

## 統計処理に基づく面内力卓越部材の最小鉄筋比算定法に関する一考察

東電設計 正会員 ○茂木寛之  
同上 正会員 山谷 敦

## 1. はじめに

全断面引張となり得る軸力が卓越する棒部材や面内せん断が卓越する面部材などでは、最小鉄筋比が重要となる。これは、あまりに過小な鉄筋比の場合に、ひび割れ発生と同時に鉄筋降伏や破断が生じ、その結果脆性破壊につながる可能性があるためである。

一方、コンクリートや鉄筋には必ず強度のばらつきがあることから、設計時に設定した最小鉄筋比と、実施工時における強度のばらつきを考慮して算定した最小鉄筋比が異なることも想定される。仮に後者が前者よりも大きくなった場合には、設計時の最小鉄筋比が危険側の設定となっていたことになる。

そこで、本検討では、材料強度のばらつきを考慮した統計処理に基づいて最小鉄筋比を算定する方法を提案した。

## 2. 既往の最小鉄筋比算定法

引張側の最小鉄筋比は、「ひび割れ発生荷重＝鉄筋降伏荷重」の関係から、式(1)で表される。

$$\rho = f_t / f_y = (0.5 \times f_c'^{2/3}) / f_y \quad \cdots (1) \quad (\rho : \text{最小鉄筋比}, f_t : \text{コンクリート引張強度}(\text{kgf/cm}^2), f_y : \text{鉄筋降伏強度}(\text{kgf/cm}^2), f_c' : \text{コンクリート圧縮強度}(\text{kgf/cm}^2))$$

設計では、 $f_c'$ や $f_y$ は特性値が用いられ、強度のばらつきは反映されないのが通常であるが、例えば、特性値 $f_{ck}'$ に替えて平均値 $f_{cm}'$ を $f_c'$ とした場合には、 $f_{ck}' < f_{cm}'$ であることから、最小鉄筋比も $f_{cm}'$ を用いた方が大きくなる等、材料強度のばらつきに着目するか否か、また、ばらつきの度合いによって、 $\rho$ の値は変化すると考えられ注意が必要である。しかしながら、この種の数値の設定に際しての強度のばらつきについては、これまで特に注意が払われたこともなく、そこで用いるべき数値が明確に定義されていないのが実情である。

## 3. 統計処理に基づく最小鉄筋比算定法の提案

本検討では、材料強度のばらつきを詳細に考慮した統計処理に基づいて最小鉄筋比を算定する手法を提案した。

はじめに、コンクリートの圧縮強度や鉄筋降伏強度などの材料の力学特性に見られる統計的流動性による不確定性を確率密度関数により定量的に評価する。ここで、最小鉄筋比は、式(1)を参考にして、次式のように表す。

$$P = (0.5 \times C^{2/3}) / Y \quad \cdots (2)$$

ここに、 $P$ は最小鉄筋比、 $C(\text{kgf/cm}^2)$ はコンクリートの圧縮強度、 $Y(\text{kgf/cm}^2)$ は鉄筋降伏強度である。式(2)のうち、確率変数は $C, Y$ で、統計的に独立であると仮定し、正規分布に従う。式(2)に着目すると、安全側の最小鉄筋比を算定するためには、分子(引張強度)をできるだけ大きく考える必要がある。施工時の品質管理に供されるシリンダー供試体は、良好な環境条件で管理されており、実際に打設されたコンクリート強度がシリンダー強度を上回る可能性は極めて小さいと考えられる。よって、式(2)の $C$ は、シリンダー強度試験結果をもとに設定する。次に、JISに適合する鉄筋は、これまでの使用実績より強度がJIS規格を下回ることは事実上ないと考えられ、また、施工条件や環境条件によって品質が変わることも考え難い。このことから、式(2)の $Y$ は、JIS規格の鉄筋を対象に実施した試験結果より設定する。

キーワード；面内せん断力，最小鉄筋比，コンクリート圧縮強度，鉄筋降伏強度，モンテカルロ法  
連絡先（住所）；〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3・TEL；03-4464-5559・FAX；03-4464-5595)

以上より、式(2)を用いて材料強度の不確定性を考慮したモンテカルロシミュレーションを実施し、最小鉄筋比  $\rho$  の確率密度関数を算定する。本検討では、同関数をもとに、実際に必要と考えられる最小鉄筋比に対し 5%の確率で満足しない鉄筋比を、言い換えると、実際に必要と考えられる最小鉄筋比を 95%の確率で満足する鉄筋比を最小鉄筋比とする。ここで、判断基準を 5%としたのは、統計的仮説を正しいとみなすか、正しくないかとみなすか判断する基準（危険率または有意水準）は、通常 5%をとるためである。最小鉄筋比算定の流れを図-1 に示す。

