

九州大学 正員 徳光善治  
 学生員 松下 博通  
 江崎 哲郎

### 1. まえがき

コンクリートの圧縮強度試験結果における強度分布は正規分布をなすと考え、その変動係数から、設計基準強度に対する配合強度の割増し係数が定められている。割増し係数と変動係数の関係は、土木学会、日本建築学会、生コンクリート規格、ACI 318-65 および ASTM 94-65 などそれぞれ異なる規格であり、図-1 に示すようになってい

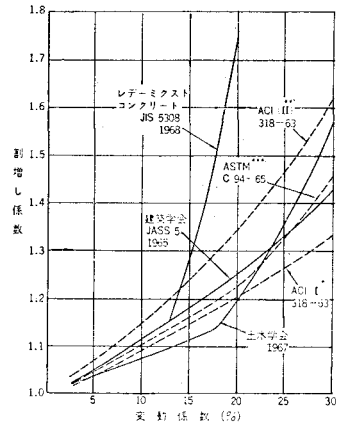


図-1 割増係数と変動係数の関係

本報告は、コンクリートの圧縮強度の変動を、確率紙と利用して図式的に求めたならば、その分布状態が正規分布からどの程度外れているかをたづねに判明し、しかも平均値と標準偏差が、実際に計算によって求めた値と大差なく読みとれることを確認し、次に、セメントペーストやモルタルおよびコンクリートの強度変動が、水・セメント比によってどのように異なるかと調べたものである。

### 2. 試験方法

試験-I: コンクリートの強度変動を調べるため、設計基準強度  $\sigma_{ck} = 180 \text{ kg/cm}^2$ 、配合強度  $\sigma_r = \frac{205}{210} \text{ kg/cm}^2$  のコンクリートについて、生コンクリート工場 2 社に宛して、28 日強度の分布状態を調べた。(A 社: 昭和 44 年 1 月 ~ 昭和 45 年 11 月分, B 社: 昭和 45 年 4 月 ~ 9 月分)

表-1. 試験供試体の種類

| 供試体                      | W/C(%) | 試験材令      |
|--------------------------|--------|-----------|
| セメントペースト                 | 40     | 28 日      |
|                          | 50     | 7 日, 28 日 |
|                          | 60     | 28 日      |
|                          | 70     | 7 日, 28 日 |
| モルタル<br>(混和剤なし)          | 50     | 7 日, 28 日 |
|                          | 70     | 7 日, 28 日 |
| モルタル<br>(混和剤<br>ポリウレタン系) | 40     | 28 日      |
|                          | 50     | 7 日, 28 日 |
|                          | 70     | 7 日, 28 日 |
| コンクリート                   | 70     | 28 日      |

試験-II: セメントペースト、モルタルおよびコンクリートについて同時に打設した 36 本の圧縮強度のばらつきの分布をしらべるために、表-1 に示す各水・セメント比について、7 日強度と 28 日強度を試験した。供試体は、セメントペーストおよびモルタルについては、セメント強度試験用型枠によって作製し、曲げ試験を行ったものの両折片を用いた。コンクリート供試体は  $7.5 \times 15 \text{ cm}$  円柱供試体とした。なお、

使用材料は、普通セメント ( $\gamma_c = 3.16$ )、松浦川河川砂 ( $\gamma_s = 2.56, F.M. = 2.35$ )、角内岩砕石 ( $\gamma_g = 2.93$ 、最大寸法 20mm) であり、コンクリートおよびモルタルのセメント・砂重量比はすべて 0.309 とした。

### 3. 試験結果および計算結果

生コンクリートの圧縮強度試験結果(供試体本数: A 社 990 本, B 社 351 本)より、圧縮強度をそれぞれ  $5 \text{ kg/cm}^2$  の大きさごとに 13 区間に分け、各区間における度数(頻度)、累積度数および累積度数を求めて表-2 に示す。これを正規確率紙上にプロットしたものを図-2 に示す。これ

