

## 不規則振動論によるつり橋タワーピア系の最適設計

京都大学工学部  
京都大学工学部

正員 山田 善一  
正員 ○古川 浩平

### 1. まえがき

コンピューターと並んで最適設計の研究が数多く発表されつつあるが、それらの多くは静的な外力の場合を取り扱っている。しかし、実際の構造物の中には、動的な外力（たとえば地震外力とか風による外力）を考慮しなければならないものも多い。ニニズは従来より耐震上の考慮が十分に払われねばならないとされており長大つり橋タワーピア系をとり上げ、動的外力のもとでの最適設計を行ふ。

動的外力の取り扱いとしては、応答スペクトルを用いた確定論的取り扱いと、不規則振動論を用いた確率論的取り扱いが考えられるが、前者についてはすでに発表した<sup>1)</sup>。ニニズは同じモデルに対する後者の考え方より、地震を確率過程としてとらえ、タワーピア系に対する不規則振動解析を行い、確率過程の交差問題および最大応答の確率分布を利用することによりタワーピア系の破壊確率を求め、それを用いて最適設計を行う。

### 2. 問題の定式化

つり橋タワーピア系を以下のようないくつかのモデル化して最適設計問題として定式化する。

- 1) 解析モデル タワーピア系をFig. 1に示すようなくタワーは自由度集中質量系、ピアは回転のみを考慮した、合計9自由度系と考えて解析モデルとする。
- 2) 設計モデル タワーピア系が数個の設計変数でもって決定されるように簡略化する。ピアーは直方体のケーン基礎と考え、ピアーの橋軸方向幅をピアーの大きさを決定する設計変数とする。タワー断面は断面二次モーメントをタワー断面を決定する設計変数と考え、断面積や断面係数は断面二次モーメントの変数と仮定する。タワー断面の変化は、①高さ方向に一定、②高さ方向に線形に変化する、③下部のみを大きくする、といった3種のモデルを考えた。これらの設計モデルをFig. 2に示す。
- 3) 想定した地盤 地盤は弾性定数  $E_s$  を有す。従来の研究よりタワーピア系の地盤条件、ピアーの幅やタワーの断面により固有振動数の接近離反現象が起きるといわれるが、これが起つ。

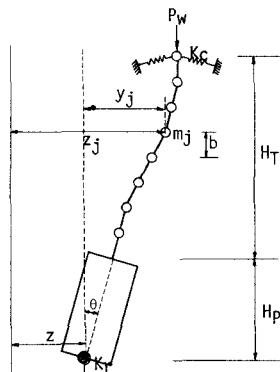


Fig. 1 解析モデル

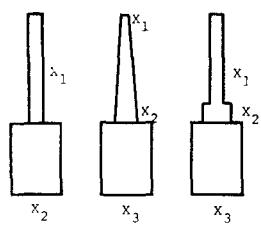


Fig. 2 設計モデル

$\lambda = 3^{\circ}$  の連成モードが表れ、タワーの振動がピアの振動に同調した現象を示す。こうした領域での設計を避けねばならない。 $\lambda = 2^{\circ}$  想定した地盤はこれらの領域が全く含まれるよう $10 \times 10^4 \text{ ton/m}^2 \sim 300 \times 10^4 \text{ ton/m}^2$  の値を採用した。

- 4) 地震動のモデル化 現在最も一般的に採用される確率過程と1つの地震動のモデル化の方法は、定常確率過程に従う $\eta(t)$ と、これを非定常確率過程にする確率関数 $\psi(t)$ との積で表す方法であるが、 $\eta = \psi(t) = 1$  とき 地震動を定常確率過程として取り扱う。定常確率過程 $\eta(t)$ は、平均値ゼロの定常ガウス分布に従うと仮定し、そのパワースペクトル密度を1つは、White Noiseと文献2)に示される3数個のピークを持つパワースペクトル密度を用いる。これらのパワースペクトルの最大加速度は確率変数の最大値推定法により 180 gal に合わせてある。
- 5) 最大応答の確率分布 最大応答の確率分布はまだ厳密解は求められていなか、種々の近似法が提案されてある。本研究では絶対応答値の最大値が一定値を越えないと確率、すなはち最大応答値の確率分布関数はポアソン過程に従うと仮定する。
- 6) 減衰定数 ピアがゆれるモードに対する 0.10 タワーがゆれるモードに対する 0.02 とした。ただし、3) でのベタのような連成モードが発生する領域ではピアがゆれる2種のモード共 0.05 を用いた。
- 7) 目的関数  $F = W_T + K W_p$  ここで  $W_T$ : タワーの重量、 $W_p$ : ピアの重量  $K$ : タワーとピアの単位重量当たりのコスト比である。
- 8) 制約条件 タワーとピア系の破壊モードは $\lambda = 3^{\circ}$  と考えられるが、 $\lambda = 2^{\circ}$  は以下の4つを考える。  
 a) タワーの緯応力が降伏応力を越えた時。  
 b) ピアの頂点変位が許容値を越えた時。  
 c) タワーが全体として座屈する時。  
 d) 自重と地盤力の合力がピアの底面幅の  $2/3$  の核内から出たとき。  
 以上の a), b) に際して不規則振動解析を行ない、破壊確率を求めた。この破壊確率が一定の許容値を越えないように制約条件を決める。  
 c), d) に関する動的応答の制約ではなく、タワーとピアに關する一種の寸法制約となり、2つある。
- 9) 最適化手法 以上のようにして最適化の定式がなされた。この場合目的関数、制約条件共に非線形となり、かつ偏微分できない形になり、2つある。  
 このため非線形計画法と1つは微分する必要もなく、しかも global な最適解を収束する可能性が最も大きいとされ、Powell の直接探索法を用ひた SUMT 法を用いた。

### 3. 計算例

計算例として、筆者らが従来より用いてきた、神戸市が明石架橋の試案と1つ設計例と、本四公団が南備讃瀬戸大橋と1つ設計した例を用いた。これらの計算結果は当日スライドで発表する予定である。

### 4. 参考文献

- 1) 山田善一・古川浩平“動的外力をうつり橋タワーとピア系の最適設計”土木学会第29回国際講習会講演概要集、1974
- 2) Y. Yamada, H. Takemoto “Statistical Estimation of the Maximum Response of Structures Subjected to Earthquake Motion” Proc. of JSCE No. 182, 1970