

道路橋鋼製橋脚の終局限界状態設計と荷重係数

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

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。ここでは, 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, その終局限界状態を明らかにし, 目標限界状態確率の設定による荷重係数と限界状態確率に及ぼす影響を検討する。

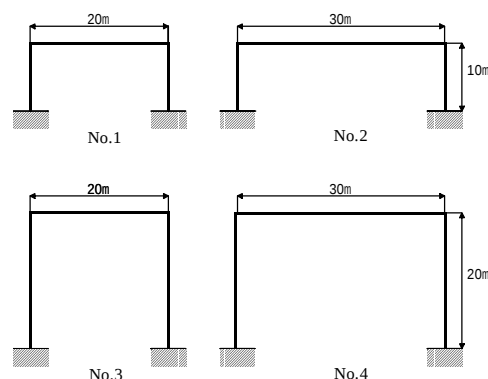


Fig.1 Skelton of structures and noticed points

2. 荷重係数決定法³⁾ 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 60m の 3 径間連続鋼箱桁橋であり, 下部構造は橋脚の長さで間隔を変えた鋼製ラーメンである。

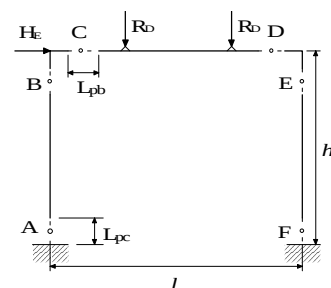


Fig.2 Check points of stress

3.2 荷重モデル (1)死荷重 ばらつきは他の荷重に比べて非常に小さいため, 荷重係数 $\gamma_D = 1.05$ 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⁴⁾。

4. 塑性ヒンジ法 Fig.1 に示したラーメン橋脚の解析モデルを 20 個の有限要素に離散化し, 弾塑性解析を行う。ここに, 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 Fig.2 のように 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する。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現行道路橋示方書に従って $\epsilon_u = 5\%$ とする。

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 つ形成されるときおよび 4 つ形成されるときに水平耐力 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, その前後の目標限界状態確率で荷重係数を計算することにより, 目標限界状態確率による荷重係数への影響を検討する。

6. 解析結果 6.1 板厚 - 荷重係数関係 適当に設定する荷重係数により各部の板厚を決定し, その構造物に塑性ヒンジ法を適用して限界状態確率を算出すると, 膨大な計算時間が必要となる。そこで, 今回の研究では, 板厚 - 荷重係数, 水平耐力 - 板厚の 2 つの関係を近似することにより, 限界状態確率を計算することにする。板厚 - 荷重係数関係は全モデルおよび全着目点において, 相関係数ほぼ 1.0 の関係を求めることが出来たのでその回帰直線を用いる。

キーワード: 鋼製ラーメン橋脚, 荷重係数, 地震荷重, 塑性ヒンジ, 限界状態確率

連絡先: 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1, Phone: 078-803-6278, Fax: 078-803-6069

6.2 水平力 - 水平変位関係 塑性

ヒンジ法により算出された各モデルの水平力 - 水平変位関係を Fig.3 に示す。構造的に橋脚幅が大きく、橋脚高さが小さいほど、崩壊荷重は大きいことが分かる。

6.3 水平耐力 - 板厚関係 Fig.3

の結果より塑性ヒンジが 1 つ形成されるとき各モデルの水平耐力 - 板厚の関係を算出する。この関係でも高い相関係数を持つ関係を求めることが出来たのでその回帰直線を用いる。後の荷重係数を算定する際に、塑性ヒンジ