表-2

| 圧縮強度<br>( $\text{Kg}/\text{Cm}^2$ ) | A 社 |          |             | B 社 |          |             |
|-------------------------------------|-----|----------|-------------|-----|----------|-------------|
|                                     | 度数  | 累積<br>度数 | 累積率<br>% 度数 | 度数  | 累積<br>度数 | 累積率<br>% 度数 |
| 185 ~ 189                           | 14  | 14       | 4.2%        | 2   | 2        | 1.7%        |
| 190 ~ 194                           | 26  | 40       | 12.0        | 6   | 8        | 6.8         |
| 195 ~ 199                           | 44  | 84       | 25.1        | 9   | 17       | 14.4        |
| 200 ~ 204                           | 53  | 137      | 41.0        | 16  | 33       | 28.0        |
| 205 ~ 209                           | 54  | 191      | 57.2        | 10  | 43       | 36.4        |
| 210 ~ 214                           | 46  | 237      | 71.8        | 13  | 56       | 47.5        |
| 215 ~ 219                           | 36  | 273      | 82.7        | 12  | 68       | 57.6        |
| 220 ~ 224                           | 33  | 306      | 92.7        | 14  | 82       | 69.5        |
| 225 ~ 229                           | 12  | 318      | 96.4        | 13  | 95       | 80.5        |
| 230 ~ 234                           | 8   | 326      | 98.8        | 6   | 101      | 85.6        |
| 235 ~ 239                           | 3   | 329      | 99.7        | 10  | 111      | 94.1        |
| 240 ~ 244                           | 1   | 330      | 100.0       | 5   | 116      | 98.3        |
| 245 ~ 250                           |     |          |             | 1   | 117      | 99.2        |

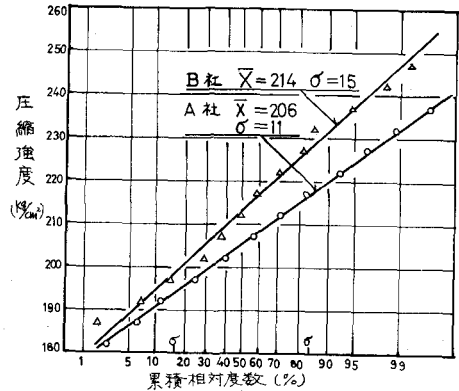


图-2 確率紙

うはともに、ほぼ一直線上にあると思われ、生コンクリートの圧縮強度分布が、両社とも正規分布となっていていふとみやすい。また、累積相対度数 50% の点から平均値を読みとると、A社で  $206 \text{ kg/cm}^2$ 、B社で  $214 \text{ kg/cm}^2$ 、また標準偏差は、A社で  $11 \text{ kg/cm}^2$ 、B社で  $15 \text{ kg/cm}^2$  となる。これは、実際に計算した値（平均値）±（標準偏差）が A社で  $208 \pm 11 \text{ kg/cm}^2$ 、B社で  $216 \pm 16 \text{ kg/cm}^2$  とほとんど一致しており、正規確率紙によってかなりの精度よく読みとることが可能であることがわかる。

次に、表-1に示した配合について、それぞれ同時に、 $\phi 36$ 本の供試体の圧縮試験結果のばらつきを分布と調べた結果を表-3に示す。ここで、図式解とは、確率紙を用いて平均値と標準偏差を読みとったものであり、計算値とは、実際に算術平均により平均値と求め、理論的に標準偏差を算出したものである。これから、図式解と計算値とは非常に近似しており、図式解が十分な精度をもつことがわかる。ただし、Xfpと付したものは、確率紙上より直線にならないものであり、これは実験数が少ないからである。したがってこれらの標準偏差等と求めることに無理があるといえる。表-3より、セメントペーストの変動係数は、モルタルの変動係数より大きくなっている。また、セメントペーストおよびモルタルのいづれにレマも、水・セメント比が増加すれば変動係数も増加しており、また、Mp-40-28のように水・セメント比が小さくとも空隙率が高いいわゆるつめ込みの悪い供試体も変動係数が非常に大きい。以上より、変動係数を予想するには、コンクリートの配合もある程度考慮しなければならないと考えられる。本実験は、丸大、右賀津泉氏、丸山栄氏に御援助頂いた。またデータを提供頂いた生コン工場の方々にも感謝いたします。

