

文章编号: 1000-7598-(2004) 01-0132-05

水泥土(砼)抗压试件尺寸表面约束对强度的影响

陈家瑾, 陈 甦, 韩静云, 陈 越, 陈旭元

(苏州科技学院 土木工程系, 江苏 苏州 215011)

摘 要: 推导了圆柱体试件和长(立)方体试件, 分别在不同表面摩擦力和不同高宽(径)比下基于双剪屈服准则下抗压强度的理论计算公式, 并与实验结果比较所得结果与实验结果甚为吻合。其理论计算与实验结果都说明, 试件尺寸的不同与表面抹油与否对水泥土抗压强度均有一定的影响。其高宽(径)越大, 其强度越低且越趋于一定值。试件上下表面不抹油其抗压强度略高抹油情况。

关 键 词: 水泥土试件; 摩擦力; 双剪屈服准则; 表面约束; 挤压强度

中图分类号: TU 458

文献标识码: A

Influence of sizes and surface friction forces of cement-stabilized soil (concrete) samples on their strengths

CHEN Jia-jin, CHEN Su, HAN Jing-yun, CHEN Yue, CHEN Xu-yuan

(Department of Civil Engineering, Suzhou Institute of Science and Technology, Suzhou 215011, China)

Abstract: A calculating formula of compression strength for cement-stabilized soil in different sample sizes ratio of height to width (or ratio of height to radius) and surface frictional forces has been derived by twin shear stress yield criterion. The calculation results with the formula are fairly coincide with the experimental ones. It is showed that the sample sizes and surface frictional forces influence the compression strengths. The bigger ratio of height to width (or radius) of the sample is, the less is its compression strength. The compression strength of the cement-stabilized soil sample putted on oil is lower than the no oil putted on it.

Key words: cement-stabilized soil sample; friction forces; twin shear stress yield criterion; surface friction forces; pressure strength

1 前 言

水泥土、水泥和混凝土抗压强度, 对于土木工程构件是个很重要的指标, 可从试件的抗压试验测得。但试件的外形、尺寸和受压面的约束(是否抹油), 没有明确的统一规定, 有时用圆柱体, 有时用长(立)方体, 而他们高宽比(高径比)也无统一规定, 只作了高宽比小于 3 的规定, 但没有说明原因; 有时表面抹油, 有时不抹油(此为表面约束条件不同), 其实验结果均作为材料的抗压强度。本文从理论上分析了它们的差异, 并与实验结果比较, 得到较好的验证。

2 受压表面理想光滑的抗压强度

试件侧向位移若是自由的, 变形不受约束, 因此不论圆柱体还是长(立)方体试件, 其应力分量

均为 $\sigma_z = \frac{P}{A}$, 其他应力分量均为 0, 即:

$$\sigma_z = \frac{P_u}{A} = \sigma_s^0 \quad (1)$$

式中 σ_s^0 为水泥土试件破坏时(包括砼)的抗压强度; P_u 为极限荷载; A 为试件横截面面积。

由于试件上下表面存在一定的粗糙度, 在试件受压时, 受压面上存在摩擦力, 即使上下受压面抹上油, 也多少存在着一定摩擦力, 阻碍试件的侧向自由位移, 即上下表面存在剪应力, 因此, 试件处于复杂应力状态, 三个主应力对试件破坏都起一定的作用。

3 双剪屈服准则

在复杂应力状态下, 可用 Tresca 屈服准则、Mises 屈服准则和双剪屈服准则来判断试件是否破

收稿日期: 2003-05-06.

作者简介: 陈家瑾, 男, 1938 出生, 教授, 主要从事固体力学教学与科研方面的工作。

坏，本文采用双剪屈服准则。当试件破坏时，应力分量不仅满足屈服准则，同时还要满足平衡方程和表面条件（包括摩擦约束条件）。在主应力空间 π 平面上双剪屈服准则如图 1。

