

建筑情报资料

第 8006 号

1980 年 1 月

砧石砌体齿缝抗剪强度的试验研究 译文集

四川省建筑科学研究所编印

译者的话

砖石样体因地震引起的破坏形式一般为对角斜裂或交叉对角斜裂，这主要是由于地震荷载（所谓地震荷载是指结构的动力惯性反应，主要是均布作用在房屋楼尺或屋面上的水平惯性力和重力）超过砖石砌体沿齿缝截面的抗剪能力所致。因而砖石砌体的齿缝抗剪强度是砖石结构房屋抗地震能力的重要指标之一。如何合理地确定砌体的齿缝抗剪强度，长期以来为许多研究者所关注，近年来国内外在这方面的研究颇为广泛，但由于不同的研究者采用的试验方法不同，所得试验数据各异，难于统一，不便应用。为此，特将所收集到的，有一定参考价值的相关国外文献资料，选译成集，以供进一步开展这方面的研究工作时参攷。

译文仅作初步校对，可能存在不妥或谬误之处，文中有关术语、名词及符号等都未及统一。

目 录

- 一、砖石剪力样的破坏假定
- 二、在轴向压力和平面内剪力共同作用下砖样的分析
- 三、在轴向压力和剪力共同作用下样体的破坏和变形
- 四、砖石样体对角拉力（剪力）强度的标准试验方法

ANSI/ASTM E519—74

砖石剪力样的破坏假定

F. Y. 约克尔 S. G. 法特尔

前 言

本文主要论述同时承受对角荷载和作用于样体平面内、垂直于水平灰缝的竖向荷载的粘土砖样的承载能力，这些样体试件的荷载情况和边界条件与实际建筑中某些受剪样体构件所承受的荷载情况和边界条件是相似的。

对不同的破坏假定与有关文献^[3]中介绍的32个48 × 48 吋 (122 × 122 厘米) 的单砖样试验结果进行了比较，文中为说明试验中观察到的破坏模式提出了破坏假定。

荷载情况

荷载情况如图1所示，图中 P_α 为对角荷载， P_v 为竖向均布荷载*的合力，为了便于研究，引入下列公称应力： $\bar{\tau}$ —— 公称剪应力，由 P_α 的水平分力除以试件水平截面面积 bt 而得； $\bar{\sigma}_y$ —— 公称竖向应力，由 P_v 和 P_α 的竖向分力的合力除以 bt 而得。实际试件的宽度 b 约为 48 吋 (122 厘米)，试件厚度 t 约为 3.7 吋 (9.4 厘米)。荷载 P_α 由边长为 6 吋 (15 厘米) 的三角形垫板传递，而 P_v 则由三个 11 吋 (28 厘米) 长的垫块传递。

译注：原文 "The distributed edge load" 可直译为均布边缘荷载。

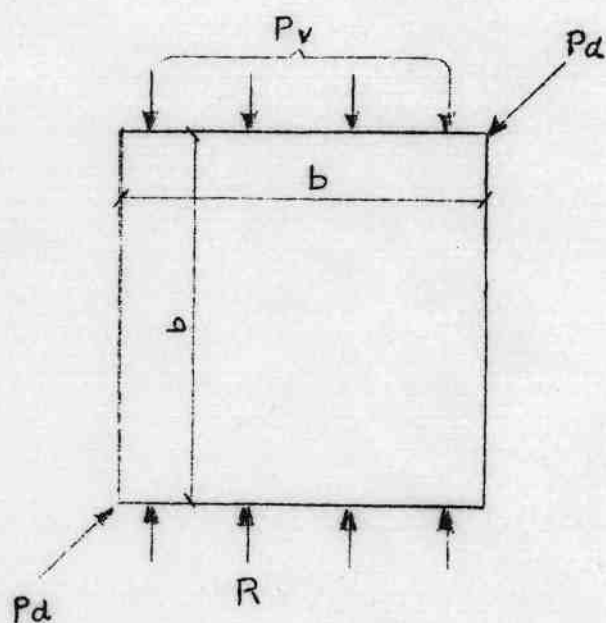


图1 荷载情况

应力分布

在本分析中，我们假设试件的强度与按匀质（各向同性）线弹性模型计标的破坏时的假定应力水平有关。由于缺乏关于试件弹性性质的方向变异的专门资料，故不能采用各向异性模型。然而，按2:1的正交弹性模量比进行数值分析的结果表明，本文的分析结果与考虑正交各向异性的分析结果并无显著差异，由于不均匀性及材料疵病所引起的实际局部应力与计标所得应力是会有些差别的。

