

(117) 外ケーブルを併用した吊床版橋の構造特性

オリエンタル建設(株) 技術部 正会員 ○角本 周
 同上 福岡支店 正会員 重信 孝臣
 同上 東京支店 正会員 須田 勤

1. はじめに

PC吊床版橋は、ドイツのU. Finsterwalder博士によって提案された、吊橋の吊ケーブルと補剛桁が一体となった形式の橋梁である。国内でも1980年代末からゴルフ場の歩道橋を皮切りに架設数が増加し^{1)~3)}、現在では50橋近くの実績がある。この形式の橋梁は、軽快な曲線ラインが景観的に優れる、短期間に施工可能である、施工が桁下条件に左右されない等の理由により、今後も架設数は増加するものと思われる、さらに、支間150~200m クラスへの長支間化や道路橋への適用が要望されている。

吊床版橋を長支間化する場合、その構造上、以下のような問題が設計上の制約となってくる。

- ① ねじれ振動数が低くなることから、フラッター振動の発現風速が設計風速を満足しない場合がある。
- ② 下部工への作用水平力が増大することから、地質条件の制約を受け下部工費が割高となる。
- ③ 活荷重等により発生する引張力が増大し、床版へのプレストレス導入レベルを大きくする必要あることから、2次ケーブルの床版内配置が困難となる。

また、小規模吊橋にて考慮する必要がある軽車両程度の交通⁴⁾を吊床版橋においても可能とするには、縦断勾配や振動特性の改善が必要となってくる。本文は、このような問題に対処する形式として、外ケーブルを併用した吊床版橋(以下、外ケーブル併用吊床版橋)を提案し、その構造特性を検討したものである。

2. 外ケーブル併用吊床版橋の構造概要

外ケーブル併用吊床版橋とは、従来形式の吊床版橋では床版断面内に配置していたプレストレス導入用の

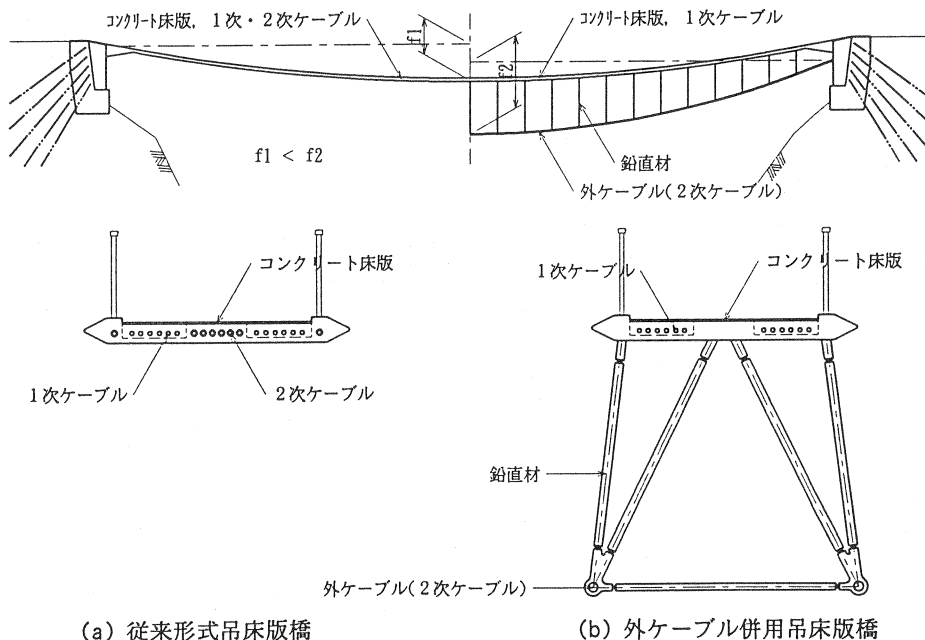


図-1 従来形式の吊床版橋および外ケーブルを併用した吊床版橋

2次ケーブルを、鋼またはコンクリート製の鉛直材を介して床版外部に設置、外ケーブル化したものである。外ケーブル併用吊床版橋の構造概要を図-1に、完成予想図を図-2に示す。

