

長大P C斜張橋の斜材ピッチの最適化

熊本大学工学部 学生員 ○塚原 浩司
 同 上 正 員 小林 一郎
 山口大学工学部 正 員 古川 浩平
 住友建設(株) 正 員 春日 昭夫

1. はじめに P C斜張橋は鋼斜張橋に比べ経済的であるとして欧米では多くの橋梁に採用されている。また、わが国でも維持管理費等も考慮してP C斜張橋を採用することが多くなるものと思われる。このため、P C斜張橋のより経済的な設計を行なうための研究が望まれる。最適設計に関しては「ひずみエネルギー最小規準」による斜材張力の最適化に関する研究^{1),2)}はあるが、「コスト最小規準」に関する研究³⁾は少ない。ここではコスト最小設計を試みる。

2. 最適設計の概要 構造解析は変位法を用い、主として文献1)に従い、以下のような仮定を設けた。

- 1) 主桁のクリープを考慮する。
- 2) 主桁のP C鋼棒は引張に対してのみ入れる。
- 3) 解析モデルの骨組形状は左右対称とする。
- 4) 主桁断面は主桁高 H_g 以外は定数とする。
- 5) 死活荷重ともに考慮する。
- 6) 塔は別途に設計するものとし、最適設計の対象としない。

なお、解析モデルの一般図は図-1の通りで、支間185.0m、全長368.70mとした。

最適設計問題を以下のように設定する。

設計変数：斜材張力 P 、主桁高 H_g 、斜材数 S

目的関数：

$$W = C_c W_c + C_g W_g + C_b W_b \quad (1)$$

ただし、 W_c 、 W_g 、 W_b はケーブル、主桁、P C鋼棒の重量、 C_c 、 C_g 、 C_b は各材種の単位重量当りのコスト比とする。制約条件としては、

- 1) 主桁の応力度制限、2) P C鋼棒数制限、3) 設計変数の制限、4) 主塔曲げモーメントに関する斜材張力の等号条件がある。

3. 架設時P C鋼材の算出法 斜材のピッチが変化すれば、架設時に必要となる主桁内のP C鋼材の必要本数も異なってくる。図-2のような、斜材間のP C桁を片持ちばりとし、固定端上縁A点の作用曲げモーメントに抵抗する主桁内のP C鋼材本数を求める。ただし、図において L は斜材ピッチ、 F はワーゲン重量、 W は主桁単位長さ当りの重量である。A点の曲げモーメント M_A は

$$M_A = \frac{1}{2} W L^2 + F(L - 1.0) \quad (2)$$

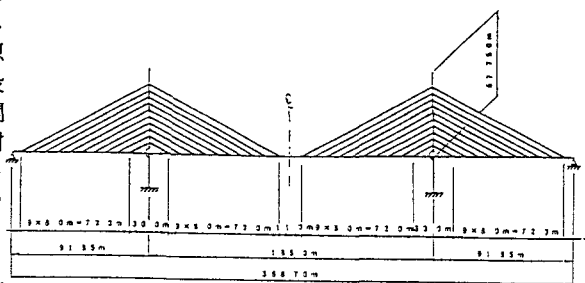


図-1 解析モデルの一般図

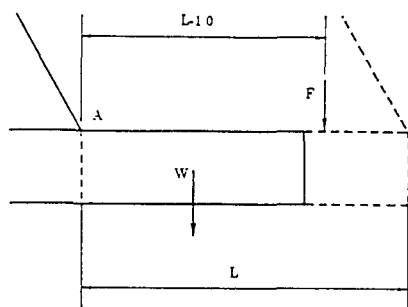


図-2 架設時コストの算出モデル

であり、これより求められるA点の応力度を σ_A 、P C鋼材1本当りの許容応力度を σ_P とすると、P C鋼材の必要本数は、 $n_b = \sigma_A / \sigma_P$ となる。これより必要P C鋼材の総コストは

$$Z_1 = C_b w_b \sum_i n_{bi} L_i \quad (3)$$

となる。ただし、 C_b はP C鋼材の単位重量当りのコスト比、 w_b はP C鋼材1本当りの単位長さ重量とする。

4. 数値解析 図-3は数値解析に用いた3径間連続P C斜張橋(4、10段)の骨組形状である。構造の対称性を考慮し、左半分のみを設計の対象とした。荷重条件は、図-4に示した。主桁高 $H_g = 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00, 2.25, 2.50m$ に対して最適設計を行った。なお、各材種のコスト比は $C_c : C_g : C_b = 2.000 : 0.084 : 1.100$ とした。

図-5は4段モデルの最適解における完成系の主

桁の曲げモーメント分布図であり、4 段モデルも 10 段モデルもほぼ同じ結果であった。この図によって、死荷重 (Dead) による曲げモーメントと斜材張力 (Pre) による曲げモーメントが打ち消し合っていることがわかる。また、その割合は小さいがクリープ変化によっても主桁の曲げモーメントの均一化、最小化がはかられている。

