

(40) 張弦PC橋の特性について

ピー・エス 正会員 ○ 前田文男
 熊本大学 崎元達郎
 同上 伊藤 雪

1. はじめに

PC橋では表-1に示すように、中規模支間(50m~100m)において現在のところでは有効な構造形式に乏しい。50m スパンまでは、Tけた橋や支保工施工の箱けた橋も可能であるが、70m 以上になると片持張出施工の連続けた形式しかない。特に50m~100m スパンの単純けたについては有効な構造形式がない。

本研究では、建築の分野で主に屋根材として用いられている張弦梁に着目し、橋梁の分野への応用に関して検討を行った。ここではこの形式の橋梁を

「張弦PC橋」と呼ぶこととする。張弦PC橋は、昨今、省力化や工期短縮に有利で盛んに建設がされている外ケーブル橋の延長にあると考えられる。しかし、ほとんどの外ケーブル形式の橋梁がけた高の範囲でケーブルを偏心させているのに対し、張弦PC橋はけた高以上にケーブルを偏心させ、ケーブルの曲げ角による鉛直分力を有効に利用しようとするものである。

海外では、鋼橋で数橋の施工例があるが、コンクリート橋ではフランスの1橋のみである。

2. 問題点

力学的に力の流れが明快で長支間が可能な構造であるにも拘わらず、施工例が少ない理由としては以下のことが考えられる。

- a. 桁下空間を侵すため適用架設位置が限定される。
- b. 上路式であるため、斜張橋などと比べてランドマーク性に劣る。
- c. 終局時の破壊プロセスが明らかでない。
- d. 外ケーブルの疲労の問題。
- e. サドル部分などの構造細目の問題。
- f. 部材のディメンジョンなどの最適化の問題。
- g. 外ケーブル張力変動のたわみへの影響。
- h. ケーブルの振動、構造全体の振動特性。
- i. 架設方法、その他

これらの内、外ケーブルやサドルの問題については斜張橋やエクストラード橋など既存の技術の応用が可能と思われる。ここでは次に材料コストに着目し経済的ディメンジョンを模索すべき試算を行った。更にコンクリートのクリープが構造に与える影響を調べた。

表-1 PC橋の適応支間

	50					100				
プレテンけた										
中空床版										
単純Tけた										
合成けた										
単純箱けた										
連続箱けた(押出し)										
連続箱けた(支保工)										
連続箱けた(張出し)										

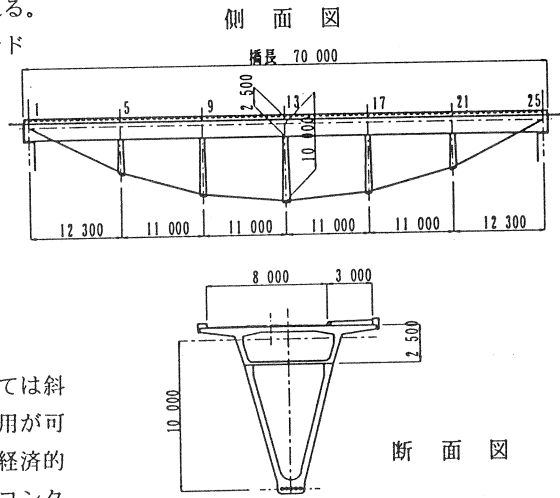


図-1 検討に用いたモデル橋梁

3. 経済的ディメンジョン¹⁾

橋長 70m のモデル橋梁 (図-1 参照) を想定し、各種パラメーターを変化させ (図-2, 3 参照) 材料コストを算出した (施工法に影響されるコストは除外)。外ケーブルの張力の許容値としては、エクストラドーズド橋などを参考にしてここでは $0.6 \cdot P_u$ とした。

使用したパラメーターは次の通り

主けた断面 (箱けた、中空床版、2主版けた)

けた高 (箱けたの場合 2.0~3.0m)

サグ量 (6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20m)

ストラット本数 (4本, 5本)

