

京都大学工学部 正員 〇古川浩平
 京都大学工学部 正員 山田善一

1. まえがき

最近土木構造物の形状に関して、種々の観点からのアプローチがなされている。一般に設計とは多くの自由度の中から最適な一組の解を導き出す作業である。その設計変数の中には、形式や形状に関する変数が含まれるのは当然であろう。形式や形状の決定は設計の最も基本的な段階であり、ここにおける決定は後に続く設計の各段階に多大な影響を及ぼす。しかもこの形式や形状の決定には多くの複雑な要素がからみ、従来この決定は直感あるいは経験的に決められてきた。しかしこれらの決定に対しても、最適化手法を取り入れてより合理的な決定を行なおうとする試みがなされており、本研究もその一つである。

現在日本では本州四国連絡橋の建設が行なわれており、その中には数多くの吊橋を含んでいる。吊橋タワービアー系に対しては耐震設計の重要性が指摘され、多くの研究がなされてきた。吊橋タワーは一種のモニュメント的な意味あいもあり、その形式やブレーシングの配置による美観が問題とされ、美観点からのアプローチもなされ始めている¹⁾。本研究においては吊橋タワーの形式や形状が地震応答に及ぼす影響を制約条件を図示することによって示し、さらに最適化手法を使って最適な形状を求めようと試みたものである。

2. 最適設計の定式化

(1) 設計モデル 本研究で計算の対象とする設計モデルを図-1に示す。吊橋タワーの形式に関しては主として図示の3形式があり、この形式によって動的応答の異なることが知られている。最適化手法を用いても形式間の移行は不可能なので、形式に関しては図示の3形式を与える。形状に関してはHをその設計変数とする。

(2) 動的応答解析 地震荷重は本図の設計に用いている応答スペクトルを使用し、応答はRMS法により求める。

(3) 目的関数 タワー鋼材の総重量を用いる。

(4) 制約条件 以下の6条件を用いる。①地震時におけるビアー頂変位 ②地震時における軌道面変位 ③地震時におけるタワー頂変位 ④地震時におけるタワー各部材の縁応力 ⑤タワーの全体座屈 ⑥構造各部材の最小部材寸法および形状の上下限

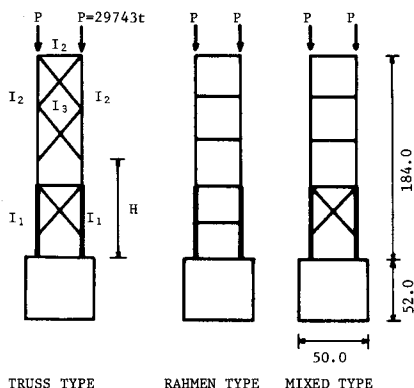


図-1 設計モデル

(5) 最適化手法 上記のように定式化すると、目的関数、制約条件共に非線形となるため、Powellの直接探索法を用いたSUMTを用いる。形状変更に関しては制約緩和法を用いる。

(6) 制約緩和法 最適化にあたり、形状に関する設計変数と他の構造寸法に関する設計変数とを同一に扱うことはできない。なぜなら一般に形状に関する設計変数を変更しても、目的関数である重量はほとんど、あるいは全く変化しない。そのため形状変更に関しては最適化にあたって別のアルゴリズムが必要である。本研究ではSUMTの中で形状変更にかかわる部分に関しては、形状変更の目的関数として最も厳しい制約を緩和させることとする。この時断面は変更しないので重量は変化しないが、形状変更のために制約が緩和されているので、形状変更がなかった場合より、より大きく断面に関する設計変数を変化させることができ、目的関数である重量の減少に寄与することができる。

