

名城大学 理工学部 土木工学科教室 正員 ○加藤正育
飯坂武男

1) ま え が き

セメントの強さ試験は、セメントの品質検査と同時に、このテストの成果から同じセメントを用いて施工されるコンクリートの強度をある程度推定する資料を得るために行なわれる。このテストに往時は各国とも硬練りのモルタルで濃加水の少ないものを用いたが、近時はコンクリートの現実に即応するため、濃加水を多くした混合の軟練モルタルによるテストが行われ、わが国では昭和18年頃から一般に普及し今日に至っている。現在では JIS R 5201 セメントの物理試験方法(1964)までの初期においては、このテストの骨材の標準砂は朝鮮半島に産する白色天然砂、福島県の相馬砂などを用いたこともあったが、結局、山口県豊浦町から産する天然産砂を標準砂として採用することになった。そして現今ではセメント協会の標準砂専門委員会において JIS 規格に準拠した支那の粒経管理が行われ、毎年のセメント技術年報に詳報されているから、これを参照し、またこれとは別に示された豊浦標準砂(以下単に標準砂という)の諸性質について、これら筆者らが行ってきた一連の研究を総合し、さらにこれを補足拡張して、標記テストとの関連を究明しようとする。

2) 標準砂粒子径の分布型についての近似。

(1) 標準砂粒子径の配列を離散分布型としてのパラメータ。

標準砂の粒子径をさめる、ふるい分けに用いるフルイは細骨材用の各フルイ目開き間隔が2倍に果進をするのにより、各フルイは、ほぼ $\sqrt{2}$ の間隔で JIS Z 8801 標準フルイの目開き、105 μ 、149 μ 、210 μ 、および297 μ の4個を用いる。所定量の標準砂試料が所定時間に、この各フルイに分類される、それぞれのグループの粒子群の中央値を確率変数として、この確率変数の特徴を1つの数で表す概念として、平均値と分散がある、これがこの分布のパラメータである。この具体的計算は、上記フルイの最下位の105 μ フルイの下にさらに1つのグループをとる、これはPan(受皿)である、このPanグループの中央値を JIS 標準フルイ目開き合せて88 μ として、このところを原点として各グループの中央値へのモーメントを考え、原点から巨離を、この場合の各フルイ間隔の $\sqrt{2}$ で計れば、各グループの中央値に相当する確率変数は、0、1、2、3、および4となる。これらそれぞれの対応する相対度数(ここでは各フルイおよびPanへの残分重量の確率)を集めたものの総和が全体の確率変数の平均値であって、この平均値は基準にとった原点に対するモーメントの平均値として(1)式で得られる。

$$m = 0 \times p_0 + 1 \times p_1 + 2 \times p_2 + 3 \times p_3 + 4 \times p_4, \text{-----} (1)$$

(2) 式の m は上述の平均値であって、(ただし、 $p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1$)

これは基準にとった原点からの $\sqrt{2}$ の m 倍の巨離に当る、したがって、これから全体の推定平均粒子径が得られる、これを dm とすれば、

$$\log dm = \log 88 + m \cdot \log \sqrt{2} \text{-----} (2)$$

dm は(2)式および(3)式で得られる。 $dm = 88 \times (\sqrt{2})^m \text{-----} (3)$

また、この m の分散、したがって、その標準偏差を σ とすれば、これは(2)式の分散計算の一般式の(4)式で得られる。

$$\sigma^2 = (0-m)^2 p_0 + (1-m)^2 p_1 + (2-m)^2 p_2 + (3-m)^2 p_3 + (4-m)^2 p_4 \text{-----} (4)$$

さらに粒子径の対数の標準偏差すなわち幾何標準偏差を $\log \sigma_g$ とすれば、これは次の(5)式で得られる。

$$(\log \sigma_g)^2 = \sum_{i=1}^5 p_i (\log d_i - \log dm)^2 \text{-----} (5)$$

d_i はそれぞれのフルイの中央値で、 $i = 1, 2, 3, 4, 5$ 、

$$dm \text{ は上記の平均値であるから、} (\log \sigma_g)^2 = (\log \sqrt{2})^2 \{ (0-m)^2 p_0 + (1-m)^2 p_1 + (2-m)^2 p_2 + (3-m)^2 p_3 + (4-m)^2 p_4 \} = (\log \sqrt{2})^2 \sigma^2 \text{-----} (6)$$

(5) 式は、また、これを(6)式に書きなおせる。したがって、幾何標準偏差 $\log \sigma_g$ は(7)式で得られる。

$$\log \sigma_g = \sigma \cdot \log \sqrt{2} \text{-----} (7)$$

(2) 標準砂粒子径の配列を連続分布型としての近似。

(A) 正規分布型。

標準砂に限らず、粒子径の連続分布型を考えるとき、正規分布型も一応は考慮される、しかしフルイ目開きは普通方眼尺では等間隔にならぬ、したがって、しいて正規分布型にしようとするは、多次元正規分布型の如きあまり一般的でない型となるようであるから、特別の場合以外は用いられない。