Frocht⁽²⁾对单独承受 P_d 作用的方形板的弹性应力分布进行了近似计标，他也证明了计标应力与在光弹模型中观测的应力是相当吻合的。Frocht为了简化他的计标公式，假设泊桑比 ν 等于0。

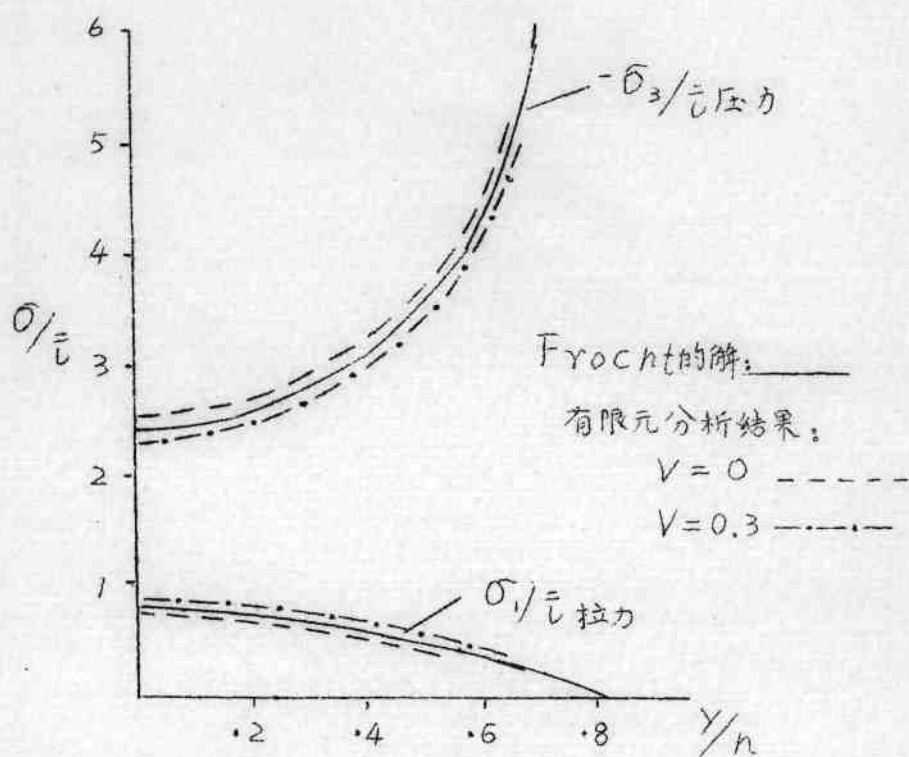
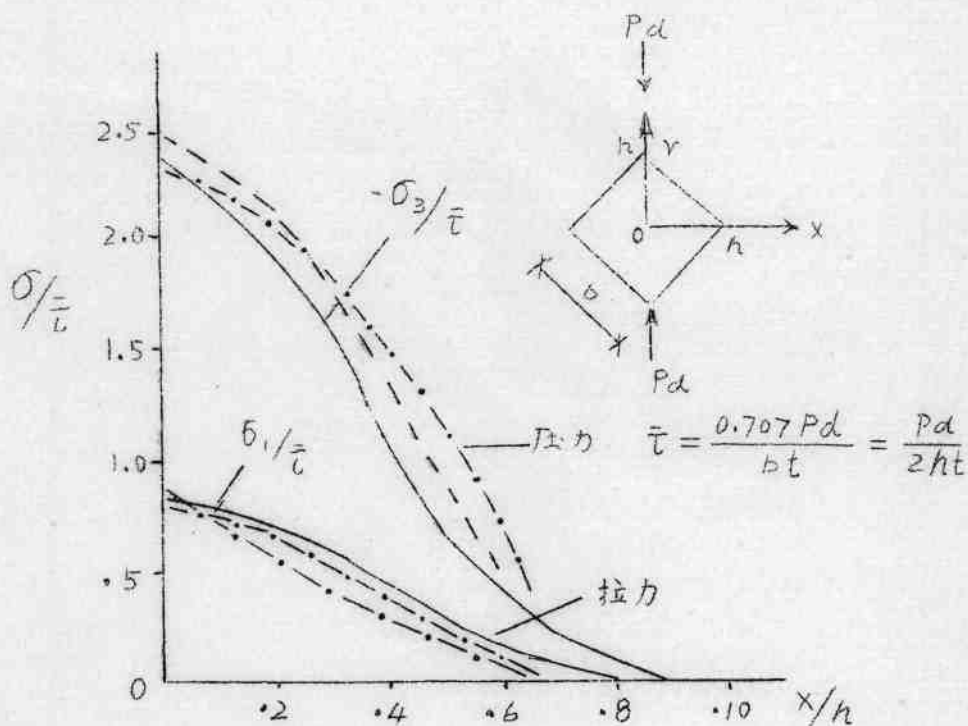