外ケーブル容量

外ケーブル容量は、断面積調整でなく実際にあるテンションを想定し、本数調整した。

結果としては、中空版・2主版けたでは断面剛性が小さく応力度の変動に対応できない。サグ量に関しては、サグ量が大きいくほど外ケーブルの本数は少なく済み経済的であるが、反面応力振幅が大きくなり逆に応力振幅から外ケーブルの容量が決定される。ちなみにここでの応力変動は、許容値が $0.6 \cdot P_u$ であることから斜張橋と比べ低めの 10 kgf/mm^2 を目安とした。また、サグ量が大きくなると、ケーブル角度の関係から外ケーブルによる軸力が減少しこのため内 P C 鋼材量が増加する。ストラット本数に関しては、4本、5本では明確な相違は見られなかった。しかし3本程度になるとかなりストラット間での曲げモーメントが大きくなり、ストラット本数の影響が生じると思われる。外ケーブルと内ケーブルの比は特に考慮しなかったが外ケーブルの単価が高く、その張力が構造全体に与える影響がかなり大きいため配置した外ケーブルを最大限利用することとし、不足する分を内ケーブルで補う形とした。

総括すると試算例では、図-4 に示すように箱桁でけた高 2.5m のサグ量 10m (スパン-サグ比 1/7)、けた高 2.7m サグ量 12m (スパン-サグ比 1/6) が経済的となった。外ケーブル ($P_u=720 \text{ t}$) の本数は、けた高 2.5m の場合 5本、けた高 2.7m の場合 4本である。

4. クリープに関して

張弦 PC 橋は、クリープ性状が異なるコンクリートと鋼材である外ケーブルから成り立つ複合構造であり、コンクリートのクリープが構造系全体に与える影響を熟慮しておかなければならない。

鋼構造物としての張弦梁はクリープによる変形がほと

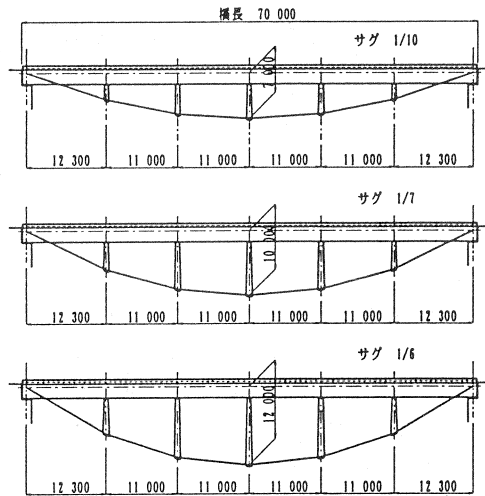


図-2 サグの変化

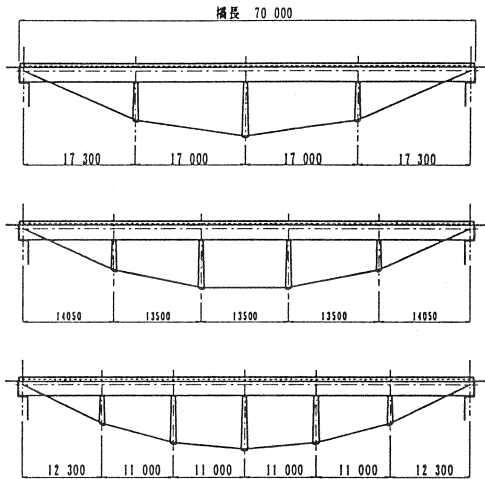


図-3 ストラット本数の変化

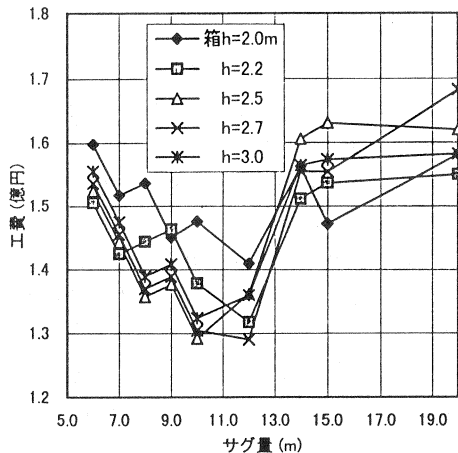


図-4 箱けた断面のサグによる工費の比較

んどないため、初期に与えられた応力性状をそのまま維持することができる。一方コンクリートの張弦梁では、コンクリートのクリープ変形により初期の構造物が有する耐力が経時的に低下する。

