

P C 斜張橋の最適設計について

九州大学工学部 正 員 〇千々岩 浩巳
九州大学工学部 正 員 太 田 俊昭
九州共立大学工学部 正 員 三 原 徹治
九州大学工学部 学生員 太 田 秀昭

1. 緒 言

P C 斜張橋は、主桁、主塔およびケーブル（斜材）等の設計に多くの自由度を有するので設計に対する種々の制限に柔軟に対応でき、景観的にも優れた構造であるため各地で盛んに計画・架設されている。設計の自由度が大きいことは、設計条件の範囲内で比較的自由な設計が可能であることを意味するが、反面、必ずしも設計者の意図した設計が得られない場合も考えられ、合理的な最適設計法の確立が求められる。

P C 斜張橋のコスト最小化に関する研究は、コスト最小化の最適性規準のもとで最適斜材張力を求めるものや、主桁高と斜材張力を設計変数とした手法が報告されているのみで、あまり行われていない現況にある。

本研究は、文献1)に示した構造解析法に基づく最適設計法を提示し、マルチケーブル方式のP C 斜張橋への適用例から本法の妥当性を検証するものである。

2. 最適設計問題の定式化

文献1)で述べた構造解析法の中で主桁内P C 鋼棒量 ($A_{p,i}$)・配置位置 (X_i) については最小コスト設計に対する最適値あるいはその近傍値が得られる。ここでは、残りの諸値を決定する最適設計問題を定式化し、全体の段階的な最適設計手法について述べる。

(1) 設計変数

P C 斜張橋の設計変数として一般には、主桁各板厚、P C 鋼棒量・位置、主桁プレストレス力、塔断面寸法、ケーブル断面積、ケーブルプレストレスなどが考えられるが、今回はそれらのうち主桁プレストレス力、ケーブル断面積およびケーブルプレストレス力を最適設計問題の設計変数として取扱った。

(2) 制約条件

本研究では、P C 斜張橋に求められる安全性および工学的な要求のうち、以下のように主として各部材応力度に関する設計条件を制約条件とした。すなわち、

$$\text{①主桁の応力度} \quad \frac{\sigma_{G1}}{\sigma_{G1c}} \leq 1 \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{③塔の応力度} \quad \frac{\sigma_{T1}}{\sigma_{T1c}} \leq 1 \quad \text{----- (2)}$$

$$\text{⑤ケーブルの引張応力度} \quad \frac{\sigma_{CA11}}{\sigma_{CA1c}} \leq 1 \quad \text{----- (3)}$$

$$\text{⑥設計変数の上下限值} \quad X_v^L \leq X_v \leq X_v^U \quad \text{----- (4)}$$

ただし、 σ は応力度を意味し、下付添字G, T, CA, a, i, vはそれぞれ主桁、塔、ケーブル、許容、要素番号、設計変数記号を、上付添字U, Lはそれぞれ上限、下限値を示す。

(3) 目的関数

目的関数には、次式で表されるような施工費を考慮したコスト比を用いたP C 斜張橋全体のコストとする。

$$\text{Cost} = C_{co}W_{co} + C_{ca}W_{ca} + C_{pc}W_{pc} \quad \text{----- (5)}$$

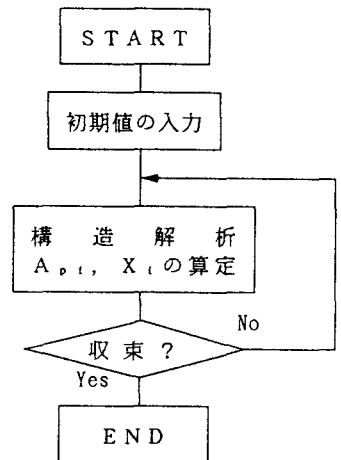


図-1 フローチャート

なお、記号 C 、 W 、および添字 CO 、 CA 、 PC はそれぞれコスト比、体積、コンクリート、ケーブル、 PC 鋼棒を示す。

(4) 解法

よって、設計問題は式(1)～(4)を制約条件とし、式(5)の最小化を図る最適化問題として得られる。その解に応じて先述の A_{pi} 、 X_i の値も一般に変化するため、全体的な設計計算は図-1に示すような繰返し計算を必要とする。

なお、最適化計算には ADS^{21} 内の SLP を用い、式(4)に示す設計変数の下限値は、 PC 鋼棒については主桁断面積の 0.15% ²⁾、ケーブル断面積については 50cm^2 、ケーブルプレストレスおよび主桁プレストレスについては 0tf とした。

4. 数値計算例

数値計算例として図-2に示す2径間 PC 斜張橋(豊後橋⁴⁾)に本法を適用した。計算においては、コスト比を $C_{co}:C_{ca}:C_{pc}=0.084:2.0:1.1$ とし、ランダムな5組の初期値(CASE1～5)を用いた。

表-1に各CASE毎のアクティブな制約条件数およびケーブルコスト、総コスト並びにその比を示す。表-1から、総コストはいずれのCASEもほぼ同じ値であり、本法の良好な収束性が認められる。また、総コストに対するケーブルコスト比は約7.5%であり、実設計における値に近い値が得られている。本例の場合、いずれのCASEにおいてもケーブル応力に関する制約条件がアクティブであり、さらに主桁応力度に関する制約条件までアクティブなとき全域的な最適解に収束しているようである。なお、このときの主桁応力度はケーブル定着部の引張応力であった。

5. 結 言

本研究によって得られた成果をまとめると以下ようになる。

- (1) 段階的な最適化手法を用いた斜張橋の最小コスト設計に関する一手法を提示することができた。
- (2) 設計変数が増加した場合についても本法は適用可能であり、いずれの場合も最適解へのスムーズな収束状況が認められた。

参考文献

- 1) 千々岩浩巳, 太田俊昭, 三原徹治: PC 斜張橋の最適設計のための構造解析法に関する一考察, 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集, 第I部, 1990.9.

2) Vanderplaats, G.N. and H.Sugimoto: A General-Purpose Optimization Program for Engineering Design, Computers and Structures, Vol. 24, pp13-

21, 1986. 3) 日本道路協会: 道路橋示方書(Ⅰ共通編・Ⅲコンクリート橋編)・同解説, 1990.2.

4) 古賀則光, 西本博明, 三橋正義, 中村一樹: プレストレストコンクリート, Vol. 26, No. 2, Mar. 1984.

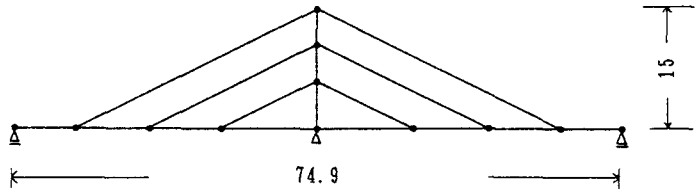


図-2 解析モデル (m)

表-1 計算結果

初期値	アクティブな制約条件数			ケーブルコスト ①	総コスト ②	①/② %
	主桁(16)	塔(6)	ケーブル(6)			
CASE-1	0	0	3	3.69	47.4	7.8
CASE-2	4	0	4	3.62	47.3	7.7
CASE-3	2	0	4	3.52	47.2	7.5
CASE-4	0	0	3	3.69	47.4	7.8
CASE-5	3	0	4	3.54	47.2	7.5

() 内の数字は各制約条件総数