が 4 つ形成されるとき限界状態確率は無視できる程に小さいので、ここでは省略する。

6.4 目標限界状態確率における荷重係数と限界状態確率

現行の許容応力度法により 4 つの構造物を設計し、その構造物の限界状態確率を計算した結果を Fig.4 に示す。これらの限界状態確率の平均値 $\log_{10}P_f = -8.573$ およびその前後での値を目標限界状態確率とし、それぞれの構造物の荷重係数、目標限界状態確率まわりのばらつきを定量的に表した目的関数 Ω を計算した結果を Table 1 に示す。Table 1 から目標限界状態確率を小さくすると荷重係数が大きくなり、荷重係数設計法での目的関数 Ω の値は小さくなることが分かる。 $\log_{10}P_f = -6, -7, -9, -10, -11$ のときは、許容応力度法より荷重係数設計法の方が、ばらつきが小さくなっていることが分かる。逆に $\log_{10}P_f = -8.573$ と -8 のときは許容応力度法の方が少しではあるが、目標限界状態確率まわりのばらつきは小さい結果となった。これは、限界状態設計法での梁および柱の板厚が、隅角部付近の板厚と、梁中央および柱基部での差が大きいにも関わらず、それぞれの大きい方の断面で等断面として塑性ヒンジ法を適用したことによる影響である可能性がある。この点について、今後改良する。

謝辞 本研究は、阪神高速道路公団委託研究「都市高速道路の鋼製ラーメン橋脚の耐震信頼性に関する研究」(代表者：関西大学 古田均教授)の一部として行われた。ラーメン橋脚塑性崩壊メカニズム解析プログラムの使用に関し、香川大学 白木渡教授、関西大学 堂垣正博教授および駒井鉄工(株) 山本優也氏に感謝いたします。

【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 年度年次講演会講演概要，I-116，1999.
- 2) 白木渡・井面仁志・今井慈郎・伊藤則夫・石川浩：地震時保有水平耐力照査式を用いた終局限界状態に対する鋼製ラーメン橋脚の耐震信頼性評価，構造工学論文集，土木学会，Vol.45A，pp.389-396，1999-3.
- 3) Shinozuka, M.: Load Combination and Load Resistance Factor Design, IABSE Symposium, pp.65-69, Sep., 1986.
- 4) 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.

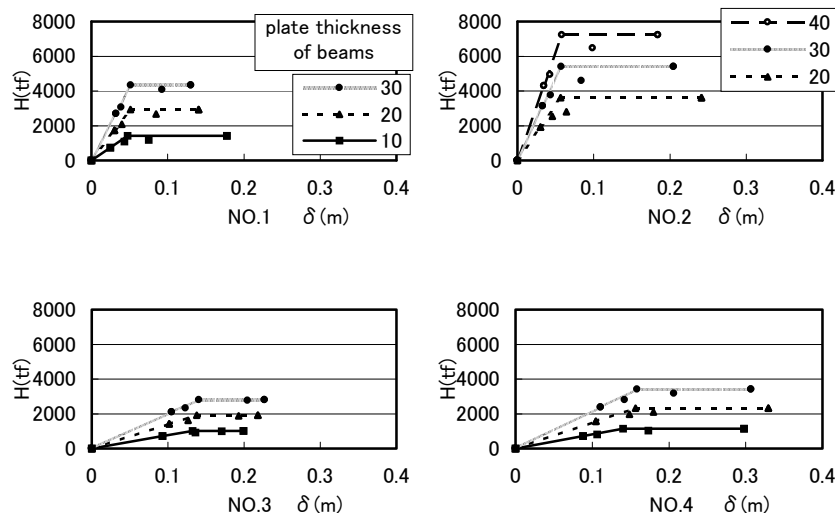


Fig.3 Relation of horizontal force-horizontal displacement

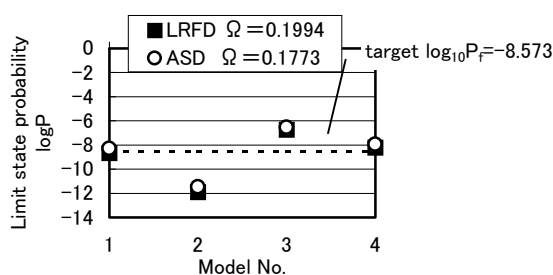


Fig.4 Limit state probability

Table 1 Load factor and object function of each limit state probability

Target $\log_{10}P_f$	γ_E	Ω (LRFD)	Ω (ASD)
-6	0.21	0.6125	1.0980
-7	0.50	0.3849	0.4680
-8	0.81	0.2513	0.2242
-8.573	0.99	0.1994	0.1773
-9	1.12	0.1686	0.1699
-10	1.45	0.1154	0.2118
-11	1.80	0.0797	0.3024