設計では、施工の際の材令を仮定して最適なプレストレス量を求めるが、実際には工程のずれ、材料特性、環境条件の相違などからクリープの進行が仮定と異なる場合があるので、これに対応した設計を行わなければならない。

張弦PC橋は、外ケーブルの緊張力により容易に主けたコンクリートの任意の応力状態をつくることができる。主けたの剛性を高くし補助的に外ケーブルを用いる方法もあるが、ここでは積極的に外ケーブルを活用するものとした。従って外ケーブルなしでは自重のみも支持できない。

クリープによる主けたのプレストレスの低下分を見越した張力の導入も可能であるが、主桁の剛性が通常の桁橋より小さいこともあって、オーバープレストスになる場合がある。そこで、内ケーブルと外ケーブルの組み合わせを調整し、プレストレス導入直後・供用開始時・クリープ終了時とも応力状態を満足するようにした。

検討は、荷重載荷時材令と供用時材令を表-2のように想定し試算した。

クリープ係数は、道路橋示方書のものを用い、環境条件としては相対湿度70%とした。

内・外ケーブル量は、クリープの影響を顕著に表すため最もクリープによる断面力が多いA3ケースのもので統一した。また、内ケーブルは2次力の影響を小さくするため図心配置とした。

試算結果としては、図-5に示すように材令を横軸に対数表示するとクリープによる主桁の支間中央の曲げモーメントは通常のPC構造物と同様に直線変化する。この変動量を弾性断面力に比較すると曲げモーメントで-33%~-75%、外ケーブルの張力で-4%~-10%の割合となる(図-6)。

クリープによる曲げモーメントの影響を、A3ケースとD3ケースで比較すると、支間中央の主桁下縁応力度で15kgf/cm²程度の相違がある。これは、内ケーブル(SWPR7B12T12.7-12本)によるプレストレス21kgf/cm²の7割程度であり、D3ケースの材令条件では内ケーブルは4本程度で済ことになる。

主桁に作用する曲げモーメントの変動は非常に大きい外ケーブルの張力変動は主桁の変形に從属する

表-2 検討ケースと材令 (日)

荷重時材令	7	60	120	180
供用時材令				
180	A1	B1	C1	D1
360	A2	B2	C2	D2
2000	A3	B3	C3	D3

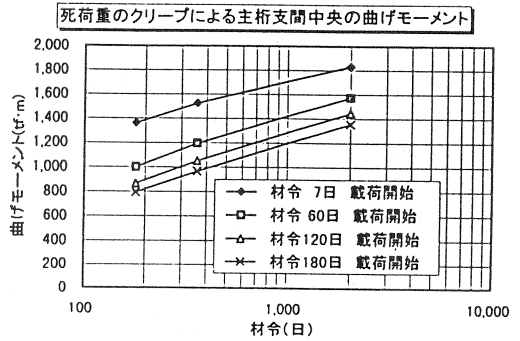


図-5

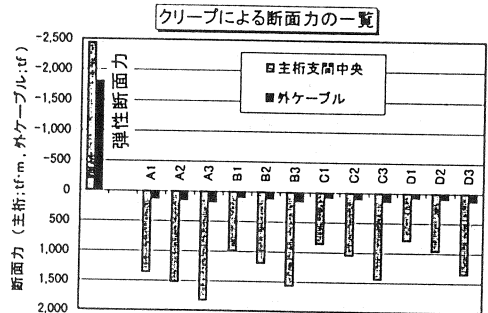


図-6

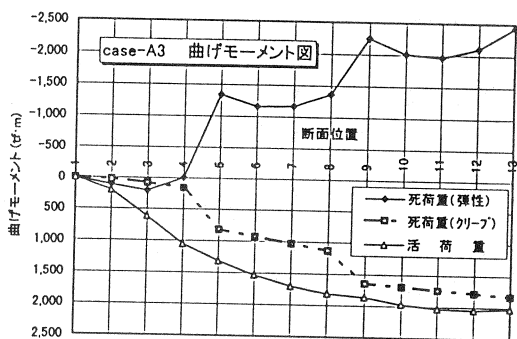


図-7

ものであり比較的小さい。

図-7 に主けたの曲げモーメント図を示す。曲げモーメントの性状としては、単純ばりとストラットで支持された連続の性状を併せ持つ。クリープによる変動が大きいため予めその分を外ケーブルで補っておく必要がある。このように、応力度の変動が大きいため主けたはある程度の剛性と内ケーブルによるプレストレスが必要となる。