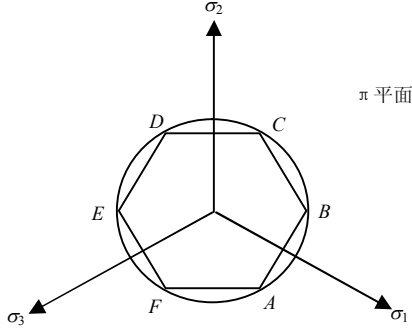


图1 屈服准则
Fig.1 Yield criterion

图中：

$$\left. \begin{aligned} AB: \sigma_1 - \frac{1}{2}(\sigma_2 + \sigma_3) &= \sigma_s^0; \\ BC: \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) - \sigma_3 &= \sigma_s^0; \\ CD: \sigma_2 - \frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_1) &= \sigma_s^0; \\ DE: \frac{1}{2}(\sigma_2 + \sigma_3) - \sigma_1 &= \sigma_s^0; \\ EF: \sigma_3 - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) &= \sigma_s^0; \\ FA: \frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_1) - \sigma_2 &= \sigma_s^0; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

只要试件中的各点的三个应力满足式(2)中的 AB, BC, CD, DE, EF, FA 的屈服条件，则材料屈服破坏，其压力为极限荷载 P_u 。受压试件因为摩擦力的影响，不仅存在轴向应力 σ_z ，而且有其他正应力或剪应力。 σ_z 为压应力，远大于其他的应力，因此材料屈服时，其应力状态应处于 BC 段方程（见图1）。即：

$$\frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) - \sigma_3 = \sigma_s^0 \quad (3)$$

4 长立方体受压表面摩擦力与试件抗压强度

若将坐标轴原点放在长方棱柱体的重心上，由于对称，取棱柱体的 $1/8$ 部分作为研究对象（图2），其尺寸为 $a \times a \times h$ ，若不计体积力，则单元体平衡方程为

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

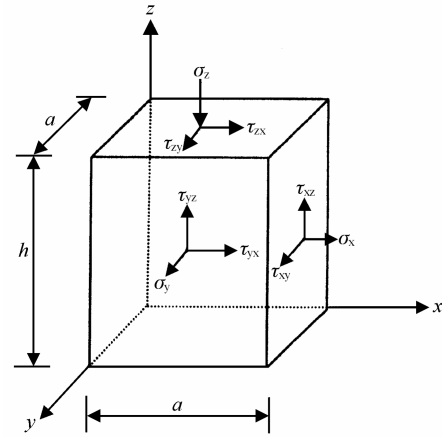


图2 立方体应力状态
Fig.2 Stress state of cuboid sample

图2中，剪应力分量 τ_{zy} , τ_{zx} 是由试件上下面存在摩擦力而产生的，设：

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = -\sum_{n=1}^{\infty} C_n f \frac{z^n}{h^n} \left(\frac{x}{a}\right)^n \left[1 - \left(\frac{x}{a}\right)^n\right] \frac{P}{4a^2} \quad (5)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = -\sum_{n=1}^{\infty} C_n f \frac{z^n}{h^n} \left(\frac{y}{a}\right)^n \left[1 - \left(\frac{y}{a}\right)^n\right] \frac{P}{4a^2} \quad (6)$$

式中 f 为摩擦系数； C_n 为摩擦力分布不均匀系数； P 为轴向压力。

式(5), (6)满足边界条件：即 $x=0$, $\tau_{xz}=0$ ； $y=0$, $\tau_{yz}=0$ ； $x=a$ ； $y=a$ （侧面） $\tau_{xz}=0$, $\tau_{yz}=0$ 将式(5), (6)代入式(4)中的第3式并积分

$$\sigma_z = \sum \frac{C_n f z^{n+1} P}{4a^2 h^n a^n} \left(nx^{n-1} + ny^{n-1} - \frac{2nx^{2n-1}}{a^n} - \frac{2ny^{2n-1}}{a^n} \right) + f(x, y)$$

式中 $f(x, y)$ 为待定系数。

根据圣维南原理，因试件上下受压面摩擦力是自相平衡的外力，在离上下表面较远处，其应力受摩擦力的影响较小， σ_z 趋于均布，因此假设 $z=0$ 处

$$\sigma_z = -\frac{P}{4a^2}, \text{ 则 } f(x, y) = -\frac{P}{4a^2}, \text{ 那么有}$$

$$\sigma_z = -\frac{P}{4a^2} \left\{ 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n C_n f z^{n+1}}{(n+1) h^n a^n} \left[x^{n-1} + y^{n-1} - \frac{2}{a^n} (x^{2n-1} + y^{2n-1}) \right] \right\} \quad (7)$$

