

I-136

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

山口大学工学部 正員 古川 浩平
住友建設㈱ 正員 熊谷紳一郎

日本道路公団 正員 角谷 務
住友建設㈱ 正員 新井 英雄

1. まえがき

我が国におけるプレストレストコンクリート斜張橋の発達はめざましい。すでに国内実績が20橋を数え、現在計画中の長大PC斜張橋も数橋あり、設計・施工上の問題解決が組織的に行われている。その中で、現在解明が必要な大きな問題の1つは、PC斜張橋の最適な斜材張力をいかに決定するかの問題である。PC斜張橋が鋼斜張橋と異なる点として、斜材と主桁内PC鋼材の2つの応力調整機構が存在し、この両者を連成した上での最適斜材張力決定問題としての取り扱いが必要であることと、施工中や完成後に発生するクリープ断面力が挙げられる。本研究においては、PC斜張橋に特有な問題である斜材と主桁内プレストレスの2つの応力調整機構を連成した上での最適斜材張力決定問題を定式化した上で、さらにクリープ断面力発生メカニズムを明らかにし、このクリープを最適化過程でどのように取り扱うかを考察する。

2. 目的関数の定式化

PC斜張橋においては、上述のように斜材張力だけではなく、主桁内プレストレス量やクリープによっても断面力が発生する。そこで、主桁内プレストレスやクリープの影響を取り入れて、以下の3種の規準によって目的関数を定式化し、最適化を行う。

a) 規準1: この規準は自重等の死荷重状態に対して斜材張力のみを決定する。歪エネルギーUには死荷重+斜材張力によるものが含まれる。この目的関数は次式で示される。

$$U = \int \frac{1}{2EI} (M_D + M_S^T P)^2 dx + \int \frac{1}{2EA} (N_D + N_S^T P)^2 dx \quad (1)$$

ここに、 M_D 、 N_D は死荷重断面力、 M_S 、 N_S は単位斜材張力による断面力影響値、 P は斜材張力である。

b) 規準2: クリープ終了後の死荷重状態に対して斜材張力のみを決定する。Uには規準1に加えてクリープ発生断面力が含まれる。この目的関数は次式となる。

$$U = \int \frac{1}{2EI} \{ (M_D + M_S^T A P_L) + (M_S^T - M_S^T A) P \}^2 dx + \int \frac{1}{2EA} \{ (N_D + N_S^T A P_L) + (N_S^T - N_S^T A) P \}^2 dx \quad (2)$$

ここに、 A はクリープによる斜材張力を回転・拡大・縮小する係数行列、 P_L はクリープ係数が無限大時に収束する張力で、構造系が決まると初期張力と関係なく決まるため固有張力と呼ぶ。

c) 規準3: 活荷重による断面力を算出し、主桁コンクリート断面に許容値以上の引張応力度が生じないように斜材張力と主桁内プレストレス量を決定する。Uには規準1に加えて主桁内プレストレスが含まれる。この目的関数は次式で示される。

$$U = \int \frac{1}{2EI} \{ (M_D + M_{P0}) + (M_S^T + M_{P1}^T) P \}^2 dx + \int \frac{1}{2EA} \{ (N_D + N_{P0}) + (N_S^T + N_{P1}^T) P \}^2 dx \quad (3)$$

ここに、 M_{P0} 、 N_{P0} は $P=0$ の主桁内プレストレス量、 M_{P1} 、 N_{P1} は単位斜材張力当りの主桁内プレストレス変化量である。

3. 数値計算例及び考察

図-1に示すタイプ1～4の4種のモデルで計算を行う。タイプ1は左右対称の構造系、タイプ2、3は

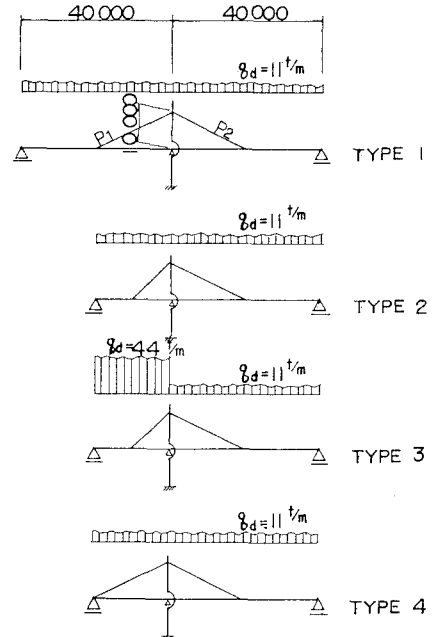


図-1 計算に用いた2斜材モデル

左右非対称で、左側スパンの死荷重強度を変化させており、タイプ4は左側スパンの斜材を支点上にアンカーした構造とする。以下の計算例では主塔に生じる曲げモーメントを零にする制約条件の下で最適化を行う。表-1に各タイプ毎に規準1～3を用いて求めた斜材張力の最適解とクリープ変化の計算結果を示す。