3. 計算例および考察

(1) 制約条件を用いた地震応答に及ぼす形状の影響

図-1に示す設計モデルに対して、これらのモデルの地震応答特性と形状との関係を、制約条件を図示することによって明らかにする。そのために図示できるように設計変数を2つにしぼる。本例においては図-1に示す設計変数のうち、 $I_1=I_2=I$ 、 $I_3=0.15\text{ m}^4$ とし、 I と H を設計変数にする。 I が構造断面に関する変数、 H が形状に関する変数である。図-2にトラス形式の1次の固有振動数制約を示す。横軸は I 、縦軸は H である。この図-2より明らかなように、1次の固有振動数は構造断面および構造形状の両者の影響を受けている。同断面の場合、 H が大きくなるにつれ ω_1 が小さくなり、同形状では断面の減少につれて ω_1 が小さくなり、構造物はフレキシブルになっている。図-3、4にラーメン形式およびトラス・ラーメン併用形式の1次の固有振動数制約を示す。計算に用いた数値は前例のトラス形式と同じである。この制約はいずれも縦軸とほぼ平行であり、地震応答は形状とは無関係に構造断面の大きさによってのみ支配されていることを示している。このような形式においては、地震応答に対しては形状変更の意味はなく、形状は全く別の観点（たとえば美観）から決定してもよいことを示唆している。またラーメン形式とトラス・ラーメン併用形式では同じ0.3Hzの制約の位置に大きな差があり、地震応答に関しては併用形式の方が有利であることを示している。

(2) 形状を考慮した最適設計

図-1に示すトラス形式のタワーを対象にして最適化を行なった。この場合制約条件①～⑥の許容値を求める必要がある。これらに関しては軌道面に鉄道を通るものと仮定し、その脱線限界から軌道面変位の許容値などを決め、次のような値を用いた。①は $X_{p,a}=0.025\text{ m}$ 、②は $X_{r,a}=0.05\text{ m}$ 、③は $X_{t,a}=0.30\text{ m}$ 、④は $\sigma_a=37,700\text{ ton/m}^2$ 、⑤は安全率2、⑥は各部材最小値 0.01 m^4 、 H の上下限として、 85 m 、 180 m を用いた。その最適設計の結果を図-5に示す。ブレースングの下端は 150 m から 112 m に低下してきている。この形状は従来の設計例に比べると、軌道面と最下端の斜材との間隔が広がっている。 I_3 は急速に最小値である 0.01 m^4 に接近してくるため、ブレースング断面はかなり小さくてもよいことがわかる。最適解を規定している制約は座屈とタワー下端応力であり、タワー各点の変位制約は利いていない。

4. あとがき

以上のように吊橋タワーの形状が地震応答に及ぼす影響を制約条件を用いて求め、SUMTを用いてその最適化を行なった。その結果、タワーの形式によって形状が及ぼす影響の異なること、トラス形式においてはブレースングの最適な配置のあることがわかった。

参考文献 1) 土木学会 本州四国連絡橋鋼上部構造研究小委員会構造景観分科会：大鳴門橋主塔の構造景観，土木学会，昭和52年9月。

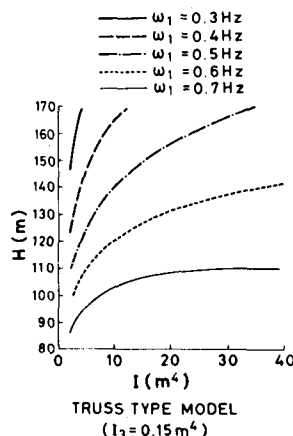


図-2 固有振動数制約 (トラス形式)

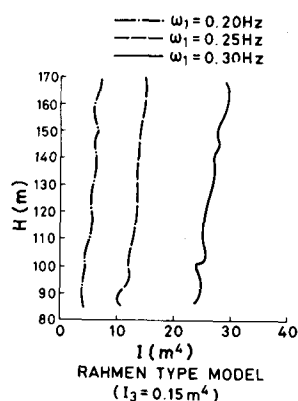


図-3 固有振動数制約 (ラーメン形式)

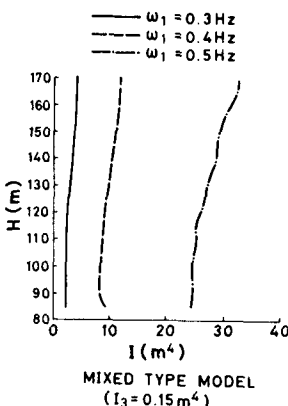


図-4 固有振動数制約 (併用形式)

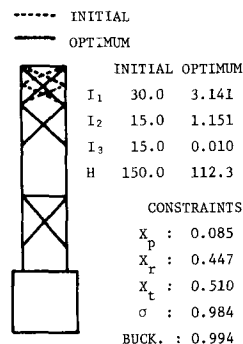


図-5 最適設計結果