根据库仑定律及试件表面摩擦力等于该面的剪应力（由于对称，试件表面的剪应力合力方向沿正方形对角线方向），则可得

$$\sqrt{2} \left(\int_A \tau_{xz} dA + \int_A \tau_{yz} dA \right) = f \int_A \sigma_z dA \quad (8)$$

将式(5~7)代入(8)得

$$2\sqrt{2} \sum_{n=1}^{\infty} C_n \left(\frac{1}{n+1} - \frac{1}{2n+1} \right) = 1 \quad (9)$$

将 1 展开成级数 $1 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n(n+1)}$ 代入式(9)得

$$C_n = \frac{2n+1}{2\sqrt{2}n^2}; \text{ 代入式(5), (6)得:}$$

$$\sigma_z = -\frac{P}{4a^2} \left\{ 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)}{2\sqrt{2}(n+1)h^n a^n} \left[x^{n-1} + y^{n-1} - \frac{2}{a^n} (x^{2n-1} + y^{2n-1}) \right] \right\}$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)f}{2\sqrt{2}n^2} - \frac{z^n}{h^n} \left(\frac{x}{a} \right)^n \left[1 - \left(\frac{x}{a} \right)^n \right] \frac{P}{4a^2} \quad (10)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)f}{2\sqrt{2}n^2} - \frac{z^n}{h^n} \left(\frac{y}{a} \right)^n \left[1 - \left(\frac{y}{a} \right)^n \right] \frac{P}{4a^2} \quad (11)$$

将式(10), (11)代入式(4)中的第 2, 3 式, 则:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)f}{2\sqrt{2}n^2 h^n} \left(\frac{x}{a} \right)^n \left[1 - \left(\frac{x}{a} \right)^n \right] \frac{P}{4a^2} \quad (12)$$

$$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)f}{2\sqrt{2}n^2 h^n} \left(\frac{y}{a} \right)^n \left[1 - \left(\frac{y}{a} \right)^n \right] \frac{P}{4a^2} \quad (13)$$

利用以下边界条件

$$(1) x=a \text{ 时 } \sigma_x \equiv 0; \quad (2) y=a \text{ 时 } \sigma_y \equiv 0;$$

$$(3) x=0, y=0 \text{ 时 } \tau_{xy} = 0 \text{ 且 } \sigma_x = \sigma_y;$$

$$(4) x=0 \text{ 时 } \tau_{xy} \equiv 0; \quad (5) y=0 \text{ 时 } \tau_{xy} \equiv 0;$$

$$(6) x=a \text{ 时 } \tau_{xy} = 0; \quad (7) y=a \text{ 时 } \tau_{xy} = 0$$

则可解得（略）

$$\sigma_x = \frac{4P}{4a^2} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)z^{n-1}a}{2\sqrt{2}nh^n} \left[\left(\frac{1}{2n+1} - \frac{1}{n+1} \right) + \frac{1}{a^{n+1}} \left[\frac{x^{n+1}}{n+1} - \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)a^n} \right] \right] \right\} \quad (14)$$

$$\sigma_y = \frac{4P}{4a^2} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)z^{n-1}a}{2\sqrt{2}nh^n} \left[\left(\frac{1}{2n+1} - \frac{1}{n+1} \right) + \frac{1}{a^{n+1}} \left[\frac{y^{n+1}}{n+1} - \frac{y^{2n+1}}{(2n+1)a^n} \right] \right] \right\} \quad (15)$$

$$\tau_{xy} = 0 \quad (16)$$

5 (立)方体试件极限荷载与抗压强度

从屈服准则方程(3)可改写为

$$\frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) - \sigma_3 = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) - \frac{3\sigma_3}{2} = \sigma_s^0$$

$$\text{即} \quad \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) - \frac{3\sigma_3}{2} = \sigma_s^0 \quad (17)$$

经过一系列运算, 可取

$$\sigma_3 \approx \sigma_z + \frac{\tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2}{\sigma_z} \quad (18)$$

将式(7), (10), (11), (14), (15)代入式(18), 然后代入式(17)并积分得

$$P_u = 4a^2 \sigma_s^0 / \left\{ 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)fa}{4\sqrt{2}(n+1)(n+2)h} + \right. \quad (19)$$

$$\left. \frac{3}{8} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(2i+1)(2j+1)f^2}{i^2 j^2 (i+j+1)} \left[\frac{1}{(i+j+1)} - \frac{1}{(2i+j+1)} - \frac{1}{(i+2j+1)} - \frac{1}{(2i+2j+1)} \right] \right\}$$