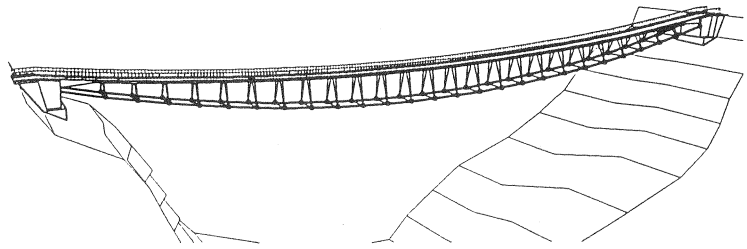


図-2 外ケーブル併用吊床版橋の完成予想図

吊床版橋の長支間化において最も問題となるフラッター振動に対する対処方法としては、以下の3つの方法が考えられる。

- ① 耐風索等の設置により、構造的にねじれ振動数を高くする。
- ② 床版断面の空力特性を改善し、空力減衰を増加させる。
- ③ 制振装置を設置し、振動の発現を抑制する。

このうち、②はフェアリングの設置など現在でも実施している方法であるが⁵⁾、床版断面が六角形となることから、渦励振に対する空力特性を低下させる場合もある。③はアクティブ・マス・ダンパーにより振動を制御する方法⁶⁾などが考えられるが、フラッター振動という破壊に至る振動に対しては、機械装置の長期的信頼性の点で問題が残っている。よって、①の構造的にねじれ振動数を高くする方法が可能であれば、現時点では最も有効な方法であると考えられる。

ねじれ振動数を構造的に高くするには、図-3に示すように、①耐風索方式および②外ケーブル併用方式の2種類の方法が考えられる。小規模の吊橋で一般的に用いられているのは、①の耐風索方式である。一方、立体トラスを形成しねじれ剛性を増加させるのも1つの方法であり、②の外ケーブル併用方式は、吊床版に外ケーブルおよび鉛直材を加えて立体トラス構造を形成するものである。

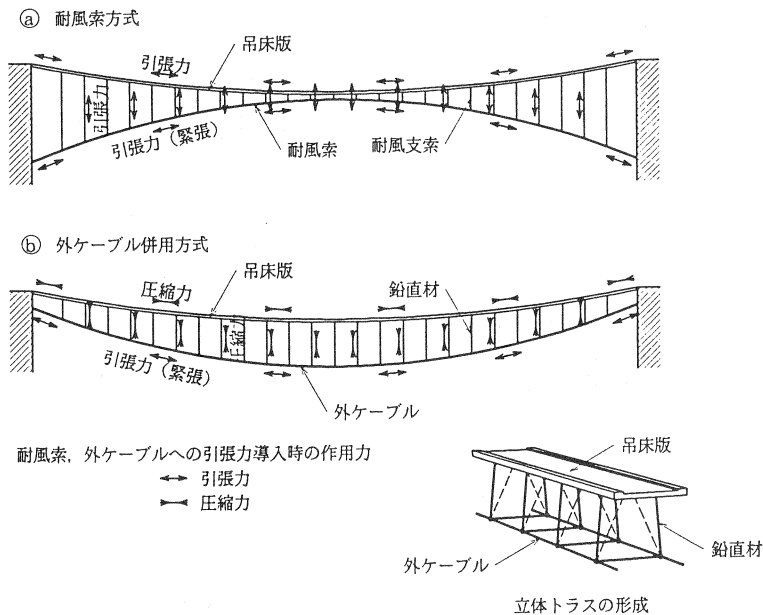


図-3 ねじれ振動数を構造的に高くする方法

耐風索方式に対する外ケーブル併用方式の長所を以下に示す。

- ① 耐風索や外ケーブルには、剛性を確保するために適当な初期張力を作用させる必要がある。耐風索方式では、耐風索に張力を導入すると吊床版に引張力が作用し、下部工に作用する総水平力が増加する。一方、外ケーブル併用方式では、外ケーブルに張力を導入すると吊床版に圧縮力が作用し、外ケーブルのサグが吊床版のサグに比べて大きい場合では下部工に作用する総水平力が減少する。
- ② 外ケーブル併用方式では、外ケーブルに張力を導入すると吊床版に圧縮力が作用することから、床版内にプレストレス導入用の2次ケーブルを配置する必要がなくなる。つまり、ねじれ振動数を高めるための外ケーブルが、2次ケーブルの役割を兼ね備えることとなる。また、外ケーブルにプレハブケーブルを使用する場合にはグラウト工が不要となり、将来的に再緊張が可能であることから維持管理においても有利となる。

つまり、外ケーブル併用方式は、フラッター発現風速の向上のみならず、下部工への作用水平力の低減および2次ケーブルの配置という問題に同時に対処した、吊床版橋の長支間化に適した構造形式の橋梁である。

