

鴻池組 正会員 ○安部富久  
九州工業大学 正会員 山本 宏

1. はじめに 近年、土木構造物を設計するにあたり、種々の不確定要因によるばらつきを考慮するため、確率的取り扱いをして、構造物の安全性を保証しようとする信頼性設計法が荷重係数設計法の形で提案され、その中で構造物に作用する荷重のばらつきを考えた荷重係数について発表されている。

しかし、現在の構造物は異種の材料や、同一の材料でもその材料強度の相違するものから成り立っているという点に着目した研究は少ないと思われる。

そこで、本研究はこの点に着目して、2つの鋼種より成り立つ鋼構造の強度のばらつきに、材料の弾性係数および降伏点応力度のばらつきが、どの程度、影響を与えるかをシミュレーションによって検討した。

2. 解析結果と考察 図1(a)に示す1端固定・他端単純支持の構造物が等分布荷重を受ける場合について解析を行なった。なお、図1(b)に示すように等分布荷重を集中荷重に置換し、図1(b)に示す部分にSM50A, SS41を使用する。SM50AおよびSS41の統計的性質は表1に示す通りで、これまで発表された文献により任意に選んだ。

材料の弾性係数および降伏点応力度は正規分布、又は対数正規分布に従うものとし、弾性係数と降伏点応力度は統計的に独立で、降伏点応力度は異鋼種間でも独立とし、かつ、(i)弾性係数は異鋼種間で完全従属とする場合と、(ii)弾性係数は異鋼種間で独立とする2通りに分ける。このとき、モンテカルロ法を使い微小変形理論による弾塑性解析より、構造物の強度を計算しそのばらつきを求める。

ところで、図1(a)の構造は1次不静定であるので、塑性関節が2つ生じると、崩壊したとみなすことができる。そこで、等分布荷重を大きくしてゆき、断面の一つが最初に降伏点に到達して最初の塑性関節ができたときの等分布荷重を構造物の強度とし、2つ目の塑性関節ができたときの等分布荷重を構造物の最大塑性強度と呼ぶことにする。

上記のように、正規分布又は対数正規分布として、それぞれ(i)および(ii)のときの $\bar{g}_1$ ,  $\bar{g}_2$ を求めると、図3に示すような3通りの崩壊機構、つまり(a)節点1, 節点6の順に塑性関節のできる場合、(b)節点1, 節点7の順に塑性関節のできる場合、(c)節点7, 節点1の順に塑性関節

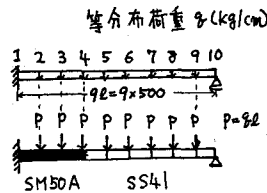


図1 構造形式

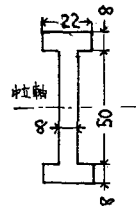


図2 断面形

表1 鋼材の統計的性質

| 鋼種    |        | 平均値<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 標準偏差<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 変動係数<br>(%) | 分布                          |
|-------|--------|------------------------------|-------------------------------|-------------|-----------------------------|
| SS41  | 降伏点応力度 | 2998                         | 353                           | 11.77       | 正規分布<br>又は<br>対数正規<br>分布に統一 |
|       | 弾性係数   | $2.1 \times 10^6$            | $9.66 \times 10^4$            | 4.60        |                             |
| SM50A | 降伏点応力度 | 3729                         | 282                           | 7.56        |                             |
|       | 弾性係数   | $2.1 \times 10^6$            | $9.66 \times 10^4$            | 4.60        |                             |

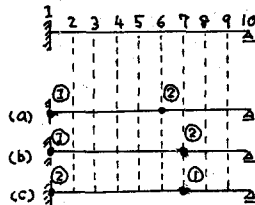


図3 崩壊機構

表2 (i)の場合の正規分布と仮定したときの構造物の強度

| 崩壊機構 | 回数 (%)     | ① $\bar{g}_1$                |             | ② $\bar{g}_2$                |             | $m_4$          |
|------|------------|------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|----------------|
|      |            | 平均値<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 変動係数<br>(%) | 平均値<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 変動係数<br>(%) |                |
| (a)  | 451 (90.2) | 2.25                         | 7.44        | 2.88                         | 7.28        | 117.7-<br>66.8 |
| (b)  | 44 (8.8)   | 2.37                         | 6.72        | 2.52                         | 6.77        | 66.8-<br>58.9  |
| (c)  | 5 (1.0)    | 2.26                         | 8.44        | 2.32                         | 7.40        | 56.3-<br>49.6  |
| 合計   | 500 (100)  | 2.26                         | 7.54        | 2.84                         | 8.28        | 117.7-<br>49.6 |

のできる場合に与けられた。また、前壊機構(a), (b), (c)に関する $\delta_1$ と $\delta_2$ の平均値・変動係数をまとめたのが、表2～表5であり、表中の記号 $m_y$ はSM50Aの降伏点応力度に対するSS41の降伏点応力度の比である。

表2～表5より、構造物が降伏点に到達するとその強度 $\delta_1$ の変動係数とSM50Aの変動係数が近いのは、最初の塑性関節でできる率の大きい部分にSM50Aが使われているからだと考えられ、 $\delta_2$ の変動係数が $\delta_1$ の変動係数に比べて小さくなっているのは、SS41の使用部分に2つ目の塑性関節が生じる率が高いためと、(c)の場合の平均値と(a)や(b)の場合の平均値とが著しく違うからだと考えられる。