其中 $n=1, 2, 3; i=1, 2; j=1, 2$

当不抹油时, 摩擦系数 f 取 0.5, 抹油时, 摩擦系数 f 取 0.2。计算结果见表 1:

表 1 立方体抗压强度

Table 1 Compression strengths of cubical samples

h/a	P_u (抹油)	P_u (不抹油)	σ_s (抹油)	σ_s (不抹油)
0.5	1.061	1.163	1.061	1.163
1.0	1.029	1.072	1.029	1.072
1.5	1.019	1.045	1.019	1.045
2.0	1.014	1.0315	1.014	1.0315
3.0	1.009	1.019	1.009	1.019
4.0	1.006	1.025	1.006	1.0125
5.0	1.005	1.009	1.005	1.009

注: P_u 为表中数据乘以 $\sigma_s^0 A$; σ_s 为表中数据乘以 σ_s^0 。

第 4, 5 节讨论的问题也适用于长方体或立方体试件。

6 圆柱体试件极限荷载与抗压强度

如图4, 设圆柱体面积为 $A = \pi a^2$, a 为半径, 高度为 $2h$, 上下摩擦系数为 f 。圆柱体属轴对称问题, 应力分量为 $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z, \tau_{rz}, \tau_{rz}$ (图4-b), 则不考虑体积力时的平衡方程为

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\tau_{rz}}{r} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

设剪应力,

$$\tau_{rz} = \tau_{rz} = -\sum_{n=1}^{\infty} C_n f \frac{P z^n}{A h^n} \left(\frac{r}{a} \right)^n \left[1 - \left(\frac{r}{a} \right)^n \right] \quad (21)$$

式中 C_n 为待定不均匀摩擦系数。

式(21)满足表面条件: 当 $r=0$ 时, $\tau_{rz} = \tau_{rz} = 0$; $r=a$ 时, $\tau_{rz} = \tau_{rz} = 0$, 且当 $z=h$ 所得结果为上表面摩擦力。式(21)代入式(20)中的第2式并积分得

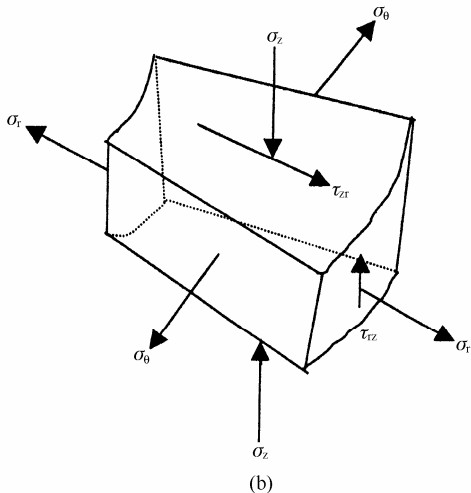
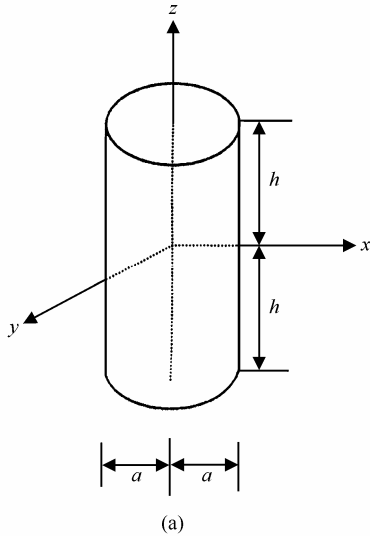


图4 圆柱体试件尺寸与应力状态
Fig.4 Cylinder sample sizes and stress states

$$\sigma_z = -\sum C_n \frac{f P z^{n+1}}{(n+1) A h^n} \left[\frac{(n+1) r^{n-1}}{a^n} - \frac{(2n+1) r^{2n-1}}{a^{2n}} \right] + \quad (22)$$

