

I-255 歪エネルギー・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

山口大学 正員 古川浩平 日本道路公団 正員 角谷 務
住友建設 正員 新井英雄 住友建設 正員 春日昭夫

1. 緒言

近年プレストレストコンクリート斜張橋が数多く計画され、架設されている。PC斜張橋の設計にあたって、解明が必要とされている問題の1つに、PC斜張橋の最適な斜材張力をいかにして決めるかということがある。この問題に関する過去の研究はほとんどなく、筆者らが歪エネルギー最小化という最適性規準を用いて斜材張力を決定する手法¹⁾を示しているのが見られる程度である。

上記の研究¹⁾は、歪エネルギー最小化という力学的観点にたった最適化であった。一般の設計では力学的観点からの照査はしつつ、その主目的はコストをいかに低減するかに力点が置かれている。

そこで、本研究においては、先の研究で行った力学的観点からの最適化に加えて、経済的観点からの最適化を試みる。つまり、歪エネルギー最小規準の他に、コスト最小規準を導入し、両規準による最適解の比較を行った上で、意思決定者が最適解を選好することにより、より合理的なPC斜張橋の最適張力を決定しようとするものである。

2. コスト最小規準の定式化

歪エネルギー最小規準に関しては先の研究¹⁾ですでに示したのでここではコスト最小規準の定式化について述べる。斜材と主桁内PC鋼材は、許容応力度が異なるだけでなく、単位重量当りの単価にも差がある。斜材の単価の方が高いので、可能な限り、斜材よりも主桁内PC鋼材で主桁を補強した方がより経済的といえる。今、コストを表す量として、次式を用いる。

$$W = \alpha W_1 + W_2 \quad (1)$$

ただし、 W_1 は斜材重量、 W_2 は主桁内PC鋼材重量、 α は単価の違いを考慮して定める任意の係数とする。この時、 W_1 、 W_2 は以下の式で表される。

$$W_1 = \frac{\rho_1 F_s}{\sigma_{pu}} L_s \uparrow P \quad (2)$$

$$W_2 = \int \rho_2 (n_0 + n_u) L_G dx \quad (3)$$

ここで、 ρ_1 は斜材の単位体積重量、 ρ_2 は主桁内PC鋼材の単位長さ当りの重量、 F_s は安全率、 σ_{pu} は斜材の引張強度、 L_s は斜材長、 L_G は主桁部材長、 n_0 、 n_u は部材に配置される上下縁のPC鋼材本数とする。ただし、主桁内PC鋼材の安全率はその有効緊張力 P_e で考慮されており、 n_0 、 n_u に含まれる。

3. 2斜材モデルにおける最適張力の検討

図-1に示すタイプ1～3の2斜材モデルを考える。このモデルでは主塔の曲げモーメントゼロの制約条件があるため、左右の水平力が等しいという条件から、結果的には1変数問題となる。この張力を0から順に与えて歪エネルギーおよびコストを計算し、最適張力の検討を行う。タイプ1は左右対称の構造系、タイプ2、3は左右非対称で、左側スパンの死荷重強度を変化させている。部材の諸元はスパン長、斜材断面積以外は3タイプ全て共通である。計算に用いた活荷重強度は分布荷重が2.5t/m、線荷重が36tである。以下の図-2～図-4中の矢印で示した点が最小点であり、○は歪エネルギー、●はコスト最小規準による解を示す。

(1) タイプ1における計算例および考察

図-2はタイプ1のモデルで、横軸に2本の斜材張力の和、縦軸にその時の歪エネルギーとコストを描い

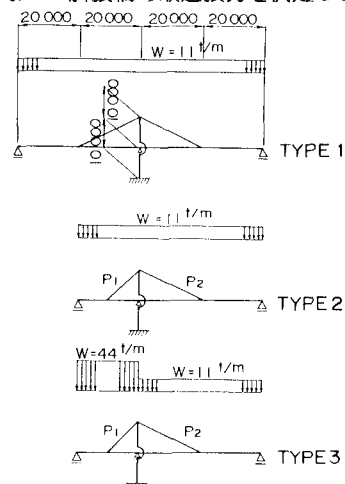


図-1 計算例に用いた2斜材モデル

た図である。最適張力は、歪エネルギー最小規準では $P_1 = P_2 = 609t$ 、コスト最小規準では $P_1 = P_2 = 546t$ であり、斜材張力には10%程度差がある。しかし、図-2を見ても分かるように、コストの曲線是非常にフラットであり両最適解でのコストの差はほとんどなく、どちらの規準を用いても結果には大きな差はない。