タイプ1は構造的に対称であるために主塔曲げの制約とは無関係に最適解が求まり、規準1、2のもとではこの解は固有張力と一致する。規準1、2ではクリープにより張力変化は生じないが、規準3ではクリープにより張力の減少が生じる。タイプ2は非対称な構造系でアンバランス性がきわめて大きい。そのために死荷重のみの状態で求めた固有張力 P_L では主塔左右に水平力差 ΔH を生じる。規準1、2で $\Delta H = 0$ の制約のもとで得られた最適張力は固有張力と大きく異なり、そのためクリープにより張力が変化して、最終的に主塔に大きな水平力差を発生する。これに対して規準3では規準1、2程大きな水平力差は生じない。これは主桁内プレストレスが死荷重状態をかえることで固有張力を変化させ、クリープによる張力変化量が抑制されたものと考えられる。

次に、死荷重をバランスさせたタイプ3では、固有張力の水平力差がほとんどなくなり、クリープにより生じる張力もそれに応じて小さくなる。タイプ2、3での規準3を比べると、水平力差が18.1t から-10.8tへ変化している。このことは適当な死荷重強度を用いれば水平力差が出ない斜材張力を決定できる可能性を示している。タイプ4のようにバックステーを設けた構造では、タイプ3のような死荷重強度の調整をすることなしに全ての規準で最適解と固有張力がほぼ一致しクリープに対する安定性を示している。

このように規準1、2による最適解はタイプ1、3、4のようにバランスのとれた構造系ではクリープに対して安定した解となるが、タイプ2のようなアンバランスな系ではクリープによる張力変化の大きい解となる。規準2ではクリープ発生断面力を含めて定式化を行ったがこの規準では構造系のクリープ特性を変えることができないことがわかる。一方、規準3により主桁内プレストレス量を含めて定式化すると、タイプ2のモデルでも固有張力 P_L' がよりバランスの良い状態となり、クリープによる水平力差の変化が大幅におさえられる。つまり、タイプ2のような構造系では斜材張力と同時に求められた主桁内プレストレスが系のバランスを好転させ、クリープによる張力変化を小さくさせる方向に働くと考えられる。

4. 結論

- (1) PC斜張橋の最適斜材張力決定問題においては、鋼斜張橋と異なり、斜材張力と主桁内プレストレスの2つの異なる応力調整機構を連成して解く必要があり、こういった定式化を行わない限り、PC斜張橋の最適な張力決定が困難な場合がある。
- (2) 死荷重のアンバランスが著しい場合の構造系に生じるクリープ変化に対しては、死荷重と斜材張力のみで定式化した規準では対処が難しいが、主桁内プレストレスを考慮した規準ではクリープ変化が少ない最適解を得ることができる。これは主桁内プレストレスの曲げ成分が死荷重のアンバランスを補うためである。

表-1 斜材張力の最適解とクリープ変化量 (単位: t)

		タイプ 1			タイプ 2			タイプ 3			タイプ 4		
		P1	P2	ΔH	P1	P2	ΔH	P1	P2	ΔH	P1	P2	ΔH
規準 1	固有張力 P_L	558.5	558.5	0.0	399.6	485.4	133.7	698.7	553.5	1.0	529.6	533.3	3.3
	最適解 P_0	558.5	558.5	0.0	524.6	414.7	0.0	699.4	552.9	0.0	533.1	533.1	0.0
	クリープ変化 P_c	0.0	0.0	0.0	-82.2	53.3	105.6	-0.5	0.5	1.0	-2.3	0.5	2.5
	合計張力	558.5	558.5	0.0	442.4	468.0	105.6	698.9	553.4	1.0	530.8	533.6	2.5
規準 2	固有張力 P_L	558.5	558.5	0.0	399.6	485.4	133.7	698.7	553.5	1.0	529.6	533.3	3.3
	最適解 P_0	558.5	558.5	0.0	484.5	383.0	0.0	698.7	552.4	0.0	532.0	532.0	0.0
	クリープ変化 P_c	0.0	0.0	0.0	-80.6	72.2	107.4	-0.2	0.8	1.0	-1.7	1.2	2.6
	合計張力	558.5	558.5	0.0	423.9	455.2	107.4	699.5	553.2	1.0	530.3	533.2	2.6
規準 3	固有張力 P_L'	532.2	532.2	0.0	425.7	366.2	26.5	666.4	514.8	-10.8	482.1	489.8	6.9
	最適解 P_0	588.7	588.7	0.0	519.1	410.4	0.0	715.1	565.4	0.0	537.3	537.3	0.0
	クリープ変化 P_c	-35.2	-35.2	0.0	-53.0	-21.7	18.1	-25.1	-31.9	-10.8	-31.5	-30.0	1.3
	合計張力	553.5	553.5	0.0	466.1	388.7	18.1	690.0	553.5	-10.8	505.8	507.3	1.3