表-3. 試驗結果

| 供<br>試<br>体           | 乙<br>口<br>值<br>(mm) | 空<br>隙<br>率<br>(%) | 透 式 解                                  |                                  |            | 計 算 值                                  |                                  |            |
|-----------------------|---------------------|--------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------|
|                       |                     |                    | $\bar{\alpha}$<br>( $\text{kg/cm}^2$ ) | $\sigma$<br>( $\text{kg/cm}^2$ ) | $V$<br>(%) | $\bar{\alpha}$<br>( $\text{kg/cm}^2$ ) | $\sigma$<br>( $\text{kg/cm}^2$ ) | $V$<br>(%) |
| P-40-28               |                     | 0.6                | 713                                    | 36                               | 5.0        | 717                                    | 36                               | 5.0        |
| P-50-7                | 測                   | 0.6                | 314                                    | 32                               | 10.2       | 316                                    | 31                               | 9.8        |
| P-50-28               | 定                   | 0.6                | 562 <sup>x</sup>                       | 38                               | 6.8        | 562                                    | 41                               | 7.3        |
| P-60-28               | 不                   | 0.5                | 512                                    | 58                               | 11.3       | 519                                    | 53                               | 10.2       |
| P-70-7                | 可                   | 0.2                | 193                                    | 22                               | 11.4       | 196                                    | 21                               | 10.7       |
| P-70-28               | 能                   | 0.2                | 358 <sup>x</sup>                       | 27                               | 7.5        | 359                                    | 24                               | 6.7        |
| M-50-7                | 109                 | 3.5                | 207                                    | 25                               | 12.1       | 214                                    | 18                               | 8.4        |
| M-50-28               | 109                 | 3.5                | 332                                    | 21                               | 6.3        | 336                                    | 21                               | 6.3        |
| M-70-7                | 210                 | 1.8                | 146                                    | 5                                | 3.4        | 146                                    | 3                                | 2.1        |
| M-70-28               | 210                 | 1.8                | 288 <sup>x</sup>                       | 51                               | 17.7       | 301                                    | 34                               | 11.3       |
| M <sub>p</sub> -40-28 | 砂能                  | 1.06               | 318                                    | 43                               | 13.5       | 324                                    | 40                               | 12.3       |
| M <sub>p</sub> -50-7  | 114                 | 4.5                | 288 <sup>x</sup>                       | 24                               | 8.3        | 288                                    | 21                               | 7.3        |
| M <sub>p</sub> -50-28 | 114                 | 4.5                | 404                                    | 28                               | 6.9        | 407                                    | 23                               | 5.7        |
| M <sub>p</sub> -70-7  | 214                 | 7.8                | 146                                    | 12                               | 8.2        | 147                                    | 10                               | 6.8        |
| M <sub>p</sub> -70-28 | 214                 | 7.8                | 251 <sup>x</sup>                       | 22                               | 8.8        | 255                                    | 21                               | 8.2        |
| C-70-28               | 30 <sup>cm</sup>    | —                  | 289                                    | 19                               | 7.6        | 292                                    | 16                               | 5.5        |

P-40-28 : セメントペースト供試体  $W/C = 40\%$  試験材令 28日

M : エルタイル      M<sub>p</sub> : ポリリス入りエルタイル

C : コンフリート X 確率紙上で一直線から  
 2Xよりローラーにおろしたものを

\* コンクリートのスランピング

※ 繰り上がり直後の単位重量 / 配合上の単位重量を乗率として求めた。