

I-285

PC斜張橋の精度管理における 最適斜材張力調整法に関する一研究

山口大学 工学部 正会員 古川浩平
住友建設 土木部 正会員 新井英雄
○住友建設 土木部 正会員 春日昭夫

1. はじめに

斜張橋は斜材張力という内部不静定力の導入により、設計者の意図する応力状態を実現することが可能な構造形式であるが、そのためには、施工中に設計時で意図した応力状態になるように精度管理を行う必要がある。この斜張橋の精度管理に関して、鋼斜張橋においては最適化手法を用いている例がいくつか報告されている¹⁾²⁾³⁾。

精度管理において、鋼斜張橋とPC斜張橋が異なる点はクリープの影響である。一般にクリープが見かけの剛性低下であるため、クリープにより導入した斜材張力が減少し、変形が増大するように変化する。PC斜張橋は、設計で決定された斜材張力に対して揚げ越し量を求めるのであるが、斜材張力の残留誤差が存在すると、それに伴うたわみ、張力のクリープによる変化が付加される。よって、これを考慮して張力調整量を決定しないと最終的に管理目標に収まらない場合が起こり得る。このことは換言すればPC斜張橋のクリープ特性を利用することで、残留応力が小さくなるような斜材張力調整が行える可能性があることを意味する。したがって、この特性を積極的に利用した精度管理手法を構築すべきであるが、今までにこういったことを取り入れた研究は行われていない。

そこで、本研究では、目的関数として斜材が主桁・主塔に対して付加的に行う仕事量を導入し、その仕事量を最小化することによって斜材張力調整による桁の残留応力を最小限に抑えることを企図する。

2. 仕事量最小規準による最適化

PC斜張橋の精度管理で考察する必要があると考えられる、以下の4規準による目的関数を導入する。

- 規準Ⅰ：斜材張力調整量の二乗和を最小にする最適性規準
- 規準Ⅱ：弾性変形による仕事量を最小にする最適性規準
- 規準Ⅲ：弾性変形およびクリープ変形による仕事量を最小にする最適性規準
- 規準Ⅳ：弾性変形のうち、外的な力による仕事量を最小にする最適性規準

規準Ⅰは従来鋼斜張橋で用いられた、シム量の二乗和と等価のもので、規準Ⅱ～Ⅳが本研究で提示する最適性規準である。規準Ⅱはクリープ進行前までの弾性変形による仕事量を、規準Ⅲはクリープ終了時までの弾性・クリープ変形による仕事量を、さらに、規準Ⅳは外的な力、つまり、ジャッキによる仕事量をそれぞれ最小にするものである。

制約条件として、たわみの許容残留誤差と斜材張力残留誤差の上下限制約を $t=\infty$ 時つまり、クリープ終了時で設ける。

3. 数値計算例と考察

(1) 2斜材モデルでの数値計算例と考察

図-1に計算に用いた2斜材モデルを示す。断面諸値は次の通りである。主桁の断面2次モーメント $I=0.50\text{m}^4$ 、断面積 $A=4.0\text{m}^2$ 、弾性定数 $E=3.5\times 10^6\text{t/m}^2$ 、線膨張係数 $\alpha=10\times 10^{-6}$ 、斜材の $I=1.0\times 10^{-8}\text{m}^4$ 、 $A=0.01\text{m}^2$ 、 $E=2.0\times 10^7\text{t/m}^2$ 、 $\alpha=\times 10^{-6}$ である。また、クリープ係数は $\varphi=2.0$ とし、たわみの施工誤差 $\delta_0=[10.0\text{mm}\ 15.0\text{mm}]^T$ 、たわみの許容残留誤差は $\epsilon=\pm 10.0\text{mm}$ とする。張力の施工誤差は、Case-1が $\Delta P_{C0}=[10.0\text{t}, 10.0\text{t}]^T$ 、Case-2が $\Delta P_{C0}=[-10.0\text{t}, -10.0\text{t}]^T$ 、Case-3が $\Delta P_{C0}=[10.0\text{t}, -10.0\text{t}]^T$ 、張力の許容残留誤差は $\pm 8.0\text{t}$ とする。なお、張力調整は、S1, S2の順で行い、遅れ弾性ひずみによる回復クリープの影響は無視する。

