

V-253 PC斜張橋の斜材張力及び主桁プレストレスの最適化

(株)横河橋梁製作所 正員 ○小深田 祥法
京 都 大 学 工 学 部 正員 藤 井 学

神戸大学工学部 正員 宮本 文穂
神戸大学大学院 学生員 玉置 一清

1. まえがき 本研究は、ひずみエネルギー最小化基準の考え方¹⁾を適用し、PC斜張橋の斜材調整力と主桁プレストレスという2つの応力調整機構を連成して斜材調整力及び主桁プレストレスの最適化を行う手法の提案を行うものである。なお、本研究では、PC斜張橋固有の問題、すなわち、コンクリートのクリープ・乾燥収縮の影響及び架設工法の影響等を考慮することによって支保工架設のみならず、張出し架設PC斜張橋に対しても適用可能とした。

2. 斜材張力及び主桁プレストレスの最適化手法

2.1 目的関数：本研究では、最適化にあたって必要となる目的関数として、主桁のひずみエネルギーを設定し、このひずみエネルギーを最小にする斜材調整力を共役勾配法の中のFletcher-Powell法²⁾によって算出した。この時、ひずみエネルギーは、主桁部材の曲げモーメントと軸力のみを考慮するものとし、その曲げモーメント及び軸力を、次式のように斜材調整力{P}の関数として表わす。

$$\begin{cases} \{M\} = \{M_0\} + \{M_s\} \times \{P\} & \text{ここで、}\{M_0\}, \{N_0\} : \text{斜材調整力がゼロの時の部材断面力} \\ \{N\} = \{N_0\} + \{N_s\} \times \{P\} & \{M_s\}, \{N_s\} : \text{斜材張力が単位張力増加した時の部材断面力変化} \\ & \{P\} : \text{斜材調整力} \end{cases}$$

2.2 最適化手法：まず最初に、主桁に主桁死荷重・橋面荷重のみが載荷されている状態で、斜材張力の最初の最適化を行い、その曲げモーメント図に相似な形となるよう（許容限界核内にコンコールド配置）にCGS線を設定する。次に、主桁プレストレスによる軸力・曲げモーメント及びクリープ・乾燥収縮による断面力変化を斜材調整力{P}の関数として求め、主桁死荷重・橋面荷重による断面力に加えて主桁全体のひずみエネルギーを求める。そして、全荷重を考慮した2回目の最適化を行い、斜材調整力{P}を求めた後、{P}の関数となっている主桁プレストレスを求める。最後に、施工条件による制約を考慮に入れながら、求められた主桁プレストレスの修正を行う。なお、最適化に際しては、「斜材調整力により主塔に曲げモーメントが生じない」という制約条件を設定した。

3. クリープ・乾燥収縮による断面力の変化 主桁・主塔のクリープ係数・乾燥収縮が一定であると仮定し、主塔と主桁の斜材定着位置での相対変位に着目すると、変位の適合条件式は次式のように表される³⁾。

$$SP_\phi + (D_0 + GP_0)\phi + GP_\phi \frac{\phi}{1 - \exp(-\phi)} + H = 0$$

ここで、 $S = [\delta_{iis}]$: i番目斜材の単位張力による伸び量

$G = [\delta_{ij0}]$: j番目斜材の単位張力によるi番目斜材位置の主塔・主桁の相対変位

$P_0 = [P_{j0}]$: クリープ・乾燥収縮発生開始時のj番目斜材張力

$D_0 = \{\delta_{i0}\}$: 死荷重によるi番目斜材位置の主塔・主桁の相対変位

$P = \{P_j\}$: クリープ・乾燥収縮によるj番目斜材張力変化量

$H = \{\delta_{iH}\}$: 乾燥収縮によるi番目斜材位置の主塔・主桁の相対変位

クリープ・乾燥収縮発生開始時の斜材張力 P_0 を主桁死荷重及び橋面荷重による斜材張力 P_0 と斜材調整力 P に分解して考えて、上式を P_ϕ について解くと、 $\{P_\phi\}$ は斜材調整力{P}の関数となる。よって、クリープ・乾燥収縮による断面力の変化量 ΔM_ϕ 、 ΔN_ϕ は、 $\{P_\phi\} \times$ 斜材調整力の影響行列 $[M_s], [N_s]$ で表され、斜材調整力{P}の関数となる。