5. 無次元量化による検討

このように張弦PC橋はコンクリートのクリープの影響を非常に強く受ける構造である。そこで設計する上でこの影響をある程度把握しておくことは重要である。そこで主けた・外ケーブルの剛性およびサグ量からなる無次元量を考え、これと弾性断面力とクリープによる断面力の比の関係を調べてみた。

$$K = \frac{E_p \cdot A_p \cdot f^2}{E_c \cdot I_c}$$

- E_p : 外ケーブルの弾性係数
- A_p : 外ケーブル断面積
- E_c : 主けたの弾性係数
- I_c : 主けた断面2次モーメント
- f : サグ量

外ケーブルの導入張力は、外ケーブル断面積の関数とした ($T=0.45 \cdot P_u$)。

これによると、実際設計可能な範囲は $K=2 \sim 3$ の範囲であり、主桁の曲げモーメントのクリープによる移行量は、弾性断面力の 50~60%におよぶ。

6. まとめ

以上のように、張弦PC橋の大まかな特性は把握することができた。クリープの影響はかなり大きい、これを考慮しても実用的な設計は可能である。また逆にこの特性を理解し、プレキャストブロック工法との併用や、アクティブプレストレス²⁾等の手法を用いれば更に経済的な橋梁となる。

施工方法も、現時点では妙案はなく直接支保工等に頼らざるを得ないが、床版工等を後施工にし、比較的小さい自重で施工できる単純けたを架設しておき、外ケーブルの施工後、床版工・橋面工の施工を行うという手法も考えられる。

また、外ケーブルの許容値についてもこれまでは $0.6 \cdot P_u$ で試算を行ってきたが、応力振幅、クリープの影響を考慮するともう少し下げた方が合理的と思われる。この点に関しては更に検討を加えて行きたい。

現在、終局時の挙動を把握するために 1/10 程度の模型試験を実施している。機会があればその結果も報告したいと考えている。

参考文献

- 1) 「張弦PC橋の経済性を考えた構造諸元の検討」 伊藤 雪 (土木学会西部支部研究発表会 平成8年度)
- 2) 「PC桁のアクティブプレストレス」 河村直彦 (プレストレストコンクリート VOL.38 No.6)

表-3 無次元量化によるクリープの検討ケース

けた高 (箱けた)	2.2m	2.5m	2.7m
外ケーブル容量	720tf	3~6本	
サグ量	6,7,8,9,10,12,15 m		

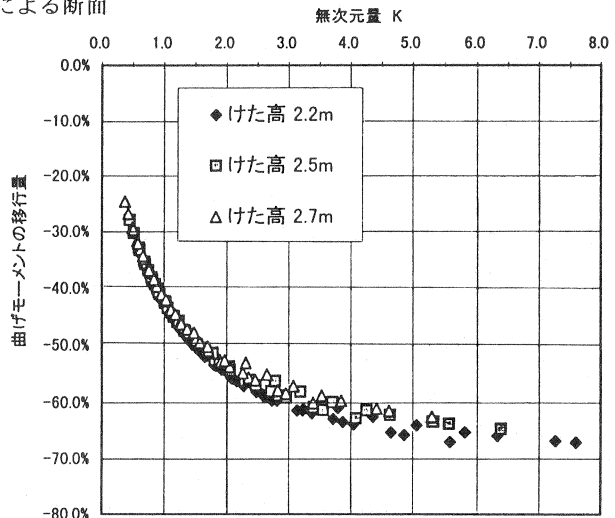


図-8 剛性比とクリープによる曲げモーメントの移行量の関係

多少けた高の影響でばらつきはあるものの、上記の無次元量は主けた・外ケーブルの剛性およびサグ量とクリープ断面力の関係を比較的良好に表していると思われる。