図-2～4に各測点の変位履歴を示す。Case-1は、S1, S2とも斜材張力がいり過ぎているので、張力調

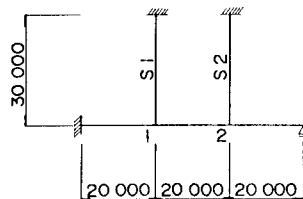


図-1 計算に用いた2斜材モデル

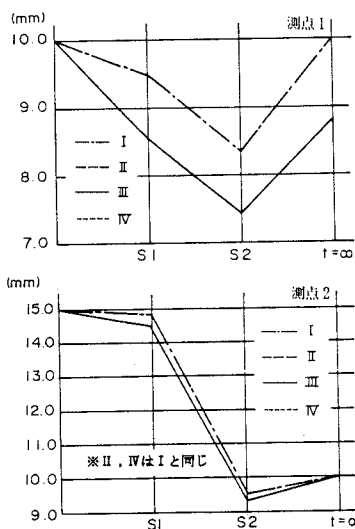


図-2 Case-1の変位履歴

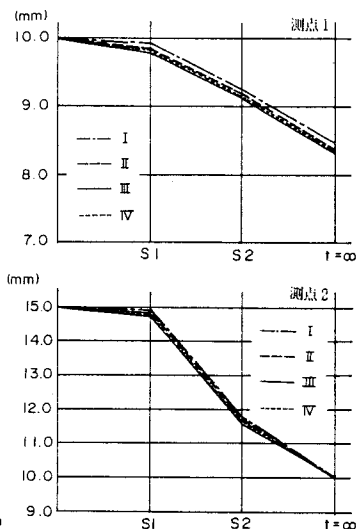


図-3 Case-2の変位履歴

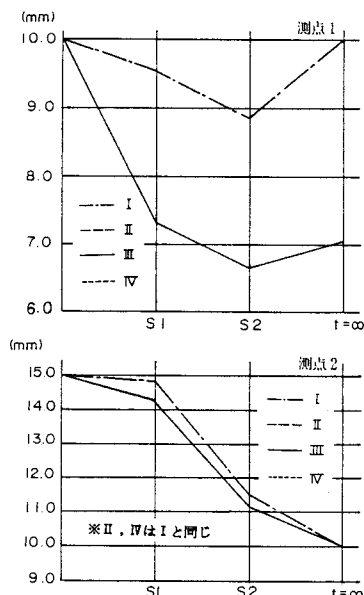


図-4 Case-3の変位履歴

整でゆるめるような解が得られている。この後、クリープにより張力がぬける方向、つまり、桁が上がるように変形するため、張力調整はこれを見込んだものとなり、変位は張力調整時は許容値よりかなり小さくなっている。しかし、クリープ終了後ではこれらの変位はいずれも許容値に収束している。規準Ⅰ, Ⅱ, Ⅳは両測点の変位がアクティブとなっているが、規準Ⅲは図-2からわかるようにたわみやここには示していないが応力の残留誤差が小さく、他に比べ有効であるといえる。

Case-2はCase-1の逆で、たわみの施工誤差の方向と斜材張力の施工誤差を小さくするように張力調整を行った時の変形方向が同じであるため、Case-1に比べ厳しい条件といえる。このように厳しい条件下であるため、規準Ⅰ～Ⅳで解にほとんど差はないが、Case-1同様、規準Ⅲは他に比べてたわみ・応力の残留誤差が小さくなる。

Case-3は、斜材張力の施工誤差がS1, S2で逆の場合である。Case-1に比べS2の施工誤差が逆であるため、S1を大幅にゆるめることで斜材張力の残留誤差を打ち消しクリープ変形による仕事量を減している。主桁の残留応力は規準Ⅲが最大だがクリープによる変動は小さい。また、たわみおよび斜材張力の残留誤差はいずれも規準Ⅲが小さくなる。

このように、PC斜張橋は、斜材張力の施工誤差が除去できない以上、それによるクリープ変化を取り入れた張力調整を行うことは非常に有意義であるといえる。

4. おわりに

本研究はPC斜張橋の特性をふまえた仕事量最小規準による精度管理手法を提案し、従来よく用いられてきた目的関数と比較検討した。その結果、PC斜張橋の精度管理は、鋼斜張橋の手法がそのままでは使えず、PC斜張橋特有のクリープの影響を考慮しないと最適化が困難であることを示した。また、弾性変形による仕事量を最小にする規準、つまり、クリープ変形を制約条件で取り扱うだけでも最適化が行えるが、クリープ変形をも含めた仕事量を最小にする規準を用いると、より最適な精度管理が行えることを示した。

参考文献 1) 松村博・新家徹・頭井洋・寺西功: 斜張橋のケーブル張力計測と張力調整、橋梁と基礎、第13巻、第8号、pp.30-36、1979年8月。 2) 藤澤伸光: 斜張橋架設時のシム量決定法、橋梁と基礎、第18巻、第9～10号、1984年9月～10月。 3) 古川浩平・井上幸一・中山弘隆・石堂一成: 多目的計画法を用いた斜張橋の架設時精度管理システム、土木学会論文集、第374号、pp.495-502、1986年10月。