

1. まえがき

コンピューターの発達と共に最適設計の研究が数多く発表されているが、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。ここ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いる長大つり橋タワー-ピアー系をとり上げ、動的な外力のもとでの最適設計を行う。

動的な外力の取り扱いとしては、応答スペクトルを用いた確定的取り扱いと、不規則振動論を用いた確率的取り扱いが考えられるが、ここでは同じモデルに対して両者の考え方で計算を行い、結果を比較する。

2. 地震動のモデル化

- 1) 確定的手法 地震動を応答スペクトルにより表現する。用いた応答スペクトル曲線は、本州四国連絡橋の設計に用いているもので、これを Fig. 1 に示す。
- 2) 確率的手法 地震動を平均値ゼロで定常ガウス分布に従う定常確率過程と仮定し、そのパワースペクトル密度として、文献に示されている数個のピークを持つパワースペクトル密度とホワイトノイズを用いる。

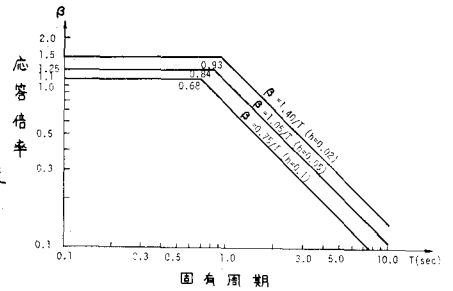


Fig. 1

3. 問題の定式化

つり橋タワー-ピアー系を以下のようにモデル化した最適設計問題として定式化する。

- 1) 解析モデル タワー-ピアー系を Fig. 2 に示すように、タワーは 8 自由度集中質量系、ピアーは回転のみを考慮した、合計 9 自由度系と考えた解析モデルとする。
- 2) 設計モデル タワー-ピアー系が数個の設計変数をもって決定されるように簡略化する。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、ピアーは直方体のリーソソ基礎とし、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。これらの設計モデルを Fig. 3 に示す。
- 3) 想定した地盤 地盤は弾性定数 E_s で表す。従来の研究よりタワー-ピアー系では、地盤条件、ピアー幅やタワー-断面の大きさにより、固有振動数の接近離反現象の起きることが知られている。そして固有振動数の接近は起る領域では連成モードが表れ、タワーの振動がピアーの振動に同調した現象を起すので、こういった領域での設計は避けなければならないとされている。そこで想定した地盤はこれらの領域が全て含まれるように、 $10 \times 10^4 \text{ ton/m}^2 \sim 300 \times 10^4 \text{ ton/m}^2$ までの値を考えたい。
- 4) 減衰定数 ピアーがゆれるモードに対しては 0.10、タワーがゆれるピアーがゆれないモードに対しては 0.02 とした。以下(3)のべたよう

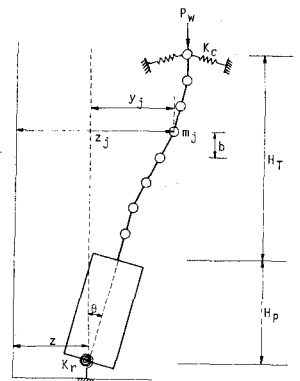


Fig. 2

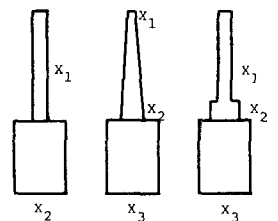


Fig. 3

な連成モードが表われる領域ではピア-がゆれる二種のモード共0.05を用いた。

5) 目的関数 $F = W_T + K \cdot W_p$ 二に W_T : タワーの重量, W_p : ピア-の重量, K : タワーとピア-の単位重量当りのコスト比 である。

6) 制約条件 タワー-ピア-系の破壊モードはいろいろ考えられるが、ここでは以下の4種を考える。

①タワーの繰応力が与えられた許容値を越えた時 ②ピア-の頂点変位が与えられた許容値を越えた時 ③タワーが全体として座屈する時 ④自重と地震力の合力がピア-の座面幅の2/3の核内から出た時(これはピア-の転倒と呼ぶ) である。①, ②に関して、確定論的手法では与えられた許容応力(平常時の許容応力 $\times 1.45$ 倍)と許容変位を越えないように制約条件を決める。確率論的手法では、不規則振動解析を行って与えられた繰応力と許容変位に関して破壊確率を求め、その破壊確率が与えられた一定の許容破壊確率を越えないように制約条件を決める。③, ④は動的応答が制約がなく、タワーとピア-間(二種の)の一種の手法制約となり、二つを、確定論的手法、確率論的手法共同の制約条件を用いてみる。

7) 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になり、二つ。そのため非線形計画法として数分する必要がなく、しかも global な最適解に収束する可能性が大きいとされる。Powell の直接探索法を用いた SUMT 法によった。

4. 計算例

計算例として、筆者らが従来より用いた事、神戸市明石架橋の試案として設計した例(神戸モデルと呼ぶ)と、本回公団が南備線神戸大橋として設計した例(本回モデルと呼ぶ)を用いた。入力した地震加速度は 180 gal だ。確率論的手法においては確率変数の最大値推定法により 180 gal に合わせ二つ。確率論的手法を用いたパワー-スペクトル密度は EL CENTRO 1940, TAFT 1952, OLYMPIA 1949 をシミュレートしたものである。

5. 結論

- 1) 確定論的手法での解も、確率論的手法での解も当然のことながら定性的には一致する。つまり、地盤の弾性定数 E_s の小さいところは動的応答、特にピア-頂点変位の制約が効いてくる。 E_s が大きくなるにつれてピア-幅が小さくなり、ある領域ではピア-頂点変位とピア-転倒制約が同時に効き、それより E_s が大きくなると、タワー-座面およびピア-転倒制約が効いてくる。
- 2) 確率論的手法においては、地震の最大加速度の大きさが同じでも、用いたパワー-スペクトル密度の形状により解は大きく異なる。特に EL CENTRO と TAFT との違いが大きく、これは神戸モデルでは1次および2次、本回モデルでは1次の固有円振動数が 5 rad/sec 以下になり、5 rad/sec までの形状の違いが解に大きな影響を与えていることが分かる。例えば 5 rad/sec までの範囲で最大加速度を等しくして計算した結果では、解とそれほどの差は出ない。
- 3) 応答スペクトルはいろいろの地震を用いて平均化したものが、不規則振動論を用いるパワー-スペクトル密度も、固有振動数の影響を取り入れられた形だ。何らかの平均化あるいは標準化する必要があると思われる。
- 4) 確定論的手法による解と確率論的手法による解との比較であるが、これは確率論的手法による解が2)のべたように用いたパワー-スペクトル密度毎に大きく異なるのでおもしろい。
- 5) 確定論的手法で得られた最適解で破壊確率を求め、その求めた破壊確率を制約条件として確率論的手法で最適解を求めた計算は現在実行中であり当日発表する。この場合でも、確定論的手法、確率論的手法による解が大きく異なり、二つとも、破壊確率がうまく求まらないことがあり、やはり何らかの形で確定論的手法における応答スペクトルに見合ふようなパワー-スペクトルの標準化が望まれる。

6. 参考文献 1) Y. Yamada, H. Takemiya "Statistical Estimation of the Maximum Response of Structures Subjected Earthquake Motion" No. 182, 1970

Proc. JSCE