

金沢大学大学院 学生員○若林慎司
 金沢大学工学部 正会員 北浦 勝
 金沢大学工学部 正会員 池本敏和

1. はじめに

構造物に作用する荷重は本来ばらつきを有する量である。それぞれの荷重に対して構造物が、確率論的に均等な安全性を有していることは重要な課題であろう。本研究では橋梁下部構造に注目し、下部構造の設計に荷重係数設計法を適用するための基本的な概念を述べるとともに、その結果について考察を加える。すなわち、橋梁下部構造に作用するいくつかの荷重の発生を確率論的にとらえ、各荷重の組合せに対して構造物が限界状態を越える確率を算出する。その値がある目標値(本文ではターゲット確率と呼ぶ)に最も近づくような荷重係数の値を算出し、その結果について若干の考察を行った。

2. 対象構造物および荷重の組合せ

対象構造物として図-1に示すようなごく普通に存在する鉄筋コンクリート造逆T形式橋脚を採用した。また上部工としては本橋脚の両側に単純梁が架かっていると考えた。

今回、考慮する荷重の組合せおよび応力照査式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{荷重の組合せ} \quad & 1) \quad \psi_1 \sigma_1 \geq \gamma_{D1} \alpha_{D1} D1 + \gamma_{T1} \alpha_{T1} T1 \\ & 2) \quad \psi_2 \sigma_2 \geq \gamma_{D2} \alpha_{D2} D2 + \gamma_{T2} \alpha_{T2} T2 + \gamma_{Q2} \alpha_{Q2} Q2 \\ & 3) \quad \psi_3 \sigma_3 \geq \gamma_{D3} \alpha_{D3} D3 + \gamma_{T3} \alpha_{T3} T3 + \gamma_{W3} \alpha_{W3} W3 \end{aligned}$$

ここに、 ψ : 許容応力度の割増し係数 σ : 許容応力度

γ : 荷重係数 α : 荷重の応力度への変換係数

D : 死荷重 T : 温度荷重 Q : 地震荷重 W : 風荷重

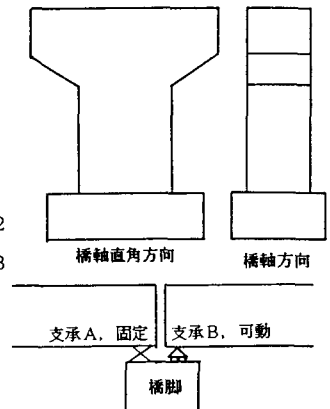


図-1 対象構造物(逆T形式橋脚)

3. 荷重係数の決定方法¹⁾

以下の手順で荷重係数を決定する。

- 対象とする典型的な構造物をいくつか考える。この選定された構造物を $S_1, S_2, \dots, S_N$ とする。
- 各構造物 S_i に対して、限界状態に相当する抵抗応力度を定める。ここでは2つの限界状態としての応力度、 $F_I = 1.15\sigma, F_{II} = 1.65\sigma$ を定める。
- それぞれの荷重の組合せのもとで適当な荷重係数 γ_{ijn} を用いて各構造物 S_i の設計を行う。
- 設計された構造物 S_i が各荷重の組合せのもとで限界状態を越える確率を算出する。ここで各荷重の組合せが限界状態 F_I を越える確率の総和を P_{fI} 、限界状態 F_{II} を越える確率の総和を P_{fII} とする。
- 算出された P_{fI}, P_{fII} のそれぞれに対するターゲット確率を P_{fI}^*, P_{fII}^* と定める。 P_{fI}, P_{fII} と P_{fI}^*, P_{fII}^* の比較のために次式のような目的関数 Ω を導入する。

$$\Omega = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\log P_{fI} - \log P_{fI}^*}{\log P_{fI}^*} \right)^2 + \sum_{i=1}^N \left(\frac{\log P_{fII} - \log P_{fII}^*}{\log P_{fII}^*} \right)^2 \quad (1)$$

式(1)において Ω が最小となるような荷重係数の組合せが最適であると考える。

4. 荷重の分布形

本研究においては各荷重の発生を以下の分布形により近似した。地震荷重については地震の発生はポアソン過程に従うものとして扱う。また温度荷重および風荷重については、大阪における毎年の最高気温あるいは最大風速のデータを2重指数確率紙にプロットすることによりそれぞれ第I種極値分布にあてはめた。

5. 荷重係数の決定および考察

結果の一例を図-2に示す。縦軸に γ_{Q2} を、横軸に γ_{T2} をとったものであり、図中の各線は Ω の値の等高線である。従って Ω が最小値を示す $\gamma_{Q2} = 2.1, \gamma_{T2} = 0.5$ が最適な荷重係数の組合せであると言える。すなわち構造物の破壊に及ぼす影響は地震荷重によるところが大きいことを示している。これは破壊に直接影響するような地震の発生確率が温度荷重の発生確率と比較して大きいことに起因していると考えられる。

