

# 鋼製ラーメン橋脚の耐震設計における部分安全係数決定法に関する一考察

防衛大学校 正会員 梶田幸秀, 防衛大学校 正会員 香月智  
香川大学 正会員 白木渡, 香川大学 正会員 松島学

## 1. はじめに

近年、限界状態設計法の実用化が図られており、その際、部分安全係数の設定法が問題となっている。本来、レベルIの信頼性設計の部分安全係数は、レベルII信頼性設計法で得られる安全性指標とレベルIIIの許容破壊確率において同意義でなければならない<sup>1)</sup>。しかし、そのような部分安全係数の設定法については未だ完成されたものは見あたらない。そこで本研究は、既往の方法<sup>1)</sup>で求めた部分安全係数のまわりに数組の部分安全係数の候補値を設定し、得られる設計値の有する安全性指標のばらつきを目標値に近づける部分安全係数の設定法を提案するものである。

## 2. 提案手法の一計算例

### 2.1 限界状態の設定と鋼製ラーメン橋脚の形状

本研究では、使用限界状態（要求性能）を「ラーメン橋脚柱部が地震時において座屈しないこと」と設定した。中井らの論文<sup>2)</sup>によると実存する一層門型鋼製ラーメン橋脚の高さと幅の関係は図-1のように分布するので、この図をもとにラーメン橋脚の形状（高さとの組み合わせ）を6つのグループに設定した。

### 2.2 最大地震加速度（荷重作用）とラーメン橋脚柱部の局部座屈応力（強度）の設定

本研究では、年間最大地震加速度 600gal の超過確率が 10% となるように確率密度分布関数を対数正規分布で与えた。その対数正規分布の平均値と標準偏差はそれぞれ  $\mu=367\text{gal}$ （平均値）、 $\sigma=178\text{gal}$ （標準偏差）である。一方、ラーメン橋脚柱部の局部座屈応力は道路橋示方書II鋼橋編の155頁（解3.2.1）により求めた。局部座屈応力の確率密度分布関数は、SS400鋼材の降伏応力を  $300\text{N/mm}^2$  とし、示方書より求められる値を平均値、変動係数を 0.1 とした対数正規分布で与えられるものとした。

### 2.3 部分安全係数の1次設定

設計基準式を、 $\phi\bar{R} \geq \gamma\bar{S}$  ( $\bar{R}$ ,  $\bar{S}$  はそれぞれ強度と荷重作用の平均値) とし、性能関数として  $Z=\ln R-\ln S$  が与えられるとした。目標信頼性指標  $T$  を与えると部分安全係数  $\phi_0$  とは下記のように表される<sup>1)</sup>。

$$\phi_0 = \exp(-3\beta V_R/4) \quad \gamma_0 = \exp(3\beta V_S/4) \dots\dots (1)$$

ここで、 $V_R$ ,  $V_S$  はそれぞれ強度と荷重作用の変動係数である。目標安全性指標  $T=2.2$  とすると  $\phi_0=0.9$ ,  $\gamma_0=2.2$  が得られる。となり、この  $\phi_0$  と  $\gamma_0$  を部分安全係数の1次設定値とし、 $\phi_0$  と  $\gamma_0$  の候補値の組み合わせを表-1に示す9種類のように与えた。

なお、 $T=2.2$  は50年間の供用期間中にこのラーメン橋脚柱部が座屈する可能性が50%であることに対応している。

### 2.4 解析モデルと断面照査式

ラーメン橋脚に作用する荷重は、図-2に示すとおり死荷重（上部構造重量 5420kN）と地震荷重とし、骨組解析により柱部に作用する軸力と柱部の頂部と下部に作用する曲げモーメントを算定した。また、死荷重の大きさは全ケース同じであるが、Group 4, 5 の場合は橋脚の幅が 10.0m しかないため、死荷重の作用する位置の間隔は、梁の中心から 10.8m ではなく 5.4m とする。なお、骨組解析は面内方向（橋軸直角方向）のみの変形を考慮した2次元解析である。ラーメン橋脚柱部の断面照査式は、道路橋示方書II鋼橋編の160頁に記載されている軸方向力と曲げモーメントを受ける部材の照査式（式(3.3.5)）を用いることにした。ここで、本解析は面内方向のみの解析であるため、面外方向の項の値は面内方向の項の値と同じと仮定し、照