(B) Rosin-Rammler 分布型。

これは粉末石炭の燃焼問題に関連して考究され1933年、P. Rosin および E. Rammler 両博士によって公表された分布型で、近年も外国でも広く普及しているのは、この分布を模する既製の R-R 粒度線図プロット用紙があるばかりでなく、次の (8) 式が原式を対数を2度とつて直線形としたことにより、照査のための最小自乗法の適用も容易な点などによると思う。 $\log(2-\log R) = N \cdot \log D_p + \log b^*$ ----- (8)

(8) 式の R は各フルイ上の残分累加%, N は均等係数で (8) 式の直線式の傾きを定める他、 D_p は粒子径 (μ)
 b^* は係数。標準砂の場合、セメント協会のデータに基づいても、またこれと別に実験的にふりわけたデータについても、標準砂はこの R-R 分布によく適合し、これに近似することによる確率誤差は2%以内程度である。

(C) 対数正規分布型。

標準砂の上記の如きふり分けデータを、そのまま対数正規確率紙にプロットしても、R-R 線図のようには適合しない。そこで前記 (2) 式で計算される $\log dm$ および (7) 式で計算される $\log d_g$ (本稿の $\log$ はすべて常用対数) から、これら2つのパラメータを変えることなく、対数正規分布への標準化は次の如くしてまず、ふり分け方眼確率の変数変換から行う。(9) 式で $u = \frac{\log d_i - \log dm}{\log d_g}$ ----- (9)

u を得て、JSA 統計数値表 (1972) A.2 から、

$$\left. \begin{aligned} (10) \text{式で計算した値を容易に求められる。} \quad Q(u) = 1 - \phi(u) &= \int_{u/\sqrt{2}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} \cdot du \\ \text{このようにして標準砂の粒子径分布型を} \quad F(d_i) = \phi(u) \text{ とおき、} \phi(u) &= 1 - Q(u) \text{ とおる。} \end{aligned} \right\} \text{-----(10)}$$

対数正規分布型に標準化し近似することから比較的容易で、これによる確率誤差は約1.5%程度である。

3) セメントと標準砂との粒子系組成の影響。

(1) セメント粒子と標準砂粒子との充填組成。

実験的にふりわけた標準砂の各グループにつき真比重は JIS Z 8807 で、見掛け比重は JIS K 6126 で測定を行い、これから充填率 = (見掛け比重) ÷ (真比重)、および空隙率 = (1 - 充填率) を求め、さらにセメント粒子群と標準砂粒子群との2成分系の最密充填となる、それぞれの粒子の真比重と充填率との関係を示す実験式 (11) はセメントに、標準砂は (12) 式で得られ、この式の $y_c = 117.878 \times (0.722461)^{G_c}$ ----- (11)

充填率 (%) は y_c, y_s で、真比重は G_c, G_s である。

$$(2) \text{ 標準砂粒子の顕微鏡視野での考察。} \quad y_s = 136.500 \times (0.686117)^{G_s} \text{------(12)}$$

これまで実験的に顕微鏡した範囲においては、筆者らの扱った標準砂の粒子形は甚だ不規則形のものが多く形状係数の設定もむづかしく、従ってフルイ分けの再現性を得るにも困難があり、また強ちに関係があると考えられる所期の連続分布型を得る再現性の確信も容易でないが、これらの諸関係については、さらに追究中である。

- 文献 (1) 加藤正育, JIS 規格によるセメントモルタルの強度試験, セメントコンクリート誌 No. 278, 昭和45.
(2) 加藤正育, コンクリートの性質と及セメント粉末度の影響, セメントコンクリート誌 No. 306, 昭和47.
(3) 加藤正育, 飯坂武男, 豊浦標準砂の平均粒子径について, 土木学会中部支部講演概要集 IV-2, 昭和46年.
(4) 加藤正育, 飯坂武男, 粗粒率による鋼骨鉄の平均粒子径, 土木学会27回年大会講演集, V-45, 昭和47年.
(5) 加藤正育, 飯坂武男, 豊浦標準砂の粒体的特性について, 土木学会中部支部講演概要集, IV-21, 昭和47年.
(6) 加藤正育, 飯坂武男, JIS R 5201 に拠る豊浦標準砂の特性, 土木学会28回年大会講演集 V-161, 昭和48年.
(7) 加藤正育, 飯坂武男, 本稿の標題題名と同じ(才1報) 土木学会中部支部講演概要集, 1-30, 昭和49年.