

吊橋主塔の形状を考慮した最適設計に関する一研究

京都大学工学部	正 員	山田善一
京都大学工学部	正 員	古川浩平
日本鋼管	正 員	○ 坂之上 純

1. まえがき

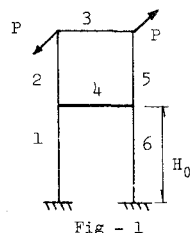
動的外力を受ける吊橋タワーピア一系の最適設計として、橋軸方向¹⁾、および橋軸直角方向²⁾に関して筆者らは研究を行ってきた。とくに、橋軸直角方向に関しては、主塔形式をラーメン形式、トラス形式、ラーメン・トラス併用形式の3形式に分類し、最適設計することにより、ブレーシングの配置が動的挙動に影響を与え、さらに耐震的にはトラス形式がもっとも有利であるとの結論を得ている。しかし、これらの研究は設計変数として、断面定数(断面積、断面2次モーメント)のみを取り扱ってきたため、比較設計に頼らざるをえなかった。形状に関する設計変数を加えることにより、さらに目的関数を減少させることが可能であると考えられる。本研究は主塔の動的挙動およびケーブルの張力差によって生じるねじれ挙動に対していかなる形状が有利であるかを検討する。

2. 問題の定式化

- 1) 地震動モデル 地震動を本州四国連絡橋の設計に用いている応答スペクトルでモデル化する。
- 2) 解析モデル 主塔が数個の設計変数で決定されるように簡略する。断面に関する設計変数としては断面2次モーメントをとり、それによって主塔の柱部、ブレーシング材の断面を代表させる。形状に関する設計変数としては、指定された節点の座標をとる。また、断面積および断面極2次モーメントは、断面2次モーメントの関数として与える。
- 3) 減衰定数 すべてのモードに対して0.02とした。
- 4) 目的関数 目的関数は主塔の全重量とした。
- 5) 制約条件 ④地震時における主塔各断面での縁応力が与えられた許容値を越えてはならない。⑤地震時における主塔頂水平変位が与えられた許容値を越えてはならない。⑥地震時における軌道面水平変位が与えられた許容値を越えてはならない。⑦主塔柱部は垂直方向圧縮力によって座屈してはならない。⑧ねじれに対しては主塔各断面での縁応力および塔頂の面外変位が与えられた許容値を越えてはならない。
- 6) 最適化手法 以上のように最適設計の定式化がなされる。この場合、目的関数、制約条件共に非線形となり、かつ微分できない形となっている。そのため非線形計画法としては微分する必要がなく、しかも global な最適解が得られる可能性の大きいとされている Powell の Direct Search Method を用いた SUMT を利用した。形状変更の手法としては SUMT の中に制約緩和法を取り入れた。これについては以下に述べる。

3. 制約緩和法

最適形状を得る場合、最も確実な方法はいくつもの形状を与え、それらについて断面に関して最適設計をし、それぞれ比較する方法である。しかしこの場合、数多くの形状を考えねばならなくなり計算時間に問題がある。また、形状に関する設計変数を他の設計変数と同様に扱った場合、目的関数を減少させるような移動は望めない。つまり、形状に関する設計変数 H_0 が変化したとしても Fig-1 のような構造の場合、全重量には影響しないのである。そこで H_0 は重量を減少させる方向に動かすのではなく、断面を変えずに制約を緩める方向に動かすことを考える。この場合、制約が緩和されることにより形状の変化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、重量減少に寄与することができる。本研究では Powell の Direct Search Method を用いた SUMT を利用しており、断面変更ごとに、この制約を緩和することを作用させ、繰り返し計算により最小重量になる形状を求めている。



4. 計算結果

Fig 2 ~ Fig 4 に制約緩和法によって得られた結果を示す。荷重条件は橋軸直角方向地震入力にとっている。Fig-3 において X_1 (Tower leg), X_2 (Tower top) の初期値は 50 m, H_0 の初期値は a) が 80 m, b) が 120 m である。Table-1 によると a), b) の収束解はほとんど一致している。制約は軌道面、塔頂の両方できいており、塔基部の応力もかなり制約に近くなっている。これらのことより、この手法の信頼性が満足されたと考える。Fig-4 にその他のモデルについて得られた形状を示す。

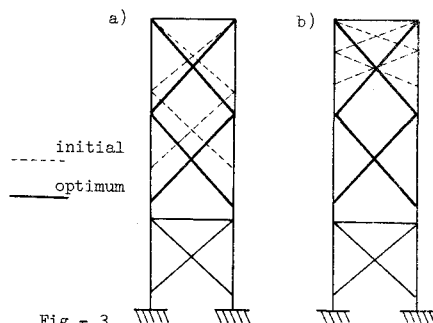
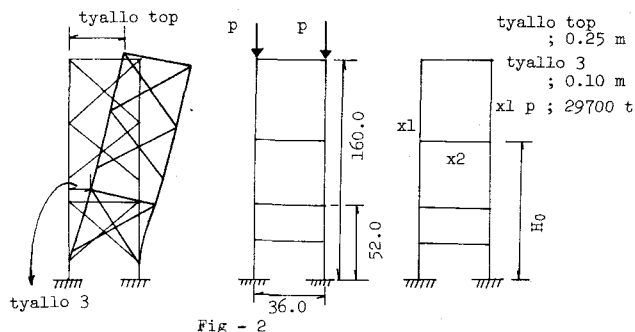
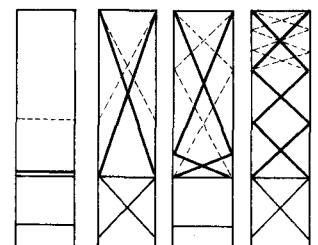


		Table - 1					
		Initial value			Optimum sol.		
Tower leg	a	50.0			0.003		
	b	50.0			0.003		
Tower top	a	50.0			0.003		
	b	50.0			0.003		
Strut	a	50.0			0.004		
	b	50.0			0.003		
H_0	a	80.0			62.5		
	b	120.0			62.2		
Object	a	25000			1080		
	b	25500			1040		
Constraint		a) 1			b) 1		
deflection		0.0	0.999	0.999	0.0	0.999	0.999
stress		0.970			0.954		



1) Y. Yamada, K. Furukawa, "Application to the Earthquake-Resistant Design of the Tower and Pier System of Suspension Bridges," Preliminary Report of 10th Congress of IABSE, 1976 2) 山田他 "地震荷重をうける97-ピア系橋軸直角方向の最適設計" 土木学会第31回年次学術講演会概要集, 1976年10月