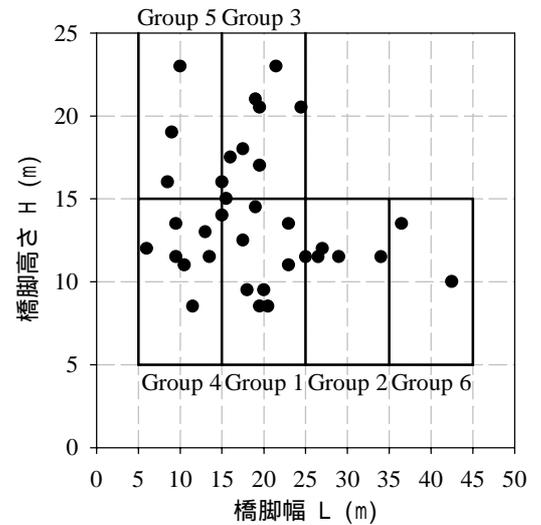


図-1 橋脚高さとの組み合わせ

表-1 との組み合わせ

Case A	0.8	2.1
Case B	0.8	2.2
Case C	0.8	2.3
Case D	0.9	2.1
Case E	0.9	2.2
Case F	0.9	2.3
Case G	1.0	2.1
Case H	1.0	2.2
Case I	1.0	2.3

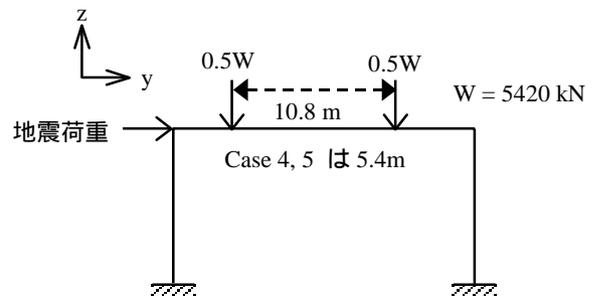


図-2 解析モデル

表-2 解析で用いた板厚のリスト

板厚(mm)	6, 9, 12, 16, 19, 22, 25, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 50.....
--------	---

キーワード：信頼性設計法，部分安全係数，目標安全性指標

連絡先：〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20, TEL (0468)41-3810, FAX (0468)44-5913

査を行った。この照査式を満たす最小板厚  $t$  を求め最適断面を決定した。なお、板厚は鋼材表<sup>3)</sup>を参考にして、表-2 で示す現行で入手可能なものの中から選択するものとし、板厚が 40mm を越える場合は、10mm 刻みで選択できるものとした。

2.5 安全性指標 の計算

各部分係数での安全性照査を満足する最適構造に、死荷重と地震荷重の平均値 (=上部構造質量 × 地震入力加速度の平均値) を作用させ、骨組解析により得られた断面の応力を荷重作用の平均値とし、変動係数は最大地震加速度の対数正規分布における変動係数 (0.485) と等しいとする。よって、強度 (局部座屈応力) の対数正規分布と荷重作用 (最大地震加速度の平均値が作用したときの断面応力) の対数正規分布が仮定できたので、安全性指標 は下記の式により求められる。