#### 4. 最小鉄筋比の試計算

はじめに、図-1 の流れに従い、コンクリートの圧縮強度  $C$  の確率量を次のように設定した。設計基準強度  $f_{ck}'$ （試験値が 95%の確率で下回らない保証値）は  $240(\text{kgf/cm}^2)$  とし、変動係数  $V$  は、既往の研究<sup>1)</sup>を参照して 11%とした。平均値  $f_{cm}' (= f_{ck}' / (1 - 1.645 \times (V/100)))$  は、 $f_{ck}'$  と  $V$  より算出でき、 $293(\text{kgf/cm}^2)$  となる。平均値  $f_{cm}'$  は、実際に製造する時の配合上の目標強度である。また、鉄筋はSD35(設計基準強度  $3500(\text{kgf/cm}^2)$ )を使用した場合を考えた。鉄筋降伏強度の確率量は既往の文献<sup>2)</sup>を参照し、平均値  $3965(\text{kgf/cm}^2)$ 、変動係数 4.67(%)とした。

次に、 $C$ 、 $Y$ は設定した確率分布にそれぞれ従うとして、式(2)を用いてモンテカルロシミュレーションを実施した。試行回数は 100000 回とした。その結果、最小鉄筋比の平均値  $\rho_{ave}$  は 0.557(%)、標準偏差  $\sigma$  は 0.049(%) となり、実際に必要と考えられる最小鉄筋比を 95%の確率で満足する鉄筋比  $\rho_{95\%} (= \rho_{ave} + 1.645 \times \sigma)$  は、0.638(%)となった。ちなみに、コンクリートの圧縮強度の変動係数  $V$  を 5%とすると、 $\rho_{95\%}$  は 0.610(%)となる。このことから、材料強度のばらつきの大小により、最小鉄筋比も変動することが明らかとなった。

一方、式(1)より  $f_c'$  を  $240(\text{kgf/cm}^2)$ 、 $f_y$  を  $3500(\text{kgf/cm}^2)$  として最小鉄筋比を算出すると、0.552(%)となる。統計処理で算定した最小鉄筋比は、前述したとおりコンクリートのばらつきに応じて 0.610(%)、0.638(%)となることから、設計で設定する最小鉄筋比より 1.11~1.16 倍大きくなることがわかった（表-1）。

表-1 統計処理で算定した最小鉄筋比の設計で設定する最小鉄筋比に対する比

| ケース | コンクリート圧縮強度              |         | 鉄筋降伏強度                  |         | 最小鉄筋比(%) | 設計で設定する最小鉄筋比に対する比 |
|-----|-------------------------|---------|-------------------------|---------|----------|-------------------|
|     | 平均( $\text{kgf/cm}^2$ ) | 変動係数(%) | 平均( $\text{kgf/cm}^2$ ) | 変動係数(%) |          |                   |
| 1   | 293                     | 11      | 3965                    | 4.67    | 0.610    | 1.11              |
| 2   |                         | 5       |                         |         | 0.638    | 1.16              |

#### 5. おわりに

以上の検討結果から、材料強度のばらつきの大小により最小鉄筋比は変動し、式(1)によって一義的に決定された数値は、実状を反映していない可能性もあることがわかった。よって、部材の設計において最小鉄筋比を算定する際には、式(1)で得られた数値に、施工条件や環境条件で変動する材料強度のばらつきに応じて設定した割増係数を乗じて算定することが妥当と考える。

#### 【参考文献】

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解析，1999
- 2) 土木学会：コンクリートライブラリー52 号，1983

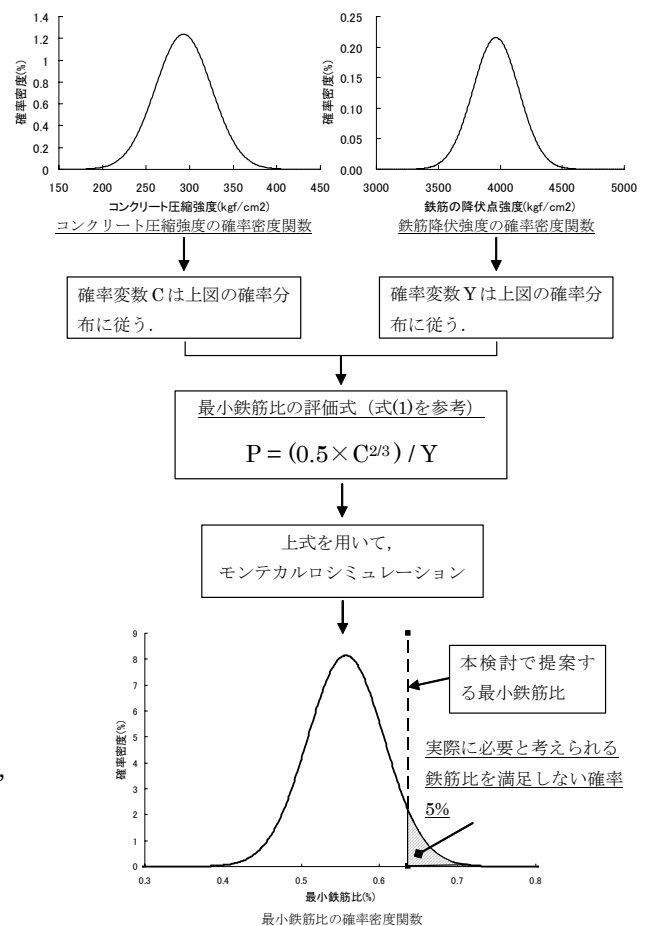


図-1 最小鉄筋比算定の流れ