图2 应力分布

Frocht的解与按有限元法分析结果的比较如图2所示。进行有限元法分析时，将第一象限（ $y = 0 \sim R$ ， $x = 0 \sim R$ ）分成78个单元，其尺寸接近试件中心和角隅为 $R/16$ ，其它处为 $R/8$ 。当 $V=0$ 时，按有限元法计标的样板中心的主拉应力和主压应力分别比Frocht计标结果低4%和高3%。当 $V=0.3$ 时，按有限元法计标的拉应力近似等于Frocht的计标结果，而压应力则低4%，根据有限元法的研究，可以认为泊桑比对标应力值及其分布的影响不显著，因而足以证明本研究的改选是正确的。

在图2中，以无量纲的 $\bar{\sigma}$ 的倍数表示主应力，在以下的分析中，以 σ_1 表示样板平西内的主拉应力或较小的主压应力；以 σ_3 表示较大的主压应力，以 σ_2 表示垂直于样板平西的主应力，并假设为0。

Frocht 求得的样板中心的主应力（见图2）为：

$$\sigma_1 = 0.7336 \bar{\sigma} \quad (1)$$

$$\sigma_3 = -2.380 \bar{\sigma} \quad (2)$$

上式中压应力为负，拉应力为正，而 $\bar{\sigma}$ 假设为正，各边平行于样板的相应边的微小单元的应力以及用模尔图表示的相应的应力状态，示于图3（a）中， σ_1 的法向平西与水平方向（灰缝的方向假设为“水平的”）之夹角 $\alpha = 45^\circ$ 。

图3（b）表示同时承受 P_a 和 P_v 作用的样板中心的应力状态。将应力 $\sigma_v = P_v/bt$ 叠加在图3（a）中微小单元原有的应力上。于是按模尔图求得下列应力表达式（见图3（b））：

$$\sigma_1 = -0.823 \bar{\sigma} + \frac{\sigma_v}{2} + \sqrt{(1.556 \bar{\sigma})^2 + \frac{\sigma_v^2}{4}} \quad (3)$$

$$\sigma_3 = -0.823 \bar{\sigma} + \frac{\sigma_v}{2} - \sqrt{(1.556 \bar{\sigma})^2 + \frac{\sigma_v^2}{4}} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \cot^{-1} - \frac{\sigma_v}{3.112 \tau} \quad (5)$$