次に、(a)の場合、全体の90%位を占め、(b)の場合、全体の10%弱であり、(c)の場合、1%弱と全体の占める割合は小さいが、(a)や(b)のように $\delta_2$ の値が $\delta_1$ の値よりかなり大きくなっており、構造物がそれだけ余力を持っている状態に比し、 $\delta_1$ と $\delta_2$ の値がほとんど同じ値を示している。したがって、前の2つに較べて安全性が劣ることになると考えられる。

さらに、同一分布の(i)と(ii)の場合を比較すると、(i)の場合の $\delta_1$ の変動係数は(ii)の場合の $\delta_1$ の変動係数より小さい。したがって、弾性係数のばらつきは $\delta_1$ の変動係数を大きくする傾向があるが、 $\delta_2$ の平均値および変動係数がまったく一致するので、弾性係数のばらつきは $\delta_2$ には影響をおよぼさないと考えられる。正規分布のときと対数正規分布のときとを比較すると、 $\delta_1$ と $\delta_2$ の変動係数は若干、相違するが、全体として同じ傾向となっている。 $\delta_1$ と $\delta_2$ のヒストグラフは紙面の都合上、省略するが、これらより、全体的に正規分布と仮定したものの方が、対数正規分布と仮定したものより右にわたっているが、(i)の $\delta_1$ の分布と(ii)の $\delta_2$ の分布が、仮定した分布形にさきわず一致した。

本論文で検討した範囲で、次のことが結論されるのではないかと考える。

- (1) 構造物が降伏点に到達するとその強度 $\delta_1$ の変動係数は、最初に塑性関節のできる率の高い部分に使用された材料の降伏点応力度の変動係数に支配されるが、その大きさは弾性係数のばらつきによって若干、材料の降伏点応力度の変動係数より小さくなる。
- (2) 材料強度のばらつきを考えると、構造物を不静定構造物として余分に耐荷力をもたしても、(c)の場合のようにその余力をほとんど期待できない状態が存在する可能性がある。
- (3) 材料強度の分布形は、構造物の強度つまり $\delta_1$ と $\delta_2$ の分布形に影響を与える。
- (4) 弾性係数のばらつきは、構造物が最大塑性強度に到達したとその強度 $\delta_2$ には、まったく影響をおよぼさないが、(i)でいれたように、 $\delta_1$ の変動係数を若干、大きくする方向に動く。

#### 参考文献

- (1) 西村 昭，鋼材の機械的性質のばらつきについて，JSSC，5・48，1969年12月
- (2) 久保全三・福本晴士，曲げ部材の抗拉強度評価について，第34回年次学術講演会講演概要集I 306
- (3) 日本鋼構造協会編，コンピュータによる構造工学講座II-B「骨組構造解析」，培風館

表3 (i)の場合の正規分布と仮定したときの構造物の強度

| 前壊機構 | 回 数 (%)    | ① $\delta_1$ |          | ② $\delta_2$ |          | $m_y$      |
|------|------------|--------------|----------|--------------|----------|------------|
|      |            | 平均値 (kg/cm)  | 変動係数 (%) | 平均値 (kg/cm)  | 変動係数 (%) |            |
| (a)  | 451 (90.2) | 2.25         | 7.61     | 2.88         | 7.28     | 117.7-66.8 |
| (b)  | 44 (8.8)   | 2.37         | 6.88     | 2.52         | 6.77     | 66.6-56.9  |
| (c)  | 5 (1.0)    | 2.27         | 8.79     | 2.84         | 7.40     | 56.3-49.6  |
| 全体   | 500 (100)  | 2.26         | 7.70     | 2.84         | 8.28     | 117.7-49.0 |

表4 (ii)の場合の対数正規分布と仮定したときの構造物の強度

| 前壊機構 | 回 数 (%)    | ① $\delta_1$ |          | ② $\delta_2$ |          | $m_y$      |
|------|------------|--------------|----------|--------------|----------|------------|
|      |            | 平均値 (kg/cm)  | 変動係数 (%) | 平均値 (kg/cm)  | 変動係数 (%) |            |
| (a)  | 456 (91.2) | 2.25         | 7.33     | 2.87         | 7.75     | 120.2-66.9 |
| (b)  | 41 (8.2)   | 2.41         | 6.50     | 2.57         | 6.41     | 66.6-57.9  |
| (c)  | 3 (0.6)    | 2.33         | 6.40     | 2.35         | 7.00     | 56.3-53.2  |
| 全体   | 500 (100)  | 2.26         | 7.51     | 2.84         | 8.20     | 120.2-53.2 |

表5 (iii)の場合の対数正規分布と仮定したときの構造物の強度

| 前壊機構 | 回 数 (%)    | ① $\delta_1$ |          | ② $\delta_2$ |          | $m_y$      |
|------|------------|--------------|----------|--------------|----------|------------|
|      |            | 平均値 (kg/cm)  | 変動係数 (%) | 平均値 (kg/cm)  | 変動係数 (%) |            |
| (a)  | 456 (91.2) | 2.27         | 7.48     | 2.87         | 7.75     | 120.2-66.9 |
| (b)  | 41 (8.2)   | 2.41         | 6.77     | 2.57         | 6.41     | 66.6-57.9  |
| (c)  | 3 (0.6)    | 2.33         | 7.35     | 2.35         | 7.00     | 56.3-53.2  |
| 全体   | 500 (100)  | 2.26         | 7.68     | 2.84         | 8.20     | 120.2-53.2 |