

京都大学工学部 ○正員 古川浩平
同 正員 山田善一

1. まえがき

地震外力をうけるつり橋タワーピアー系橋軸直角方向の最適設計について、筆者らはすでにいくつかの研究も発表している⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。それらによれば、橋軸直角方向に働く、タワーの形式も、トラス形式、ラーメン形式、トラス・ラーメン併用形式の3形式に分類し最適設計を行なった結果、トラス形式が耐震的に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、断面の諸定数(断面2次モーメントや断面積など)のみを取り扱っており、形状は固定されたままであり、はじめに与えた形状が最適なものであるかどうかはわからない。これらに形状に関する設計変数も加えることにより、さらに目的関数を減少させることが可能であり、最適な形状を求めることは可能である。本研究は地震荷重が作用するタワーピアー系において、耐震上最適な形式や形状を求めようとするものである。形状を変更する方法として、SUMTの中に制約緩和法を取り入れて形状の最適化を試みている。

2. 制約緩和法

最適形状を求める場合、少しずつ形状を変えて、その形状について断面の最適設計を行ない、その結果を比較して目的関数が最も小さい形状を最適形状として選ぶことが最も確実である。しかしこの方法では、無数の形状を考えねばならず、計算時間の点で不可能である。かといって形状に関する設計変数も他の断面に属する設計変数と同様に扱った場合、総重量もしくは総コストといった目的関数に影響を与えようとするのはおかしい。例えばFig. 1に示す構造物において、断面を変化させずに部材4の位置Hを変化させたとしても総重量には影響がない。

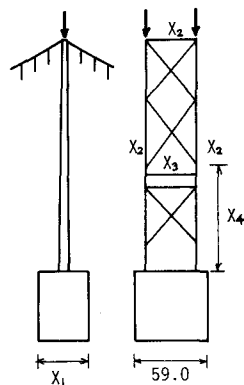


Fig. 2

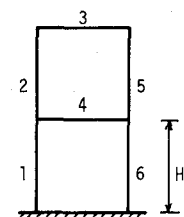


Fig. 1

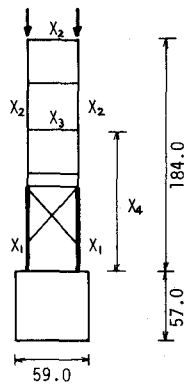


Fig. 3

そこでHは重量を減少させる方向に動かすのではなく、制約を緩和させる方向に動かすことにする。この場合断面は変化させないから、総重量もしくは総コストは変化しないので、目的関数としては制約の満足度をとり、形状変更による制約の緩和されることにより、形状の変化がなかった場合より大きく断面に属する設計変数も変化させることができ、総重量もしくは総コストをより減少させることが可能である。本研究ではPowellのDirect Search Methodを用いたSUMTを使い、断面変更毎にこの形状を変化させて制約を緩和させ、さらに断面変更を行なうという繰り返しを行ない、最適解を求めた。

3. 計算例

本研究で計算の対象とした設計モデルをFig. 2, Fig. 3に示す。

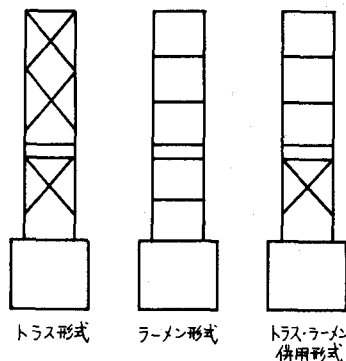


Fig. 4

Fig. 2は設計変数にピアとタワーの両方を考えた場合であり、Fig. 3はピアの形は与えて、タワーの変数のみを設計変数とした場合である。いずれの場合も形状に関する変数は1つである。計算の対象となるタワーの形式はFig. 4に示すような3形式である。

制約条件としては以下の7種を考慮している。①地震時におけるタワー各断面での繰応力(σ_a) ②地震時におけるピア頂点変位(P_{top}) ③地震時における軌道面の水平変位($Trail_a$) ④地震時におけるタワーの頂点変位(T_{top}) ⑤タワーの座屈(BUCK.) ⑥ピア最小幅(A_{min}) ⑦形状の変数を与えられた上下限の内にいる。

