

神戸大学工学部 フェロー 川谷 充郎
 神戸大学大学院 学生員 川口 和行
 神戸大学工学部 学生員 ○辻井 正則

1. まえがき 近年、道路橋の設計において、現行の許容応力度設計法から信頼性理論を拠りどころとした限界状態設計法への移行が進められている。鋼製ラーメン橋脚を対象とするこれまでの研究¹⁾では、構造物が降伏点を超えて弾塑性応答する場合の効果を、塑性率 μ による応答加速度の低減を考慮することによって構造物の非線形挙動を近似的に取り扱ってきた。それに対して我々は、地震荷重を含む最も基本的な組合せである D+E の荷重組合せに着目して弾塑性解析²⁾を行い、荷重係数と限界状態確率に及ぼす影響を検討してきた³⁾。ここでは、弾塑性解析を行うにあたり①断面板厚の分割数、②上部工慣性力のモーメント効果、③弾塑性モデルの3点を変更して実際の挙動を反映するように改善する。

2. 荷重係数決定法⁴⁾ 荷重係数決定の際には次の基本的な考え方に従う。ある限界状態において、超過確率の目標とする値に対して、各構造物の限界状態確率のばらつきを小さくすることにより、各構造物に対してより均一な安全性が得られると考えられる。

3. 解析モデル **3.1 橋脚モデル** 構造物は阪神高速道路の代表的な高架橋を対象とし、Fig.1 に示すように下部工についてモデル化する。対象とする上部構造は支間長が 40, 60, 80m の 3 径間連続鋼箱桁橋であり、下部構造は橋脚の長さとは幅を変えた鋼製ラーメンである。

3.2 荷重モデル(1)死荷重 ばらつきは地震荷重に比べて非常に小さいため、 $\gamma_D=1.05$ の確定値として評価する。(2)地震荷重 各構造物の固有周期に応じた応答加速度を用いる。さらに減衰定数の固有周期依存を考慮し、地震荷重モデルとする⁵⁾。

4. 塑性ヒンジ法 既往の研究³⁾では、Fig.1 に示すラーメン橋脚の解析モデルを有限要素に離散化し、弾塑性解析を行ってきた。ここでは、塑性ヒンジが形成されると推測される点を応力の照査点として柱基部、柱頭部、梁端部にそれぞれ 6 箇所設け、これらの点はすべて塑性回転ばねでモデル化した。なお塑性回転ばねは完全弾塑性要素とし、その終局ひずみ ε_u は地震動のタイプに関わらず $\varepsilon_u=5\%$ と定義していた。以下 3 つの変更による影響を考察するためこの段階を **step-1** とする。

step-2 構造物断面の板厚変化を要素ごととしていたモデルから、設計の実態に合わせて柱・梁ごとに 2 種の板厚を用いて Fig.2 のようにモデル化する。

step-3 **step-1**では、上部工慣性力の作用位置の影響を全く考慮せずに、柱の頭部に水平力のみを作用させていたが、上部構造の質量、橋脚の質量それぞれに対応する水平力を Fig.2 のように作用させ、さらに上部構造慣性力の作用位置を考慮してモーメント荷重も載荷する。

step-4 非線形挙動を正確に考慮するために、完全弾塑性要素としていた塑性回転ばねを硬化型バイリニアモデルとし、2 次剛性を $E/100$ 、終局ひずみを $\varepsilon_u=20\varepsilon_y=3.43\%$ とする⁶⁾。

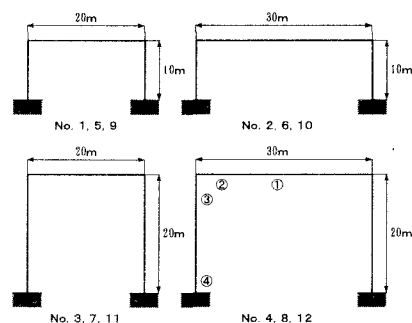


Fig.1 Skelton of structures and noticed points

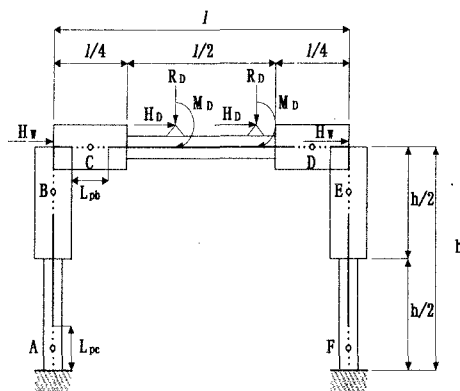


Fig.2 Analysis model in plastic hinge method

以上の3点を変更し、水平耐力・水平変位の関係をスパン長 60m の場合の 4 モデルを対象にして Fig.3 に示す。塑性ヒンジが最初に形成されるのは全モデル、全 step において Fig.2 の柱基部 F の点である。step-2 によりどのモデルとも step-1 より水平耐力は大きくなっているが、水平変位も大きくなっている。step-3 による影響は No.5, No.7 のような橋脚幅が小さいものは、水平耐力は小さくなり、No.6, No.8 のような橋脚幅が大きいものは、大きくなっている。これは、支承の間隔が全モデルとも同じであるので、橋脚幅が違くと上部工反力によるモーメントが柱基部のモーメント応力に及ぼす影響が変わるためである。step-4 については、完全弾塑性モデルに対して 2 次剛性をつけているのですべてのモデルで水平耐力が僅かに大きくなっている。