3. モデル検討例

外ケーブル併用吊床版橋の構造特性を検討するために、従来形式の吊床版橋および外ケーブル併用吊床版橋の試設計を行った。主要設計条件は以下。

- 橋 種：歩道橋
- 支 間：150.0 m
- 床版サグ：L/30～L/50
- 外ケーブルサグ：L/20
- 有効幅員：2.5 m
- 活 荷 重：200 kgf/m²
- 温度変化：15 °C
- コンクリート： $\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$
- P C 鋼 材：SWPR7B, $\phi 15.2$

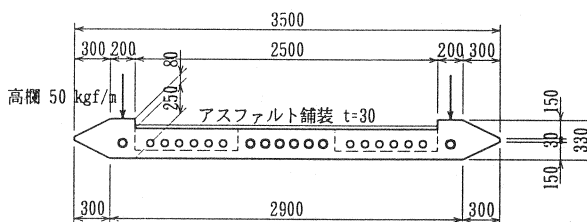


図-4 モデル橋梁の床版断面

なお、橋台前面における床版と外ケーブルのレベル差は1.5mとした。図-4にモデル橋梁の床版断面を示す。

表-1 従来形式吊床版橋設計結果

吊床版サグ比	床版応力度		鋼材応力度*		鋼材構成	
	死荷重作用時	活荷重+温度	1次ケーブル	2次ケーブル	1次ケーブル	2次ケーブル
1/30	32 kgf/cm ²	2 kgf/cm ²	75 kgf/mm ²	97 kgf/mm ²	8 x 12T15.2	4 x 12T15.2
1/40	41 kgf/cm ²	3 kgf/cm ²	73 kgf/mm ²	97 kgf/mm ²	10 x 12T15.2	6 x 12T15.2
1/50	44 kgf/cm ²	2 kgf/cm ²	69 kgf/mm ²	97 kgf/mm ²	12 x 12T15.2	8 x 12T15.2

* : 死荷重作用時

表-2 外ケーブル併用吊床版橋設計結果

吊床版サグ比	床版応力度		鋼材応力度*		外ケーブル 応力変動	鋼材構成	
	死荷重作用時	活荷重+温度	1次ケーブル	外ケーブル		1次ケーブル	外ケーブル
1/30	50 kgf/cm ²	19 kgf/cm ²	75 kgf/mm ²	68 kgf/mm ²	2.4 kgf/mm ²	8 x 12T15.2	2 x 31T15.2
1/40	54 kgf/cm ²	14 kgf/cm ²	73 kgf/mm ²	68 kgf/mm ²	3.7 kgf/mm ²	10 x 12T15.2	2 x 31T15.2
1/50	53 kgf/cm ²	6 kgf/cm ²	70 kgf/mm ²	68 kgf/mm ²	4.9 kgf/mm ²	12 x 12T15.2	2 x 31T15.2

* : 死荷重作用時

従来形式の吊床版橋は、活荷重+温度変化時において床版に軸引張力が作用しないよう、また、外ケーブル併用吊床版橋は、死荷重作用時に外ケーブルが全死荷重の60%を負担するように設計した。表-1に従来形式吊床版橋の、表-2に外ケーブル併用吊床版橋の設計結果を示す。外ケーブル併用吊床版橋においては、全死荷重の60%を負担する外ケーブルの張力で、活荷重+温度変化時においても床版に軸引張力が作用しないレベルのプレストレスが導入されており、床版断面内のプレストレス導入用の2次ケーブルを必要としない結果となった。外ケーブルは、今回の検討ではプレハブケーブルの使用を考慮して鋼線数を設定したため、鋼材応力度に余裕がある結果となった。従来形式吊床版橋の2次ケーブルの構成および鋼材応力度と比較すると、外ケーブル併用吊床版橋は、従来形式吊床版橋に比べてPC鋼材量も低減できるものと考えられる。

表-3に、橋台への作用水平力を示す。外ケーブル併用吊床版橋は従来形式吊床版橋に比べて、作用水平力が15~30%程度低減されており、下部工工費の低減が図れるものと考えられる。

表-3 橋台への作用水平力

吊床版サグ比	従来形式		外ケーブル併用		外ケーブル併用/従来形式	
	死荷重作用時	活荷重+温度	死荷重作用時	活荷重+温度	死荷重作用時	活荷重+温度
1/30	1370 tf	1663 tf	1164 tf	1449 tf	0.85	0.87
1/40	1826 tf	2207 tf	1358 tf	1727 tf	0.74	0.78
1/50	2283 tf	2730 tf	1551 tf	1989 tf	0.68	0.73

