コンクリートの品質検査方式に関する考察

近畿大学理工学部　正員　水野俊一　　山梨大学工学部　正員　濱本二郎
近畿大学理工学部　正員　柳下文夫　　近畿大学大学院　学生員○井境博和

1. まえがき　コンクリートの配合強度は「0.8 σ_{ck} を P_a 以上の確率で下がらないこと、および、σ_{ck} を P_b 以上の確率で下がらないこと」という2条件を満足するように定められる。そして、強度検査は、これらの2つの条件をもとにして、計量検査方法を用いて行われるが、試料数が少いと、検査力が極端に低下する。そこで、まず、小試料を用いる検査を行う場合の対策について考察を行った。

つぎに、上記の2つの条件のうちの、第2条件に相当するものは、内外の諸規定には、移動平均を用いた条件が広く用いられている。しかし、移動平均の、特に、小試料における性質が明らかでなく、厳密な検査に使用するのに問題があった。そこで、移動平均の性質およびこれを用いた検査方法とその特徴を明らかにするため、考察を行った。

2. 小試料による品質検査　JISの検査方式は近似式を用いているので、小試料における厳密方法を示す。まず、試料数nのとき、不偏分散の平方根uの期待値E(u)と分散S(u)は、

$E(u)=\sqrt{n/(n-1)}\cdot C_n\sigma$ ，$S(u)=n/(n-1)\cdot C_n'^2\sigma^2$ である。ここで、σ は母標準偏差、

$C_n=\sqrt{2/n}\cdot\Gamma(n/2)/\Gamma\{(n-1)/2\}$ ，$C'_n=\{(n-1)/n-C_n^2\}^{1/2}$

いま、$\psi=1/\sqrt{n}$ ，$\varepsilon=\sqrt{n/(n-1)}\cdot C_n$ ，$\varphi=\sqrt{n/(n-1)}\cdot C'_n$ とおくと、合格判定係数kおよび、検査されるロットの不良率 P_1 を求めるための基礎式は、(1)式となる。

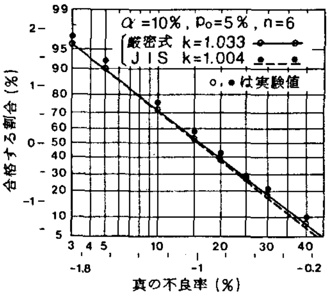
$$m_0-K_{P0}\sigma=S_L,\quad m_0-k\varepsilon\sigma-K_\alpha\sigma\sqrt{\psi^2+k^2\varphi^2}=S_L$$
$$m_1-K_{P1}\sigma=S_L,\quad m_1-k\varepsilon\sigma+K_\beta\sigma\sqrt{\psi^2+k^2\varphi^2}=S_L \quad \cdots\cdots (1)$$

ここで、S_L：下限規格値，α：生産者危険，β：消費者危険，m_0：α 側のロットの平均値，m_1：β 側のロットの平均値，P_0：α 側のロットの不良率，P_1：β 側のロットの不良率，K_P：つぎの式で定義されるもの　$P=1/\sqrt{2\pi}\int_{kp}^{\infty}\exp(-t^2/2)\,dt$ ，kおよび P_1 は次式から求めることができる。

$$(\varepsilon^2-K_\alpha^2\cdot\varphi^2)k^2-2\varepsilon K_{P0}k+K_{P0}^2-K_\alpha^2\cdot\psi^2=0 \quad \cdots\cdots (2)$$

$$K_{P1}=\{\varepsilon k(K_\alpha+K_\beta)-K_{P0}K_\beta\}/K_\alpha \quad \cdots\cdots (3)$$

n＝6，P_0＝0.05，α＝0.10 の場合の理論OC曲線および乱数を用いた実験値を図－1に示す。小試料の場合、JIS方式の適合度が良くないことがわかる。つぎに、小試料の場合、必然的に P_1 か β が大となり、検査力が著しく低下するので、重要な構造物の場合の対策として、kを大きめにとることを提案したい。この場合、一般に、α が増大するが、これを避けるために、平均強度を増大させる方法を用いる。β で検出したい不良率を P_1 とすれば、この割増し係数は、第2条件では、(4)式から求めることができる。また、k'は(5)式から求められる。