$$\beta \ln(\mu_R / \mu_S) / \sqrt{V_R^2 + V_S^2} \dots \dots (2)$$

2.6 最適な と の決定手法

図-1 に示した Group 1 から Group 6 の鋼製ラーメン橋脚に対して、表-1 に示した 9 種類の部分安全係数 ( と ) の組み合わせにおける安全性指標 を求めた。表-3 に結果の一例を示す。本研究では、1組の と の組み合わせから、安全性指標 の値は 6 つ求まる。また、図-1 より、各鋼製ラーメン橋脚の形状は表-4 のような頻度で分布している。表-3 と表-4 を組み合わせることにより、1組の部分安全係数の組み合わせ (ここでは Case E) において安全性指標 の頻度分布が図-3 のように得られる。この平均値と分散より近似正規分布が得られる。表-5 に各部分安全係数に対して得られた正規分布の平均値と標準偏差ならびに 10% 非超過確率  $10\%$  を示す。最適な と の組み合わせの定義を「  $10\%$  の値が  $\tau=2.2$  よりも大きく、平均値が小さいもの」とするならば、最適な と の組み合わせは Case D, H, I の 3 種類となる。ここで、Case D, H, I が全く同じになるのは、本研究では選択可能な板厚が粗いので、Case H や Case I は荷重と抵抗が概ね比例的に大きくなっているため、同じ最適板厚が選ばれるためである。よって、ここでは Case D の組み合わせを選ぶものとした。

3. まとめ

本研究では、目標安全性指標  $\tau$  を定めて設計した構造物の信頼性指標が構造物の大きさによりばらつくことを考慮に入れ、過去に建設された構造物の頻度データを利用することによる部分安全係数の設定法について示した。なお、本報告では、対象としたラーメン橋脚の母数が少なく、また、最適設計の条件として断面形状を設計変数に加えておらず、現実の設計条件と合致していないので、実用化を図るにはより現実的な最適設計を活用する必要がある。

参考文献

- 1) 星谷勝, 石井清: 構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 1986.5.
- 2) 中井博, 河井章好, 吉川紀, 北田俊行, 酒造敏廣: 鋼製ラーメン橋脚の実績調査 (上), 橋梁と基礎, Vol.16, No.6, pp.35-40, 1982.6.
- 3) 社団法人日本橋梁建設協会: デザインデータブック, p.108, 1997.9.

表-3 安全性指標 の値

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6
Case A (0.8,2.1)	3.08	3.12	3.33	3.20	3.31	2.36
Case E (0.9,2.2)	3.08	3.12	3.08	3.03	3.18	2.36
Case I (1.0,2.3)	2.73	3.12	3.08	2.85	3.02	2.36

網掛けは部分安全係数の 1 次設定値を表す

表-4 橋脚の頻度分布

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6
区画内の点の数	11	4	8	7	3	2
頻度 (%)	31.4	11.4	22.9	20.0	8.6	5.7

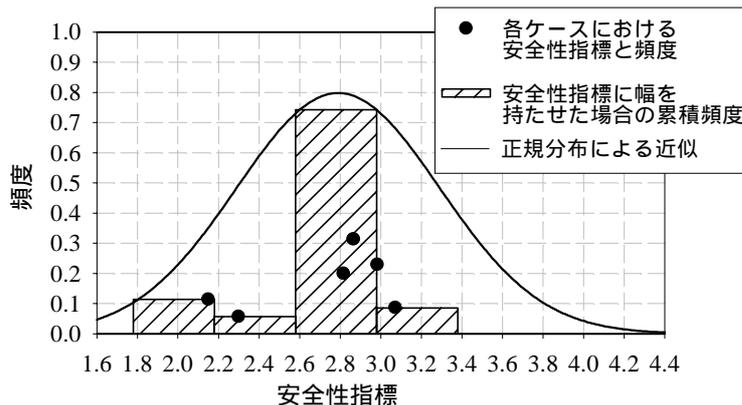


図-3 安全性指標の分布 (Case E の場合)

表-5 近似した正規分布の平均, 標準偏差

	平均	の標準偏差	10%非超過確率 $10\%$
Case A (0.8,2.1)	2.95	0.7	2.05
Case B (0.8,2.2)	3.05	1.0	1.77
Case C (0.8,2.3)	3.16	0.6	2.39
Case D (0.9,2.1)	2.77	0.4	2.26
Case E (0.9,2.2)	2.79	0.5	2.15
Case F (0.9,2.3)	2.83	0.7	1.93
Case G (1.0,2.1)	2.72	0.5	2.08
Case H (1.0,2.2)	2.77	0.4	2.26
Case I (1.0,2.3)	2.77	0.4	2.26