次に、図-3はターゲット確率を変化させることにより最適な荷重係数がどのような影響を受けるかを検討した結果である。ターゲット確率が小さくなくても γ_{T2} には大きな変化は見られないが γ_{Q2} が大きく増加しているのがわかる。このことは、構造物が限界状態を越えるという事象は地震荷重の影響に強く支配されていることを示唆しており、地震荷重に対する設計を十分に施さねばならないことを表しているものと考えられる。さらに、図示したようなパラメタ領域で荷重の組合せ3に対する荷重係数 γ_{T3}, γ_{W3} を変化させても γ_{T2}, γ_{Q2} の変動傾向はほとんど変化していないことも図から読み取れる。このことは構造物に与える影響としては荷重の組合せ3よりも荷重の組合せ2の方が卓越していることを意味すると考えられる。次に強い地震が発生してしまって、当分の間被害地震が生じる可能性の小さい時期を仮に想定する。この場合には荷重の組合せ2における荷重係数 γ_{Q2} を小さい目に見積もっておけばよいので、 γ_{Q2} を図-4中に示すような値に固定して考える。同図より荷重の組合せ3では風荷重よりも温度荷重の影響の大きいことがわかる。言い換えれば風荷重が橋梁下部構造の破壊に与える影響は少ないと言える。また図-3、図-4から、ターゲット確率が大きな値（たとえば図中の○印）に対しては設計時に地震荷重、温度荷重あるいは風荷重の影響をほとんど考慮しなくてもよいという結果となった。これは鉄筋コンクリート造橋脚においては死荷重が圧倒的に効いており、それに耐え得る設計を行えばこの場合のターゲット確率とほぼ等しい限界状態を越える確率を算出することが可能となるからである。

ここに示したのは荷重係数決定に関する一数值計算例である。今後は、荷重の発生におけるデータの収集に努力していく予定である。

参考文献

- 1) Susumu Emi・Osamu Aketa : Probabilistic Load and Resistance Factor Design, Structural Safety and Reliability, Vol. II, ICOSSAR, 1985.

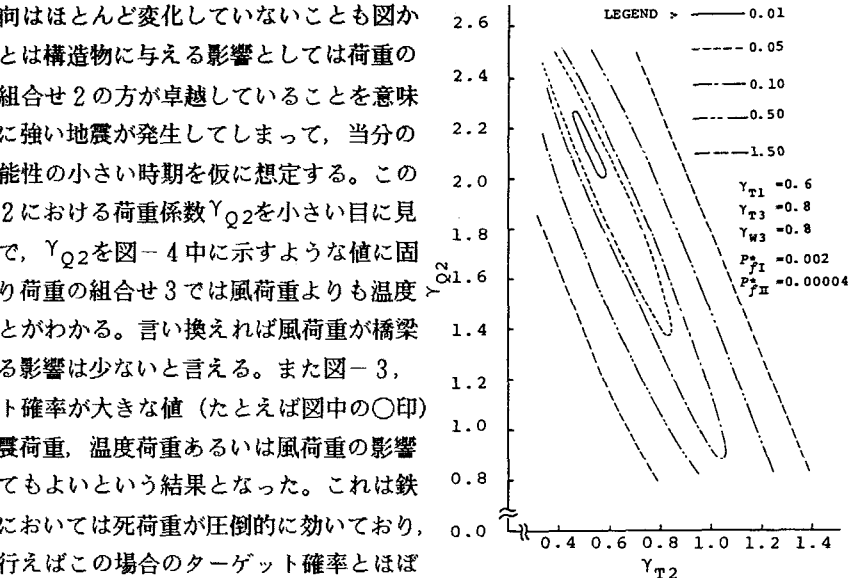


図-2 荷重係数と目的関数 Ω との関係

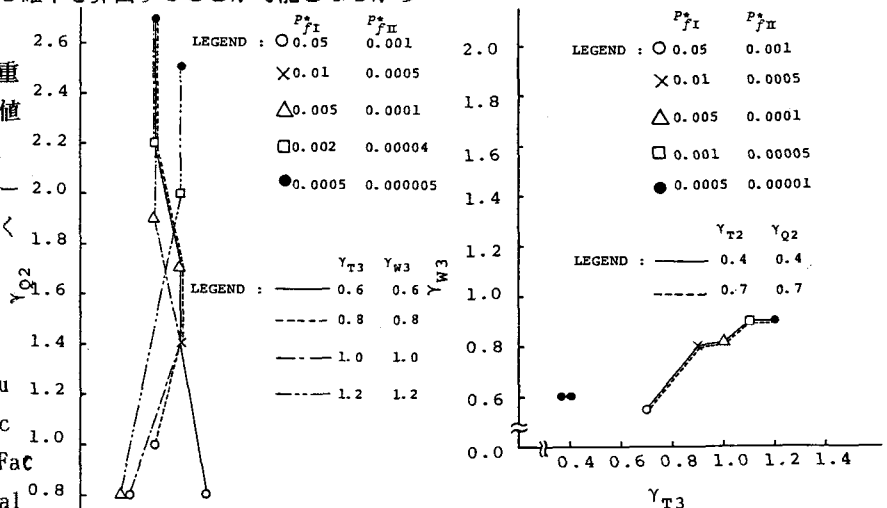


図-3 最適な荷重係数とターゲット確率との関係

図-4 最適な荷重係数とターゲット確率との関係