PC 斜張橋において、斜材ピッチの最適解を考えると、架設時コスト等を考慮するとマルチタイプのほうが合理的であると思われるが、コスト最小となる値が具体的にどの程度になるのかを求めた。ケーブル段数 S は 4、6、8、10、12、14 の 6 ケースについて解析をおこなった。図-6 に各斜材ピッチによる最適解の比較を行った。 Z_2 は完成系のコストである。 Z は完成系のコスト (Z_2) に、架設時のコスト (Z_1) を加えた総コストである。 S が小さいとき ($S=4$) は Z_1 の値が非常に大きくなっている。 S が大きくなると Z_1 は急激に減少している。しかし斜材ケーブルのコストが増加するため、完成系のコストは大きくなる。完成系だけの解では、10 段が最適解となるが、総コストでは 12 段に最適解が移動している。しかし 10、12、14 段での総コストの差は 1 % にも満たない。

5. まとめ PC 斜張橋においては、主桁高の変化による総コストの変動は 3 % 弱であり、鋼斜張橋と比べて主桁高がコストに与える影響が極めて小さいことがわかる。この理由として、現在の使用材料のコスト比では斜材ケーブル、主桁内の PC 鋼材に比べコンクリートのコスト比が 2 桁程小さいため多少のコンクリートの体積変化があっても総コストの変動に影響を及ぼさないこと、PC 斜張橋の場合には、主桁高の変化による剛性変化が斜材ケーブルよりコストの安い主桁内の PC 鋼材の増減で調整されることなどがあげられる。また、斜材ピッチの異なる PC 斜張橋のコスト比較を行った結果、本解析モデルにおいては、完成系だけの最適解では、8 段から 12 段の間が最適斜材本数となるが、架設時の主桁内必要鋼材コストを加算すると、10 段から 14 段の間に最適値が移動すること、いずれの段数においても最適主桁高は 1.5m 程度になることがわかった。

参考文献 1) 古川他: プレストレスコンクリート斜張橋の最適斜材張力決定法に関する研究、土論、第 374 号/I-6, pp.503-512, 1986. 2) 藤井他: PC 斜張橋の斜材張力および主桁プレストレスの最適化に関する研究、土論、第 408 号/V-11, pp.31-40, 1989. 3) 古川他: コスト最小規準による PC 斜張橋の最適斜材張力決定法に関する研究、土論、第 392 号/I-9 pp.411-414, 1988.

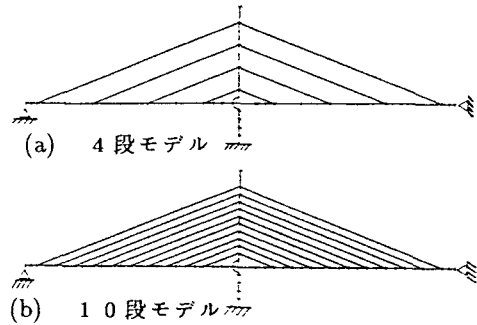


図-3 解析モデル

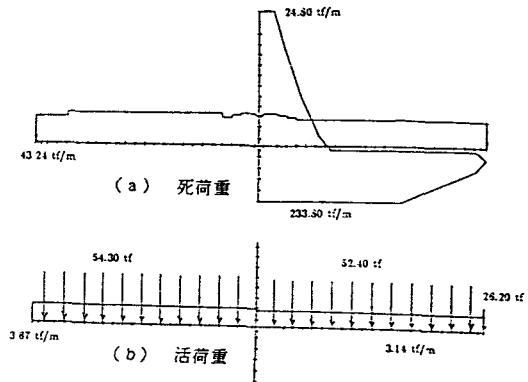


図-4 荷重条件

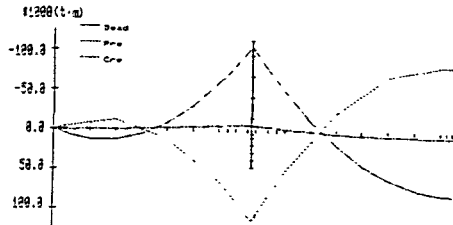


図-5 曲げモーメント図 (4 段)

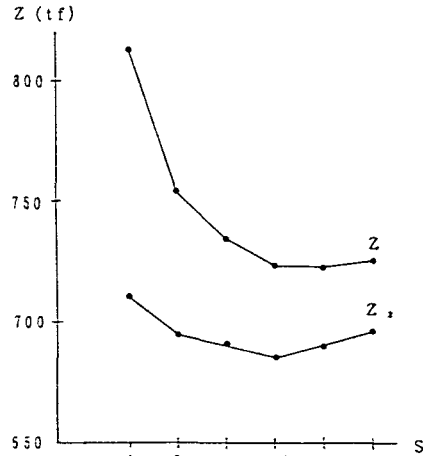


図-6 各段数における最適解の比較