

長岡技術科学大学 正会員 林 正
 大阪大学 工学部 正会員 前田 幸雄
 日本鋼管 正会員 柄 一

1. まえがき

斜張橋には多様の構造形式が存在し、かつ、主桁とケーブルの剛比のわずかな変化が構造全体の弾性挙動に敏感に影響することから、斜張橋をより経済的に設計することはかなり困難なことである。したがって、斜張橋のような異種材料が用いられている複雑な構造物を合理的に設計するためには最適設計の手法が有効であると考えられる。しかし、設計計算に必要な全ての断面諸量をそのまま設計変数とした最適設計法では、変数の数が極めて多くなるために最適設計のための計算時間が長くなり、実用面での経済性の問題が生じる。そこで、斜張橋の構造特性を考慮した計算手法を用いることによって、計算時間の短かい概略設計のための実用的な最適設計法を開発した^{(1), (2)}。数値計画法による最適設計に対して、最適基準パラメータを用いた斜張橋の設計法が発表されている⁽³⁾。本研究では上述の計算法を用いて斜張橋の最適剛比について検討した結果について報告する。

2. 斜張橋の最適設計法

最適設計においては使用鋼種のコストの相違を考慮して、全鋼材の換算重量を目的関数とした最適化を行ない、解法にはSLPを用いた。最適設計法の詳細については省略するが⁽¹⁾、その概略的な手法は次のようになる。

- ① 構造解析では斜張橋を平面骨組構造物とみなして、微小変位理論に基づくマトリックス法を用いる。
- ② 最適設計においては、主桁のスパン割やケーブル配置等の基本形状は与えられているものとする。
- ③ 制約条件には、道路橋示方書⁽⁴⁾の規定による応力度照査と活荷重に対するたわみ制限を用いる。
- ④ ケーブルのプレストレス量は、死荷重による主桁の曲げモーメント分布を均一化し、同時に完成形状に対するたわみ調整ができる手法を用いて決定し、最適計算における設計変数から除外する。
- ⑤ 活荷重の載荷位置は、初期値についての影響線解析の結果から設計計算に意味のある載荷位置だけを選び出して最適化の計算量を少なくする。
- ⑥ 数値計算の効率化のために2段階最適化手法を用いる。すなわち、図-1に示すように、第1段階で得られた解を初期値として主桁と塔の鋼種及び設計変数の変更を行ない、また活荷重位置を求め直すことによってより最適な解を得ようとする手法である。
- ⑦ 各部材の上・下縁応力度を状態変数とする代りに、応力度変数(許容応力度に対する繰応力度の比)を状態変数を用いて制約条件の数を数十分の一に減少させた。

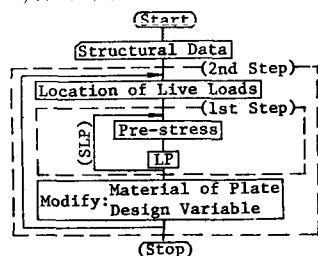


図-1 2段階最適化手法

3. 構造形式と断面諸量

数値計算には、図-2に示す径間連続斜張橋を用いた。ケーブルの張り方はRadialとHarp Typeの2形式とし、それぞれにおいて2段と4段にケーブルを張る2形式を計算した。

各部材の断面形状は図-3に示すとおりである。図中の英文字は設計変数として扱ったものであり、数字は一定としたことを表す。各設計変数に対する制約条件は次のとおりである。

$$T_u \geq 18 \text{ mm}, T_t \geq 13 \text{ mm}, H_t \leq 1600 \text{ mm} \text{ (4段ケーブル: } 2000 \text{ mm)}$$

鋼板の鋼種にはSS41材とSM50材を、ケーブルにはPWSを用い、

それらのコスト比を1.0:1.15:2.0とした。したがって、目的関数はSS41材に換算した重量である。

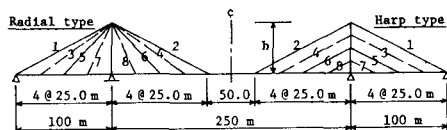


図-2 構造形式

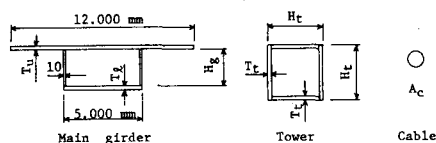


図-3 断面諸量

4. 無次元パラメータ

斜張橋の最適な剛比を調べるために、次の無次元パラメータを用いる。

$$\rho = \frac{h}{L_0}, \quad \nu = \frac{E_s I_s}{E_0 I_0}, \quad \kappa = \frac{L_0^2 E_c \sum A_{ci}}{E_0 I_0}, \quad \kappa_i = \frac{L_0^2 E_c A_{ci}}{E_0 I_0} \quad \left(\begin{array}{l} \text{2段ケーブル: } i=1, 2, 5, 6 \\ \text{4段ケーブル: } i=1, 2, \dots, 8 \end{array} \right)$$

