

熊本大学工学部 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 新井 英雄
 同 上 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。本研究では、P C 斜張橋のコスト最小設計を試み、ひずみエネルギー最小規準との相違点についても若干の考察を行なう。

2. P C 斜張橋の最適設計問題 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。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

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。

制約条件式：

- 1) 主桁の応力度制限

$$\sigma_{ij}/\sigma_{ca} - 1 \leq 0 \quad (2)$$

$$1 - \sigma_{ij}/\sigma_{ta} \leq 0 \quad (3)$$

ただし、 σ_{ij} は i 部材の j 端の部材応力度、 σ_{ca} 、 σ_{ta} は部材の許容応力度である。

- 2) P C 鋼棒数制限

$$n/n^U - 1 \leq 0 \quad (4)$$

$$-n \leq 0 \quad (5)$$

ただし、 n は P C 鋼棒の数、 n^U は P C 鋼棒の上限値である。

- 3) 設計変数の制限

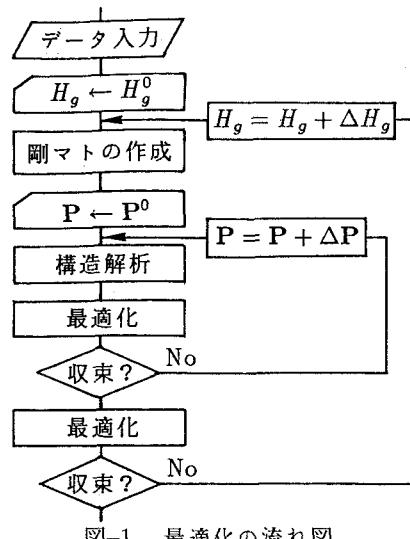


図-1 最適化の流れ図

$$p_i/p_i^U - 1 \leq 0 \quad (6)$$

$$1 - p_i/p_i^L \leq 0 \quad (7)$$

ただし、 p_i は第 i 番目の斜材のプレストレス量であり、添え字 U、L は上下限値であることを示す。

4) 主塔曲げモーメントに関する斜材張力の等号条件式

$$p_i^\ell \cos \theta_i^\ell - p_i^r \cos \theta_i^r = 0 \quad (8)$$

ただし、添え字 ℓ 、 r は塔を挟んだ左および右側の一対のケーブルの値であることを示す。

図-1 に最適化の流れ図の概要を示した。

3. 数値解析例 図-2 は数値解析に用いた 3 径間連続 P C 斜張橋(ファン形式 10 段)の骨組形状と主桁の断面形状である。構造の対称性を考慮し、左半分のみを設計の対象とし、主桁を 48 要素に分割した。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-3 は $H_g = 1.50m$ での最適斜材張力 P^* における完成系の主桁の曲げモーメント分布図である。図において、点線は斜材張力(Pre)、一点鎖線はクリープ(Cre)、二点鎖線は死荷重(Dead)、実線はそれらの合計された(Dead + Pre + Cre)曲げモーメントである。

図-4は図-3の状態における最適PC鋼棒本数の分布を示したもので、図-3の実線に対応しているのがわかる。図-5に主桁高と最適解（斜材とPC鋼棒のコスト）の関係を示した。ケーブルコスト C_cW_c は主桁高の減少に伴いほぼ直線的に増加するが、PC鋼材のコスト C_bW_b は2次関数的に増加している。図-6には主桁高と総コストの関係を示す。主桁のコスト C_gW_g は H_g に正比例しているため、式（1）の目的関数の曲線は図のように下に凸となり、全域的な最適解が存在する事が判る。ただし、最適解 H_g^* 近傍では平坦な関数となり収束性の良くない最適化問題になっている。表-1には最適主桁高 $H_g^* = 1.5m$ における最適斜材張力を示した。

4.まとめ PC斜張橋の斜材張力調整という観点からコスト最小規準とひずみエネルギー最小規準の相違を考えると次のようになる。1) ひずみエネルギー最小規準は与えられた主桁高におけるクリープ変化の最小化をめざす規準である。2) これに対してコスト最小規準は主桁高も含めたコストに着目したものであり、クリープひずみは必ずしも小さくならない。むしろ図-3からもわかる通り、結果的には死活荷重による主桁の曲げモーメントを極力小さくするような曲げモーメントが生ずるようにクリープひずみの発生を期待していることになる。