以上の最適化手法の手順に従った最適プレストレス決定システムを構築した。

4. 張出し架設PC斜張橋への適用 張出し施工の場合、主桁の張出し架設が完了し、完成構造系となっ

てから新たに全斜材の張力調整が行われる。したがって、架設時の斜材張力と完成構造系での斜材張力は互いに独立したものと考えると考えられる。しかし、施工中に必要であった主桁プレストレスは、完成構造系においても橋体に作用し続ける。そこで、本研究では、完成構造系においては、施工中に必要であった主桁プレストレスが必ずしも必要であるとは限らない場合を想定して、施工中に必要な主桁プレストレスを主桁に載荷される外力(荷重)として扱うことによって、以下の手順で、張出し架設PC斜張橋の斜材張力の最適化を行った。

- ①各施工段階ごとの斜材張力を、次の斜材設置直前の張出し桁先端の鉛直変位がゼロになるような斜材張力とし、新たに斜材をセットするごとに既設斜材すべてに斜材調整力を加える。
- ②施工中に主桁上・下縁に生じる引張り応力の最大値を打ち消すために必要な主桁プレストレス及び図心軸からの偏心量を求める。
- ③この施工中に必要な主桁プレストレスを主桁に載荷される集中荷重と考え、2章で述べた最適化を行う。
- ④③により求められた完成構造系で必要な主桁プレストレスに、施工中に必要な主桁プレストレスを足し合わせたものが対象となる橋梁に必要な主桁プレストレスであるとする。

5. 実橋への適用例

本研究で開発した最適プレストレス決定システムに、実際に架設された2, 3のPC斜張橋において用いられた構造解析データを入力し、本システムの有効性の検証を行った。

1例として、支保工施工された実橋⁴⁾に、本システムを適用した結果を図1, 2に示す。

図1に示すように本システムによって求めた主桁プレストレスは、設計に用いられた値よりも減少する結果となったが、ほぼ相似形となっている。本研究では荷重条件として、主桁自重・橋面荷重、斜材調整力およびクリープ・乾燥収縮による移行断面力を考慮して主桁プレストレス量を決定しているのに対し、設計ではこの他に、温度変化、地震および支点沈下を考慮にいれて主桁プレストレスを決定して

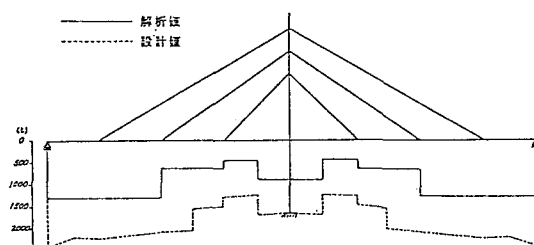


図1 主桁プレストレスによる軸力分布

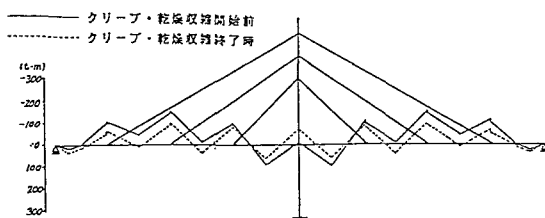


図2 全荷重を考慮した時の曲げモーメント図

いる。したがって、主桁内PC鋼材量が設計値よりも減少しているとは一概には言い難い。また、図2に示すように、本システムによって最適化した斜材調整力を加えたときのクリープ・乾燥収縮終了時の曲げモーメント分布は、クリープ・乾燥収縮開始前と比較してもかなり平滑化されていることがわかる。これは、本システムでは、クリープ・乾燥収縮開始前の斜材調整力を求めるものであるためであると考えられる。

6. あとがき 本研究は、パーソナルコンピュータのRC構造分野への適用の一環として、設計の簡易化を目的の一つとした最適化システムの開発を目指したものである。パソコン容量の問題もあり、大型橋梁への適用は、今後の重要な課題ではあるが、一般に大型橋梁に採用される張出し施工への適用を可能にしたことにより、設計自由度の高いPC斜張橋全般への応用の可能性を示したものと考える。

最後に、斜張橋のデータを提供頂いた、住友建設(株)設計担当の方々に心から感謝致します。

参考文献 1)山田善一、他：斜張橋ケーブルの最適プレストレス量決定に関する研究、土木学会論文集、第356号、1985.4 2)J.Kowalik, et al.: 非線形最適化問題、培風館、1970 3)古川浩平、他：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、1986.10 4)兵庫県丹南町、(株)阪神コンサルタンツ：測量・土質調査・設計委託町道古佐旧国道線(小滝橋)報告書、3 主桁の設計、1983.9