式中 $f(r)$ 为待定积分函数。

根据圣维南原理, 设 $z=0$ 处, 摩擦力对 σ_z 影响不考虑。当 $z=0$, 有 $\sigma_z \approx -\frac{P}{A} = -\frac{P}{\pi a^2}$, 可求得 $f(r)$ 。即

$$\sigma_z = \frac{-P}{A} \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \frac{f P z^{n+1}}{(n+1) A h^n} \left[\frac{(n+1) r^{n-1}}{a^n} - \frac{2(n+1) r^{2n-1}}{a^{2n}} \right] \right\} \quad (23)$$

根据库仑定律, $\tau_{rz} = \tau_{rz} = f \sigma_z$ ($z=h$ 处)

则 $\int_0^a (\tau_{rz} \cdot 2\pi r) dr = f \int_0^a \sigma_z \cdot 2\pi r dr$ 。将式(21), (23)代入得,

$$\sum_{n=1}^{\infty} 2C_n \left(\frac{1}{n+2} - \frac{1}{2n+2} \right) = 1$$

令 $1 = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n+1} \right)$, 则 $C_n = \frac{n+2}{n^2}$, 代入式(21)

$$\tau_{rz} = \tau_{rz} = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n+2}{n} \frac{f P z^n}{A h^n} \left(\frac{r}{a} \right)^n \left[1 - \left(\frac{r}{a} \right)^n \right] \quad (24)$$

$$\sigma_z = -\frac{P}{A} \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(n+2) f P z^{n+2}}{n^2 (n+1) A h^n} \left[\frac{(n+1) r^{n-1}}{a^n} - \frac{2(n+1) r^{2n-1}}{a^{2n}} \right] \right\} \quad (25)$$

因 $\sigma_r \leq \sigma_z, \tau_{rz} \leq \sigma_z, \left(\frac{2\tau_{rz}}{\sigma_r - \sigma_z} \right)^2 \leq 1$, 因此, 任一点主应力可表示为

$$\sigma_1 = \sigma_\theta; \sigma_2 \approx \sigma_z - \frac{\tau_{rz}^2}{\sigma_z}; \sigma_3 \approx \sigma_z + \frac{\tau_{rz}^2}{\sigma_z} \quad (26)$$

将式(26)代入式(3)得

$$\sigma_\theta = 2\sigma_z + 2\sigma_s^0 - \sigma_r + 3 \frac{\tau_{rz}^2}{\sigma_z} \quad (27)$$

将式(24), (25)代入式(27), 再代入式(20)中的第1式 (为了计算简便, 式(27)中右边第4项中的 σ_z 取平均值, 即 $\sigma_z = -\frac{P}{A}$), 解微分方程并利用边界条件得

$$P = \frac{\sigma_s^0}{\left\{ 1 - f \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n+2}{n} \frac{z^{n-1}}{h^n} \left[\frac{a}{n+3} - \frac{a}{2n+3} \right] - 3f^2 \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \left\{ \frac{(i+2)(j+2)}{i^2 j^2} \frac{z^i z^j}{h^{i+j}} \left[\frac{1}{i+j+2} - \frac{1}{2i+j+2} - \frac{1}{i+2j+2} + \frac{1}{2(i+j+1)} \right] \right\} \right\}} \quad (28)$$

式(28)满足平衡方程、上下面约束条件以及屈服条件和表面条件。通过取一阶导数为 0, 求得 z/h 比值代回式(28), 求得极限荷载。式(28)级数收敛比较好, 具体计算只需取 3~4 项, 即可得到满意结果。不同高径比下的 z/h 值见表 2。

在抹油情况下, 摩擦系数 f 取 0.2。不抹油情况下 f 取 0.5, 计算时取 $n=1, 2, 3$; $i=1, 2$; $j=1, 2$, 代入式(28)可计算得极限荷载 P_u 和抗压强度, 见表 3。

表 2 不同高径比下的 z/h 值

Table 2 z/h value							
h/a	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0
z/h	-0.276	-0.189	-0.140	-0.111	-0.077	-0.060	-0.048

表 3 不同高径比下的极限荷载和抗压强度
Table 3 Limit loads and compression strengths under different h/a

h/a	P_u (抹油)	P_u (不抹油)	Σ_s (抹油)	Σ_s (不抹油)
0.5	1.053	1.132	1.053	1.132
1.0	1.028	1.074	1.008	1.074
1.5	1.019	1.050	1.019	1.050
2.0	1.014	1.037	1.014	1.037
3.0	1.010	1.025	1.010	1.025
4.0	1.007	1.018	1.007	1.018
5.0	1.005	1.014	1.005	1.015

