の斜材に付加する要素構造減衰定数は0.2とした。その他の要素の減衰は考慮していない。

5.3 検討の結果

各モデルの1次モード(逆対称モード)と2次モード(対称モード)の全体構造系の対数減衰率を図-14に示す。

TYPE 1-1は、1次モードに対して約0.02の対数減衰率を示したが2次モードではまったく効果がなかった。逆に、TYPE 1-3では1次モードでは効果が現れなかったが、2次モードでは約0.03の値を示した。

一方、TYPE 1-2, 2-1-2, 2-3-1, 3-2, 3-4は1次モードおよび2次モードに対して効果を現し、対数減衰率で約0.04の値となった。

減衰を付加する斜材を1対に限った場合、今回の検討モデルでは、低次モードに着目すれば中央から2番目の脚支間の斜材に減衰を付加することが最も効果的となった。

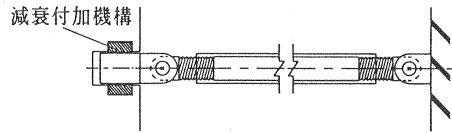
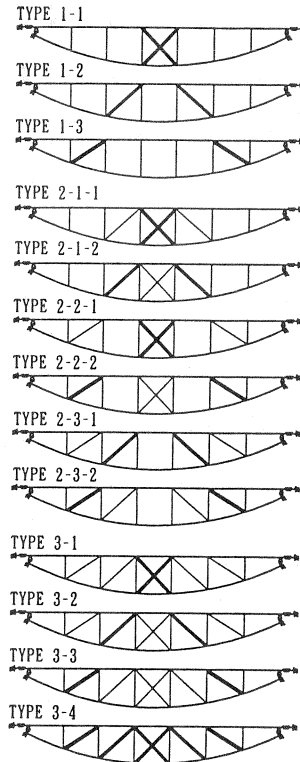


図-12 斜材に減衰を付加する機構の概念



注) 太線は減衰を付加した斜材
図-13 動的特性の検討モデル

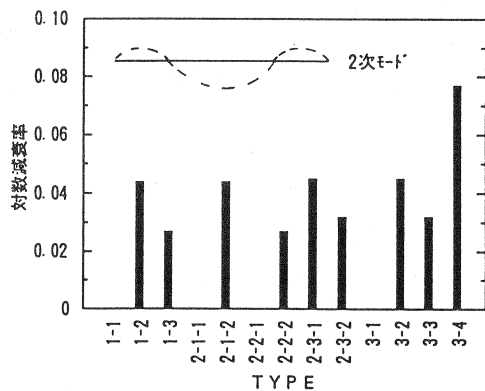
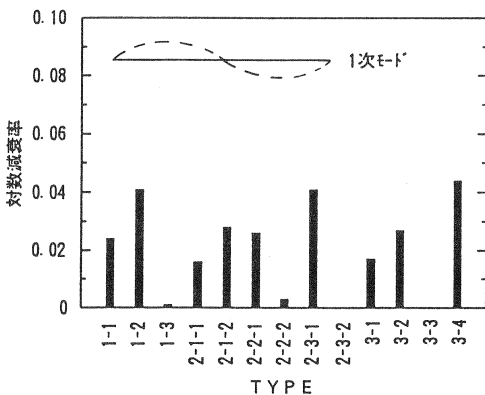


図-14 全体構造系の対数減衰率

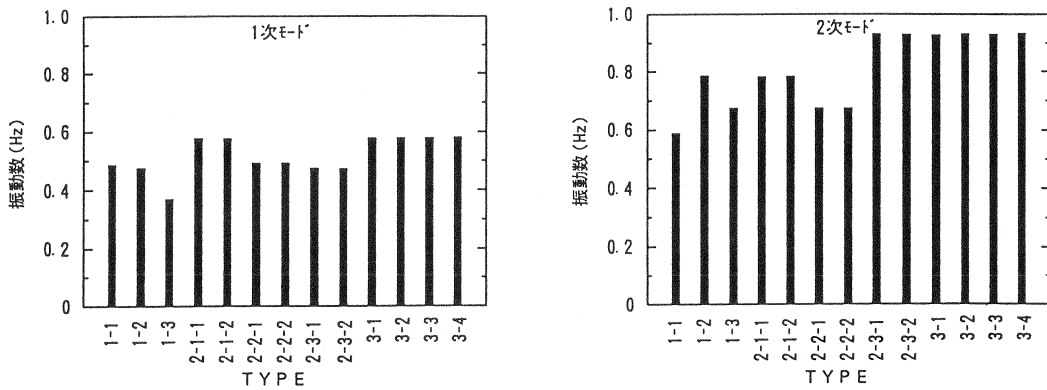


図-15 固有振動数

各モデルの1次モードと2次モードの固有振動数を図-15に示す。TYPE 3シリーズについては、各タイプの斜材配置が同一のため固有振動数に変化がなかったが、その他のシリーズについては、各タイプごとに斜材配置が異なるため若干の変化が見られた。

6. まとめ

上路式補剛吊床版橋に関する構造検討を行った結果から得られた知見を整理すると、以下のようになる。

- 1) 上路式吊床版橋の鉛直材間(脚支間)に斜材を設けると、全体剛性を高めることができる。
- 2) 斜材を配置する脚支間数が多いほど全体剛性が高くなるとは必ずしもいえないが、今回のモデルでは3対配置したものが最も効果的であった。
- 3) 斜材を適切に配置した上路式補剛吊床版橋では、上床版端部を橋台と弾性結合することにより、さらに全体剛性を高めることができる。
- 4) 上床版端部弾性結合構造のバネ定数には設計上、合理的な値の範囲がある。今回の検討モデルでは、 $K = 1.0 \times 10^4$ tf/m程度(橋台1個所あたり)となった。
- 5) 斜材に減衰を付加することにより全体構造の動的特性を改善することが可能である。1対のみの斜材に減衰を付加する場合は、今回のモデルでは中央から2番目の脚支間に配置された斜材に減衰を付加することが効果的であった。

7. あとがき

本論文では上路式補剛吊床版橋の静的および動的特性について述べたが、この形式を本格的な道路橋に適用するためには、走行荷重シミュレーションなども行っておく必要がある。この点については稿を改めて報告したい。

参考文献

- 1) 近藤・内田・齋藤：3径間連続上路式吊床版橋の構造特性について、プレストレストコンクリート技術協会第4回シンポジウム論文集, pp99-104, 1994年10月
- 2) 平井・水田・樋渡・緒方：PC吊床版橋の振動特性について、プレストレストコンクリート技術協会第4回シンポジウム論文集, pp91-94, 1994年10月