

P C 斜張橋のコスト最小設計

熊本大学工学部 学生員 ○岩永 眞
 同 上 正 員 小林 一郎
 同 上 正 員 三池 亮次

1. はじめに 近年、斜張橋の建設が盛んであるが、その理由として設計の自由度の大きさが挙げられる。ケーブルや塔・主桁等の形状を自由に組合せることにより景観設計などに創意工夫を行なうことができるからである。その背景に計算機の発達により経済的な設計が可能になった事を忘れてはならない。しかし、P C 斜張橋のコスト最小設計について述べた論文¹⁾は少なく、ほとんどの論文がコスト最小設計を行わず、斜材プレストレスのみを対象として「ひずみエネルギー最小規準」を用いた最適化を行なっている。本研究では、P C 斜張橋のコスト最小設計を試みるものである。

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2)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が、死荷重は桁の断面積に比例して載荷する。
- 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。

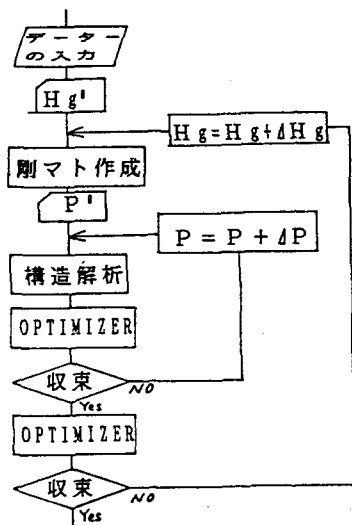


図-1 最適化の流れ図

- 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

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

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

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 は上下限值であることを示す。

- 4) 主塔曲げモーメントに関する斜材張力の等号条件式

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

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。

これらの条件を用いてコスト最小設計を行う。

図-1 に本設計の最適化の流れ図を示した。ただし、主桁高 H_g については離散変数とした。

3. 数値解析 図-2 は数値解析に用いた3 径間連続P C 斜張橋の骨組形状と主桁の断面形状である。解析に当たっては部材の対称性を考慮して図の様な境界条件を定め、主桁を5m ごとに8 個の要素に分割し活荷重を各要素の両端に集中荷重として25t、死荷重を主桁体積に対し分布荷重として $7.5t/m^3$ を載荷し、主桁高($H_g = 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.0m$) に対して解析を行った。なお、各材種のコスト比は $C_g : C_c : C_b = 1.0 : 2.0 : 1.1$ とした。

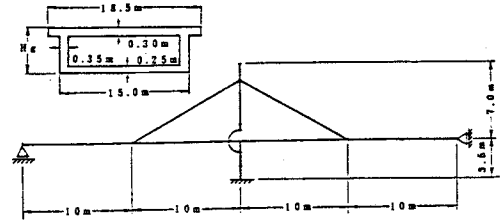


図-2 解析モデル

図-3 は $H_g = 1.00m$ での最適斜材張力 $p^* = 2625tf$ 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。本モデルにおいては、クリープの影響は極めて小さい。

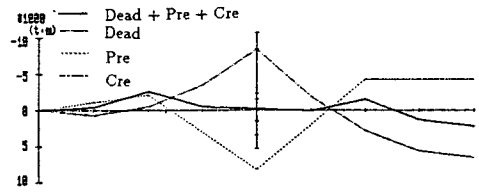


図-3 主桁の曲げモーメント分布

図-4 は図-3 の状態における最適P C 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。

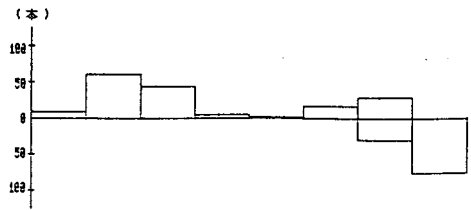


図-4 主桁の最適P C 鋼棒数の分布

図-5 に斜材張力と最適解 (斜材とP C 鋼棒の合計コスト) の関係を示した。 $H_g = 2.0m$ では制約条件の許す範囲内で斜材張力を緩めたところに最適解が存在するが、他の桁高では制約条件に関係なく最適解が存在している。また、主桁高によるコストの比較では、主桁高が増すに従い、斜材張力の負担が軽減されるため、鋼材のコストは小さくなっている。しかし、各 H_g の値ごとに示したコスト W は極めて平坦な関数であり、最適解の近傍では斜材張力の最適値としてどの値を選んでもそれほどコストの差がない。このため最適化問題として本解析例をみると解の収束性が悪く、各種の最適化手法を適用しにくい問題である。

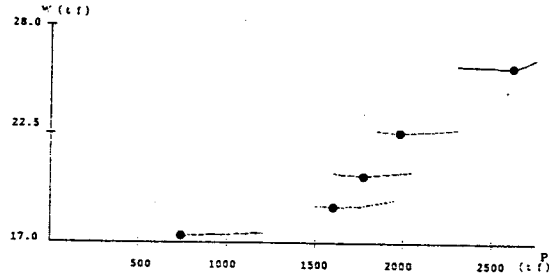


図-5 斜材張力と最適解の関係

図-6 には斜材張力と最適解 (総コスト) の関係を示した。図-5 と比較すると主桁高によるコストの比較は逆の関係を示している。本解析モデルにおいては、ケーブルとP C 鋼棒のコストは主桁のコストに比べ5 %程度なので、斜材張力による鋼材の増減に比べ主桁高の増減のほうが目的関数 W に対して極めて大きな影響を及ぼしている。

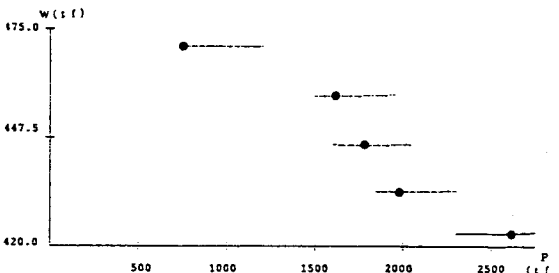


図-6 斜材張力と最適解の関係

従って、P C 斜張橋では、制約条件の許す範囲で、できる限り主桁高を低くすることがコスト最小化に対しては有効である。マルチケーブルのP C 斜張橋に対しても同様のことが言えると思われるが、この解析結果は講演時に報告する予定である。

参考文献 1) 小林、佐々木、三池、大塚：主桁支持方式の異なる斜張橋の多段階最適設計、土木学会論文集、第392号/I-9、pp.317-325, 1988.
2) 古川、角谷、熊谷、新井：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、土木学会論文集、第374号/I-6 pp.503-512, 1986.