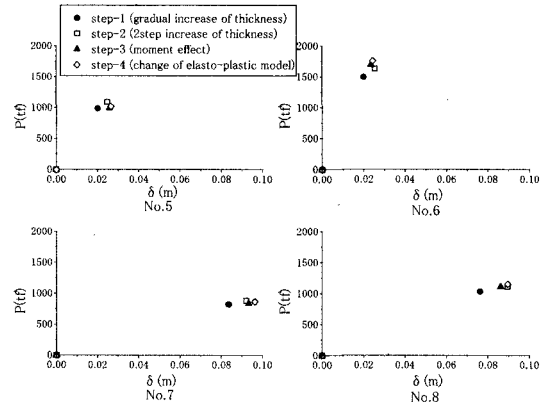


Fig.3 Relation of horizontal force-horizontal displacement

5. 限界状態と目標限界状態確率 限界状態を塑性ヒンジが 1 つ形成されるときとし、そのときの水平耐力 P_u を用いて、 W を等価重量、 K_{he} を等価水平震度とすると、 $Z=P_u-K_{he} \cdot W$ で表される限界状態関数を用いて限界状態確率を求める。目標限界状態確率は、許容応力度法により設計される各モデルの限界状態確率の平均値とする。

6. 解析結果 (1) 現行の許容応力度法により 12 個の構造物を設計し、それらの構造物の限界状態確率の計算結果を Fig.4 に示す。これらの限界状態確率の平均値 $\log_{10}P_f = -5.761$ を目標限界状態確率として、地震荷重の荷重係数を算出すると、 $\gamma_E=0.91$ の結果が得られる。そのときの限界状態確率も Fig.4 に示す。グラフからも分かるように、限界状態設計法の方が許容応力度法に比べて僅かにばらつきが大きくなっている。(2) 一般的に地震に強い形状である No.2, No.6, No.10 の構造物の限界状態確率は、Fig.4 に示すように他の構造物のものに比べてかなり小さな値となっている。そこで、この 3 つの構造物の柱基部の板厚は、地震荷重ではなく温度荷重との荷重組合せにより決定するものと考え、他の 9 個の構造物だけで限界状態確率および荷重係数を求めることにする。その結果を Fig.5 に示す。荷重係数は $\gamma_E=0.93$ となり、Fig.5 より僅かではあるが、限界状態設計法の方が目標限界状態確率周りのばらつきが小さくなっている。しかし、構造物間のばらつきは比較的大きい。この点については、今後改良する必要がある。

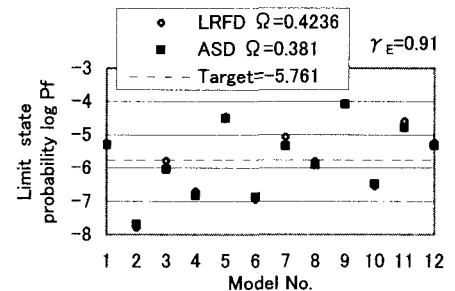


Fig.4 Limit state probability (12 models)

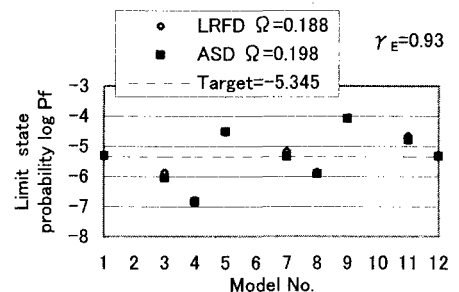


Fig.5 Limit state probability (9 models)

【参考文献】

- 1) 川谷充郎・金島也恵子: 道路橋鋼製橋脚の限界状態設計と荷重係数, 土木学会関西支部平成 11 年度年次学術講演会講演概要, 1-116, 1999.5.
- 2) 白木 渡, 山本優也, 松本 聡, 堂垣正博: 弾塑性有限変位解析による鋼製ラーメン橋脚の耐震信頼性, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.403-411, 2000.3.
- 3) 川谷充郎, 川口和行: 道路橋鋼製橋脚の終局限界状態設計と荷重係数, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集, 1-A003, 2001.10.
- 4) Shinozuka, M.: Load Combination and Load Resistance Factor Design, IABSE Symposium, pp.65-69, Sep., 1986.
- 5) 川谷充郎・星加益朗・濱田洋・工藤浩: 道路橋鋼製橋脚の限界状態確率に基づく荷重組合せと荷重係数, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.40A, pp.629-636, 1994.3.
- 6) (社) 日本橋梁建設協会: 鋼製橋脚の弾塑性有限変位 FEM 解析マニュアル, pp.6-11, 1998.2.