备注: P_u 为表中数据乘以 $\sigma_s^0 A$; Σ_s 为表中数据乘以 σ_s^0

7 理论计算与实测结果比较

为了验证理论计算结果, 人工制作了水泥土试件并进行室内强度试验。水泥土中掺入 15 % 的水泥。水泥土试件分别为圆柱体, 直径 70 mm, 高径比分别为 1 和 2。长(立)方体试件边长为 70.7 mm 和 150 mm, 高宽比为 1 和 2。养护期分别为 28 d 和 90 d, 每组试件 6 块。抗压试验时, 试件上下受压面分抹油(凡士林)和不抹油两种情况。为测定试件受压时应力和应变关系, 试件两对侧面布置了上中下横向应变片和竖向应变片 6 组, 测得的抗压强度与理论计算结果, 列表如下:

表 4 28 d、90 d 龄期抗压强度实验结果
Table 4 Experimental results of the 28 days and 90 days compression strengths

形状	试件尺寸/mm	条件	28 d 抗压强度/MPa	90 d 抗压强度/MPa
(立)方体	70×70×70	抹油	2.09	4.39
		不抹油	2.48	4.72
	150×150×150	抹油	1.86	3.00
		不抹油	1.98	3.55
圆柱体	$h/a=1, h=70$	抹油		5.08
		不抹油		5.73
	$h/a=2, h=70$	抹油		4.92
		不抹油		5.41

表 5 试件受压面约束条件(摩擦)对水泥土的强度影响
Table 5 Influence of surface friction forces of samples on their strengths

形状	抗压强度 h/a	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0
长方体	σ_s (不抹油) 理论	1.096	1.042	1.025	1.017	1.010	1.006	1.004
	σ_s (抹油) 实测(90 d)	1.185						
圆柱体	σ_s (不抹油) 理论	1.075	1.045	1.030	1.023	1.015	1.011	1.009
	σ_s (抹油) 实测(90 d)	1.128 1.100						

表 6 试件尺寸不同对水泥土强度影响
Table 6 Influence of sample sizes on their strengths

$\xi=h/a$	$\sigma_{s\xi}/\sigma_{s1}$			
	抹油		不抹油	
	理论	实测(90 d)	理论	实测(90 d)
0.5	1.024		1.054	
1.0	1		1	
1.5	0.991		0.978	
2.0	0.986	0.969	0.966	0.944
3.0	0.982		0.954	
4.0	0.980		0.948	
5.0	0.978		0.944	

注: $\sigma_{s\xi}$ 的下标为 h/a 的比值。 σ_{s1} 的下标 1 表示 $h/a=1$ 。

从表 3~6 中数据可以看出:

- (1) 对于圆柱体与长方体试件, 其高宽(径)比对强度有一定影响, 抗压强度随高宽比增大而减小。
- (2) 试件上下受压面边界条件对其抗压强度有影响, 上下受压面越光滑, 其抗压强度越低。
- (3) 对于圆柱体和长方体试件其上下表面边界条件对强度有一定影响, 理论计算与实测结果基本一致。

8 结论

理论计算和试验实测结果均表明: 圆柱体和长立方体试件尺寸即高宽(径)比和上下表面抹油与否对水泥土试件抗压强度均有一定影响; 随高宽(径)比增大, 其强度降低趋于一定值。随高宽(径)比增大, 表面抹油的影响而相应减弱。因此, 作者建议采用高宽(径)比为 3~2 之间, 且表面一般抹油, 所测得数据更接近水泥土(砼)单轴抗压强度。

参考文献

[1] 俞茂宏. 强度理论新体系[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1992.

[2] 徐芝伦. 弹性理论(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1980.

[3] 王仁. 塑性力学基础[M]. 北京: 科学出版社, 1982.

[4] JT017-96, 公路软土地基路堤设计与施工技术规范[S].

[5] TB10113-96, 粉体喷搅法加软弱土层技术规范[S].

[6] JGJ79-91, 建筑地基处理技术规范[S].

[7] JTJ051-93, 公路工程土工试验规范[S].