表-4に、活荷重による最大たわみ量を示す。外ケーブル併用吊床版橋は従来形式吊床版橋に比べて、最大たわみ量が15%程度低減されている。

表-4 活荷重による最大たわみ量

吊床版サグ比	従来形式	外ケーブル併用
1/30	80 mm	68 mm
1/40	125 mm	105 mm
1/50	166 mm	140 mm

図-5に、従来形式吊床版橋および外ケーブル併用吊床版橋の、フラッター振動に関連するねじれ振動モードを示す。なお、従来形式吊床版橋ではねじれと水平動が連成するモー

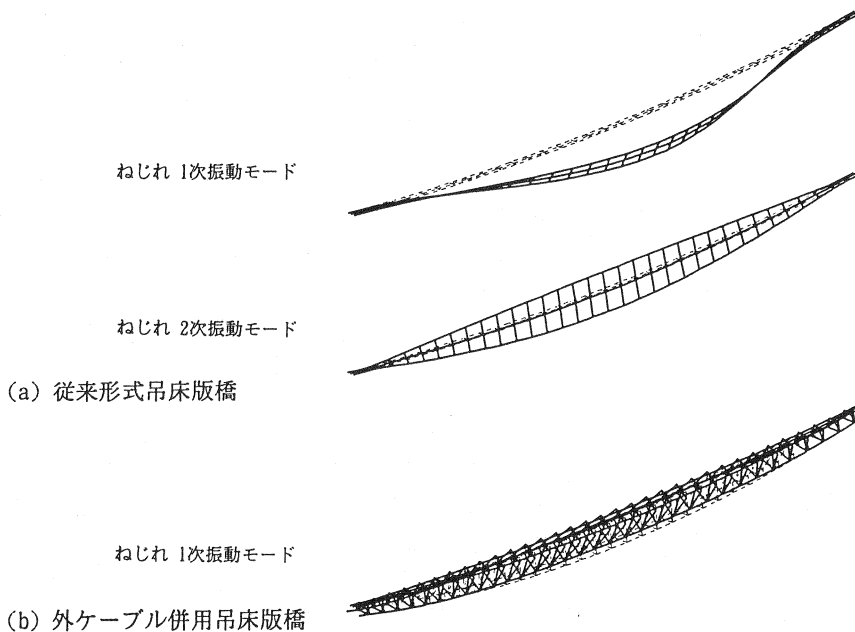


図-5 ねじれ振動モード

ドとなっており⁷⁾、低次のモードの方は水平動成分がより卓越しているが、フラッター振動に対する影響は不明であるので、ここでは、ねじれ振動モードとして扱うこととした。外ケーブル併用吊床版橋のねじれ振動数は、従来形式吊床版橋のねじれ1次振動数の2.5~3.0倍となっており、鉛直材や外ケーブルが空力特性に影響を与えないとすると、フラッター発現風速も2.5~3.0倍に増加することとなる。

表-5 ねじれ振動モードの固有振動数

吊床版サゲ比	従来形式		外ケーブル併用		外ケーブル併用/従来形式	
	ねじれ1次* fo1	ねじれ2次* fo2	ねじれ1次 fel	fel/fo1	fel/fo2	
1/30	0.62 Hz	1.54 Hz	1.78 Hz	2.87	1.16	
1/40	0.66 Hz	1.41 Hz	1.76 Hz	2.67	1.25	
1/50	0.69 Hz	1.35 Hz	1.78 Hz	2.58	1.32	

* : 水平動連成モード

4. 施工方法

外ケーブル併用吊床版橋は、従来形式の吊床版橋と同様にプレキャスト版を用いたスライディング架設工法(図-6)により施工することが可能である^{2), 3)}。この工法を用いることで、橋梁下空間の条件に左右されず短期間での施工が可能となる。