また以下の計算においては、地盤の弾性定数 $E=300000 \text{ ton/m}^2$ 、座屈安全率1.5、入力加速度 180 gal 、減衰定数として、ピア-ピヤのモードに対しては0.10、タワー-ピヤのモードに対しては0.02、タワーとピアの連成モードに対しては0.05を用いている。

Fig. 5に制約緩和法を取り入れたSUMTによる収束のようすを示す。この例はFig. 3に示すように設計変数としてタワーの変数のみを用い、タワーの形式としてはトラス形式であり、 $\sigma_a=37700 \text{ ton/m}^2$ 、 $P_{top}=0.01 \text{ m}$ 、 $Trail_a=0.03 \text{ m}$ 、 $T_{top}=0.20 \text{ m}$ の制約を用いた場合である。最も厳しい制約を緩和されて次の制約と等しくなるように形状が変化していくことがわかる。

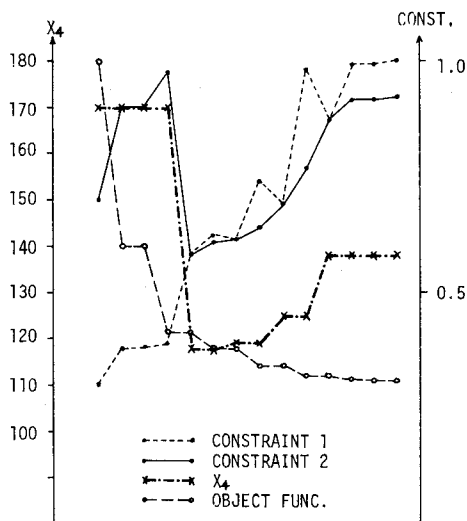


Fig. 5

Fig. 6, Fig. 7に計算結果の1例を示す。Fig. 6はFig. 5と全く同じ制約の場合、Fig. 7は同じモデルで変位の制約条件をゆるくして、 $P_{top}=0.03 \text{ m}$ 、 $Trail_a=0.20 \text{ m}$ 、 $T_{top}=0.30 \text{ m}$ とした場合である。Fig. 6, Fig. 7の場合共座屈制約が効いており、Fig. 6の場合は変位制約が厳しいため変位制約をうまく満たすような形状になり、2つある。またFig. 6の場合、プロトタイプとして $X_4=97 \text{ m}$ として形状を変化させずに最適設計を行なうと結果と比較すると、形状を変化させた方が約6%程目的関数値小さくなる。Fig. 7の場合、変位制約がゆるいので、変位制約が効かず形状は下限まで変化する。

ラーメン形式、トラス・ラーメン併用形式においては変位制約のいかんにかかわらず部材を均等に配置して形状が良くなる結果が得られている。これらの計算結果や地盤の弾性定数を変えた場合等については当日スライドにより発表する。

4. あとがき

以上のように形状を考慮してタワー-ピア系の最適設計を行なう下で、この制約緩和法を取り入れた方法は、制約が厳しくて複数の制約条件に制約されて最適解が求まる場合特に有効である。しかし制約の値に結果が大きく影響されるため、制約をうまく決めないと正しい解を得ることが難しい。

5. 参考文献

- 1) 山田他「動的荷重をうけるタワーの最適設計」昭和48年度関西支部講演概要
- 2) 石川他「地震荷重をうけるタワー-ピア系橋軸直交方向の最適設計」土木学会31回講演概要
- 3) 山田他「吊橋主塔の形状を考慮した最適設計に関する一研究」昭和52年度関西支部講演概要

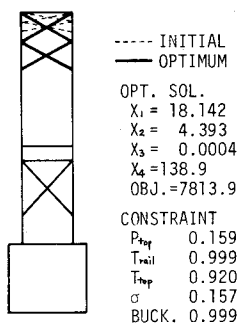


Fig. 6

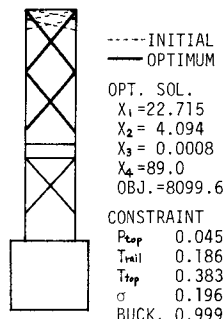


Fig. 7