図－1　OC曲線

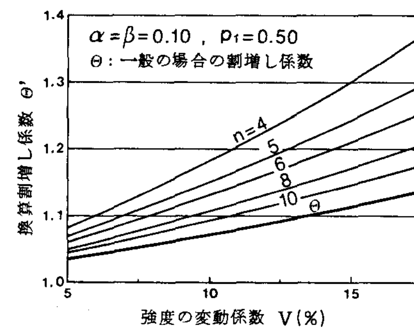
Shun－ichi MIZUNO, Jiro HAMAMOTO, Fumio YAGISHITA and Hirokazu ISAKAI

$$\theta' = 1/\{1-(k'\varepsilon + K_\alpha\sqrt{\psi^2 + k'^2\varphi^2})\ V/100\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\ (4)$$

$$(\varepsilon^2 - K_\beta^2\varphi^2)k'^2 - 2K_{P1}\varepsilon k' + K_{P1}^2 - K_\beta^2\psi^2 = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\ (5)$$

ここで、V：強度の変動係数

いま、$P_0 = 0.25$ の場合、$n = 15$ 程度の検査力を得るため、$P_1 = 0.50$ とするときの θ' を図−2に示した。



図−2　換算割増し係数

3. 移動平均を用いる検査　土木学会の第2条件に相当するものには、移動平均に関するものが多く用いられている。そこで、まず、3個の移動平均の性質について考察する。n個の試料から求めたn−2個の移動平均の平均値 $\bar{x}$ の分布は、$N[(n-4)m/(n-2),(n-4)\sigma^2/(n-2)^2]$ と $N[4m/3(n-2),\ 8\sigma^2/9(n-2)^2]$ と $N[2m/3(n-2),\ 2\sigma^2/9(n-2)^2]$ の和の分布であり、母平均はm、母分散は $(n-2.89)\sigma^2/(n-2)^2$ となる。移動平均の不偏分散の平方根 u の分布は、実験によって求め、次式が得られた。

$$\overline{u_3} = (0.903\sqrt{1-2.28/n} - 0.321)\sigma,\quad u(u_3) = (0.049 + 2.187/n - 11.32/n^2 + 19.97/n^3)\sigma$$

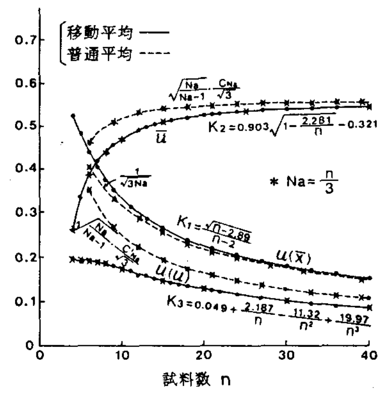
図−3に普通平均の分布と共に示したが、普通平均とは相当異る分布をしていることがわかる。3個の移動平均を用いる検査方式は、(1)式において、σ の代りに $\sigma/\sqrt{3}$,

$$\psi = \sqrt{3}\ (n-2.89)/(n-2)\ ,\quad \varepsilon = \sqrt{3}\ (0.903\sqrt{1-2.28/n} - 0.321),$$

$$\varphi = \sqrt{3}\ (0.049 + 2.187/n - 11.32/n^2 + 19.97/n^3)$$

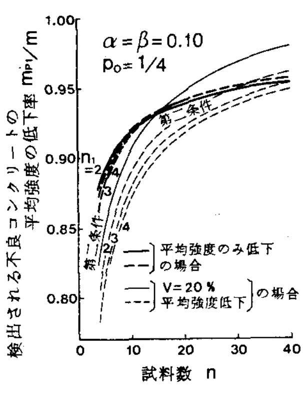
とおくことにより、求めることができる。

2個および4個の移動平均についても、同様な方法で検査方式を定めた。これらのOC曲線も実験値とよく適合した。いま、土木学会の第2条件とほぼ等しい割増し係数を有し、$P_0 = 0.25$ および 0.10 の場合の移動平均を用いる検査方式を設定した。この検査力を図−4および図−5に示す。ここで、m_{P1} は β で検出される不良コンクリートの平均強度である。これから、第2条件に相当するものとしては、個々の強度に関する条件が望ましいが、移動平均を用いるならば、P_0 を0.1とし、2または3個の移動平均の条件を設けるのが望ましいことがわかる。

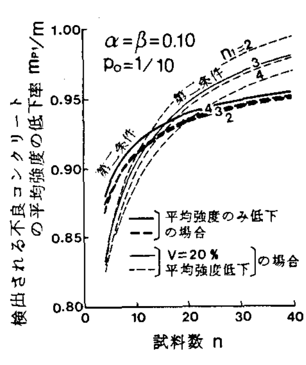


図−3　移動平均および普通平均の分布

4. むすび　まず、試料数の少い検査では厳密式で検査するのが望ましいことを示し、新検査方式を提案した。つぎに、移動平均の性質を明らかにし、これを用いる検査方式とその特徴を示した。



図−4



図−5