ここに、 L_0 、 $E_0 I_0$ は基準長及び基準剛度であり、主桁の中央径間長及び平均曲げ剛性を用いた。 ρ と ν は塔の高さと曲げ剛性に関するパラメータ、 κ と κ_i は全ケーブル及び個々のケーブルの伸び剛性に関するパラメータである。これらのパラメータのうち、 ρ は構造寸法に関するものであって、最適設計においては設計変数として扱っていないが、他のパラメータは最適計算により一意的に決定される。そこで、 ρ の値を変化させて最適設計を行ない、塔の高さによる他のパラメータの変化を調べる。

5. 最適剛比

塔の高さとコストの関係を示したのが、図-4の曲線である。ここに、 R と H はそれぞれ Radial と Harp type を表わし、添字はケーブルの段数を示す。図から $\rho = 0.16 \sim 0.20$ の範囲でコストは最小であり、また、 R 、 H -type とケーブル本数が多い程コストは低くなっている。

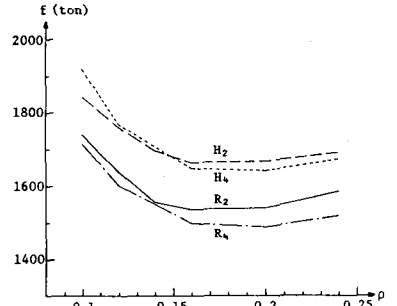


図-4 ρ による目的関数の変化

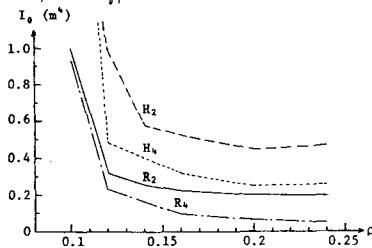


図-5 ρ による I_0 の変化

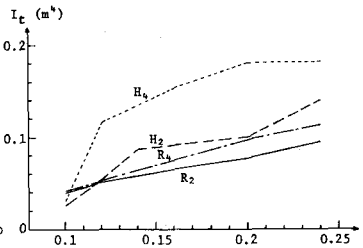


図-6 ρ による I_t の変化

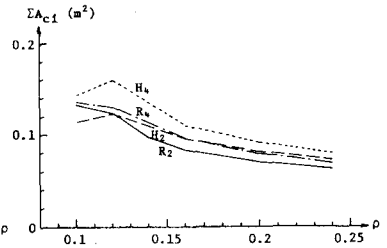


図-7 ρ による $\sum A_{ci}$ の変化

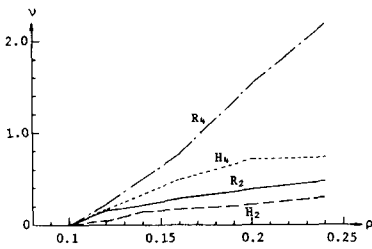


図-8 ρ による ν の変化

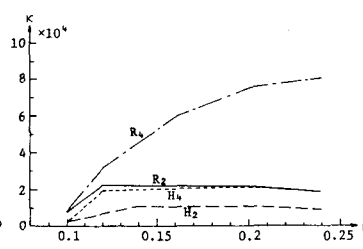


図-9 ρ による κ の変化

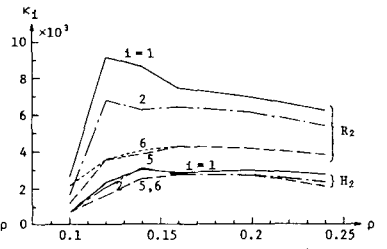


図-10 ρ による κ_i の変化

各部材の断面量の変化を図-5~7に、無次元量の変化を図-8~10に示す。図-8, 9より R_4 -type の ν と κ は他の形式とは異った傾向を示しているが、これは図-5に示した主桁の断面2次モーメントが最も小さくなっているためであり、 R_4 -type がケーブルによる補剛効果が最もよく現われているといえる。すなわち、塔が高くなると主桁の弾性挙動は基本形式である径間連続橋から17径間連続橋の挙動に近づくために、塔とケーブルの剛性はそれぞれ変化しないが相対的な剛比は著しく変化することになる。他の形式では、コストが最小になる $\rho = 0.16 \sim 0.2$ の範囲では各パラメータの値は大きく変化しておらず、特に κ と κ_i はほぼ一定になっていることから、この一定値を図-2, 3に示した構造形式に対する最適な剛比であると考えられる。

以上の計算結果から、形式によっては鋼材のコストのみを考慮した経済的観点から最適と思われる剛比が存在するが、種々の構造形式や荷重強度等も含めた斜張橋の一般的な最適剛比を求めることは困難であると予想される。

- 1) 前田・林・瀬: 斜張橋の最適設計法, JSSC第6回マトリクス解析法研究発表論文集, 1979. 2) 前田・林・瀬: 斜張橋の最適設計に関する考察, 昭和64年度土木学会関西支部年次学術講演会講演要旨, 1979. 3) 山田・大高司: 斜張橋の最適基準設計に関する研究, 土木学会論文報告集, No. 263, 1976. 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 1973.