(2) タイプ2における計算例および考察

図-3にタイプ2の歪エネルギー図およびコスト図を示す。図から明らかなように他のタイプに比べて、歪エネルギー最小規準とコスト最小規準の最適張力の差が大きい。これは、構造系がアンバランスなためで、斜材張力に対する主桁内PC鋼材の変化の度合いが、他のタイプに比べて小さい。したがって、図-3にも示すように、 W_2 の傾きが小さくなり、 W_2 がコストに及ぼす影響は鈍くなり、逆に W_1 が及ぼす影響が大きくなるため両最小規準の最適解の間に差ができたものと思われる。

(3) タイプ3における計算例および考察

図-4にタイプ3の歪エネルギー図、コスト図を示す。タイプ2に比べ、死荷重強度を変化させて左右スパンのバランスを好転させているため、歪エネルギー、コストともタイプ2に比べ小さくなっている。また、歪エネルギー最小規準とコスト最小規準による最適張力の差も小さい。図-4の W_2 の傾きを見ても解るように、タイプ2よりも主桁内プレストレスはコストに対して敏感になっている。この図-4のコスト曲線も設計で考えるべき張力範囲内で非常にフラットであり、いずれの規準による解を用いてもそのコスト差はほとんどないものと考えられる。

5. 結論

(1) 斜材コストと主桁内PC鋼材コストの和で表されるコスト曲線は、設計で考慮すべき斜材張力範囲内においてはほぼフラットな曲線となる。さらに、構造系がアンバランスでない限り、歪エネルギー最小規準とコスト最小規準による最適張力に大きな差はない。よって、どの最適性規準により得られた解を採用してもコスト面ではほとんど差がない。

(2) アンバランスな構造系の場合は、カウンターウェイトでバランスさせた方が、本研究のコストは安くなる。これは、主桁自重が増加する分だけ斜材張力、つまり斜材重量は増えるが、アンバランスを補う主桁内PC鋼材重量の減少分がより大きくなるためである。

参考文献 1) 古川浩平・角谷務・熊谷紳一郎・新井英雄：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年10月。

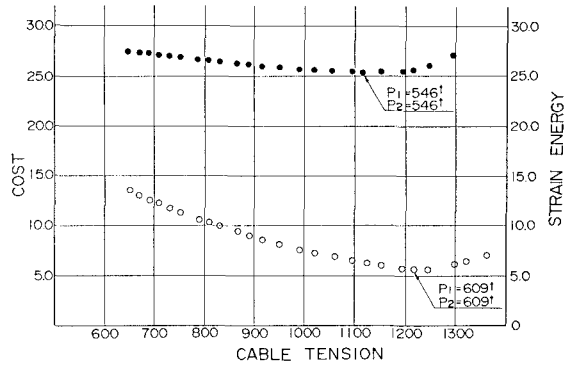


図-2 タイプ1における斜材張力と歪エネルギー・コスト相關図

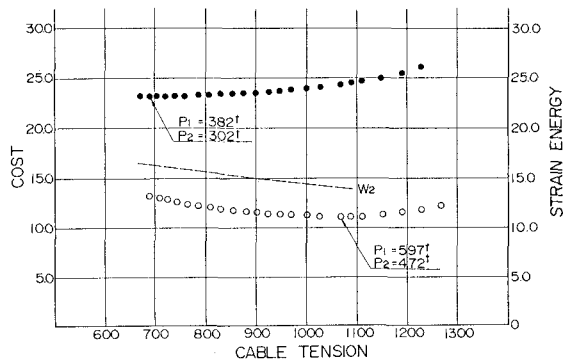


図-3 タイプ2における斜材張力と歪エネルギー・コスト相關図

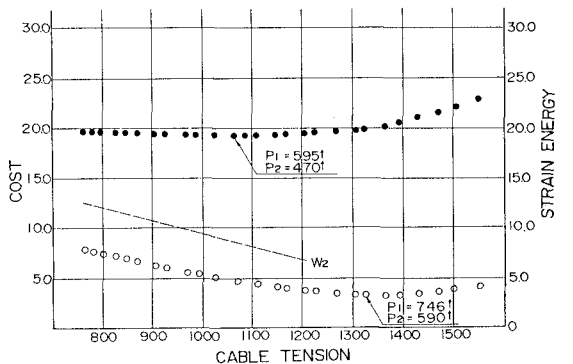


図-4 タイプ3における斜材張力と歪エネルギー・コスト相關図