ある設計変数の最適化を行なうとき、複数の最適性規準があれば、異なる最適解が存在することになる。数理計画手法の適用という観点からはそれらの解はそれぞれに真の最適解と呼べるものである。従って、斜材張力調整を行なうときには、設計者が「何の最適化を行ないたいのか」という目的を明確にした上で各種の最適性規準を選択すべきであろう。

参考文献 1) 古川、角谷、熊谷、新井：プレストレスト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、土木学会論文集、第374号/I-6, pp.503-512, 1986. 2) 藤井、宮本、小深田：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、土木学会論文集、第408号/V-11, pp.31-40, 1989. 3) 古川、角谷、新井、春日：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、土木学会論文集、第392号/I-9 pp.411-414, 1988.

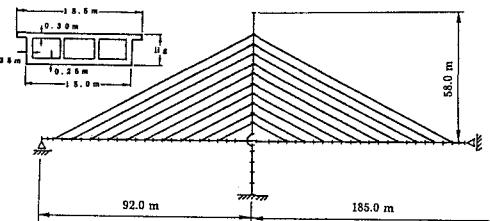


図-2 解析モデルの概要

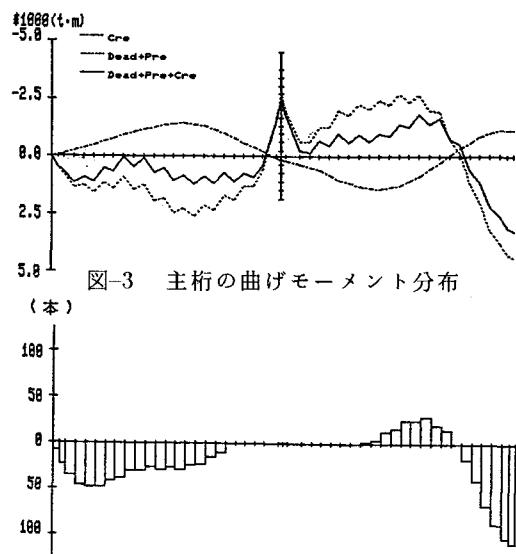


図-3 主桁の曲げモーメント分布



図-4 主桁の最適PC鋼棒本数の分布

表-1 最適解

($H_g = 1.5m$)

	Initial	Optimum
P ₁	620.00	367.92
P ₂	560.00	613.86
P ₃	673.23	807.38
P ₄	890.00	972.47
P ₅	930.00	907.14
P ₆	939.75	782.76
P ₇	800.00	701.32
P ₈	603.84	739.00
P ₉	650.00	843.29
P ₁₀	930.00	685.91
C _g W _g	411.52	411.52
C _b W _b		269.53
C _c W _c		28.444
W _s	308.94	297.79
W	720.46	709.31

(単位:tf)

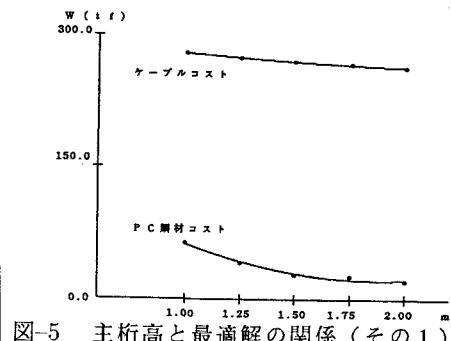


図-5 主桁高と最適解の関係(その1)

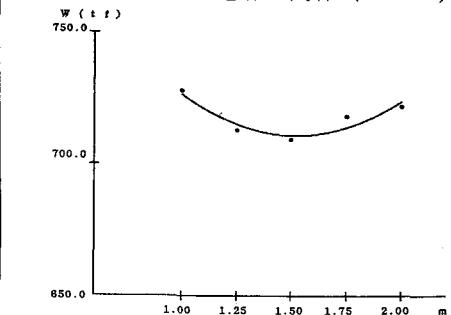


図-6 主桁高と最適解の関係(その2)