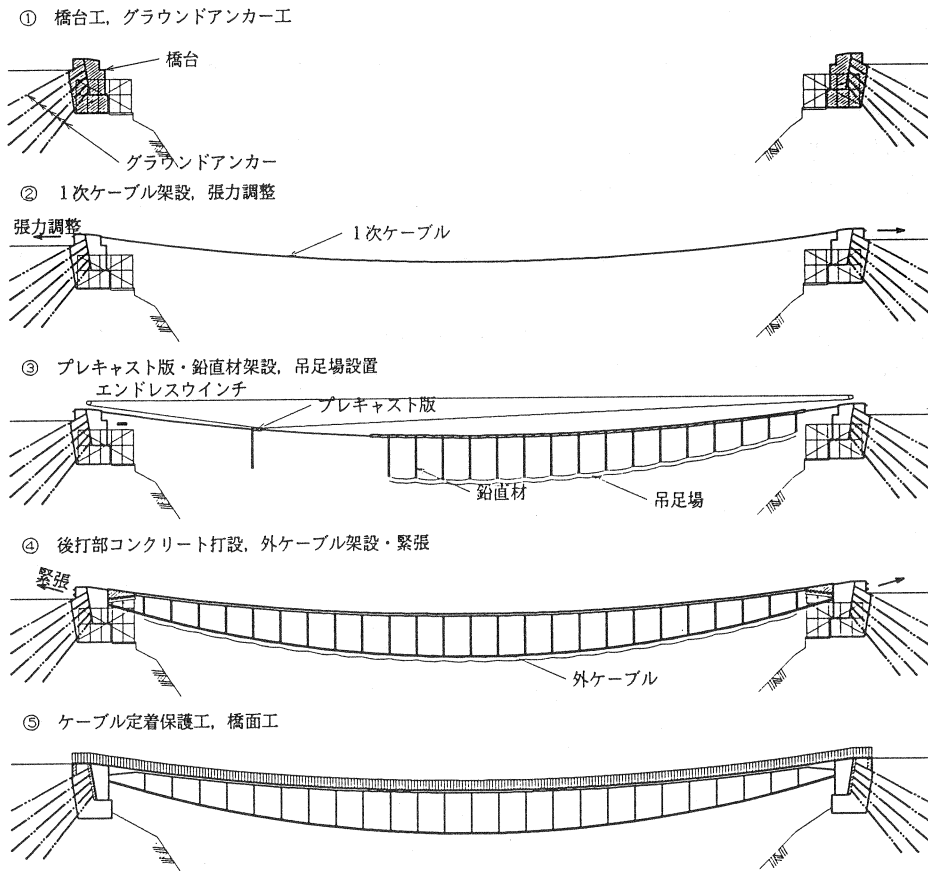


図-6 外ケーブル併用吊床版橋の施工概要

5. まとめ

吊床版橋の長支間化に対処する構造形式として、外ケーブルを併用した吊床版橋を提案した。外ケーブル併用吊床版橋の特徴を以下に総括する。

- 1) 外ケーブルのサグを吊床版のサグよりも大きく設定することで、下部工への作用水平力を従来形式の吊床版橋の60~90%に低減でき、より広範囲の地質条件に対応できる。
- 2) 下部工への作用水平力を同一とした場合では、従来形式に比べてサグを小さくし縦断勾配を低減できる。
- 3) ねじり振動特性が改善されることから、フラッター振動の発現風速が増加し耐風安定性が向上する。
- 4) 2次ケーブルを床版断面外に配置することからケーブル配置本数の制約が無くなり、また、再緊張が可能であることから維持管理上有利となる。
- 5) 2次ケーブルにプレハブケーブルを使用することで、グラウト工が不要となる。
- 6) 施工方法は、従来形式の吊床版橋で用いられるスライディング架設工法が適用できる。

今回の検討により、外ケーブル併用吊床版橋の長支間化に対する適用性が確認された。今後、車両走行による振動特性、応力頻度特性等を検討し、道路橋への適用性を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 村上良丸・藤田義弘・長井健雄・藤元安宏：吊床版歩道橋「蜂の巣キャンプ場橋」の特性，プレストレストコンクリート，Vol. 27, No. 4, pp. 93~99, 1985年 7月
- 2) 則武邦具・板東富士夫・増井好明・熊谷紳一郎：吊床版橋の設計・施工，土木施工，Vol. 29, No. 3, pp. 19~25, 1988年 3月
- 3) 佐藤光儀・杉本久・須田勤：吊床版橋の設計・施工および静的載荷試験，橋梁と基礎，Vol. 24, No. 3, pp. 2~9, 1990年 3月
- 4) 日本道路協会：小規模吊橋指針・同解説，1984年 4月
- 5) 岩本政巳・尾関信行・藤野陽三・伊藤學：吊床版橋の耐風安定性について，土木学会第45回年次学術講演会講演概要集第1部，pp. 928~929, 1990年 9月
- 6) 岡林隆敏・小松正貴・角本周：H[∞]制御理論による吊床版橋のアクティブ振動制御，長崎大学工学部研究報告，Vol. 24, No. 43, pp. 249~257, 1994年 7月
- 7) 梶川康男・津村直宜・角本周：P C吊床版歩道橋の振動とその使用性，構造工学論文集，Vol. 36A, pp. 685~695, 1990年 3月