在上列公式中，当 P_v 为压力时， σ_v 为负，当 P_v 为拉力时， σ_v 为正；而它总是假设为正的。

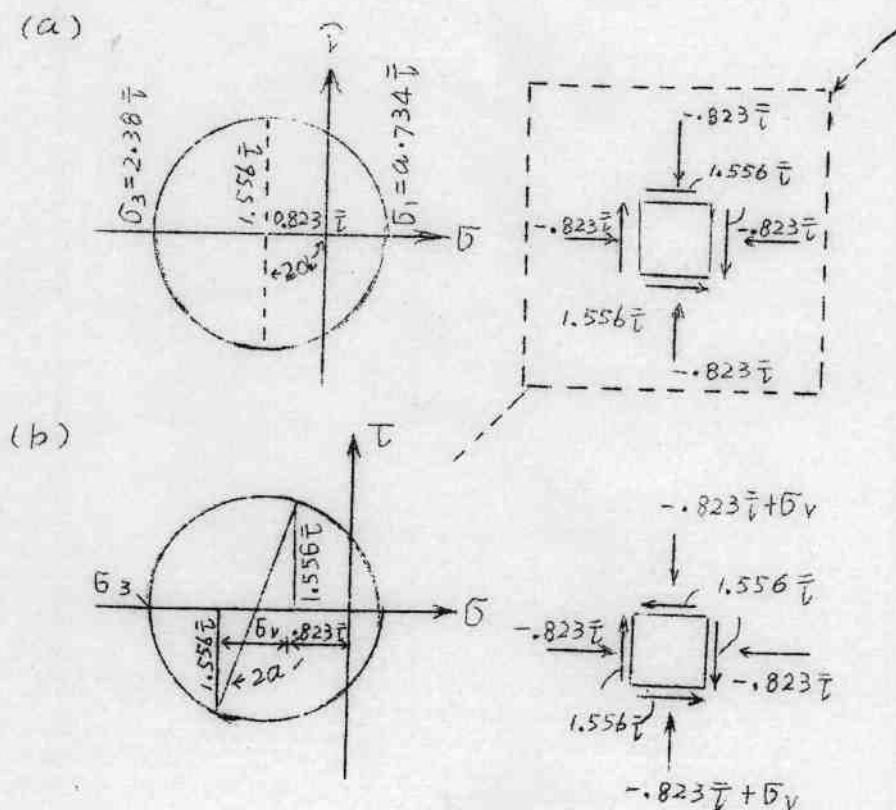


图3 样板中心的计标的应力状态

(a) 仅 P_a 作用于样板；

(b) P_a 和 P_v 同时作用于样板

破坏假定

概述：由于所考虑的试验资料没有为这种研究提供足够的依据，本文没有对已提出的类似砖石砌体的全 π 破坏假定进行详细

研究，这里考虑三种劈裂破坏假定和一种由于灰缝脱开的破坏假定，劈裂破坏假定是：(1)由临界法向应力引起的破坏；(2)由二向法向主应力的临界组合引起的破坏，这是近年来由混凝土试验结果〔7〕所证实的一个概念，它包括以往所研究过的，范围广泛的不同破坏假定；(3)由平卧内的临界拉应变引起的破坏，这种假定可作为单一破坏准则用来说明“受拉”破坏和“受压”破坏。

本文所考虑的试验中实际记录的破坏状态示于图4~6，可分为三种普通类型：

1. 沿灰缝脱开（见图4试件AC2）。

2. 一般沿着 σ_1 方向的劈裂（所谓劈裂方向就是材料颗粒分离的方向，即垂直于裂缝扩展方向），开裂范围沿对角荷载作用线，包括样板中心（见图5试件AH2~4），

3. 接近 σ_1 方向的劈裂，在荷载作用处附近开裂最严重，但不延伸至样板中心（见图5试件AH8）。

在所有的试验记录里没有发现由于砖块或灰缝被压碎或由于垂直样板平面的劈裂而引起的破坏迹象。

下述有关劈裂破坏假定的研究完全是根据样板中心的弹性应力状态。假如下述两个条件得到满足，则本研究可提供一个有效的判断模型：(1)破坏是脆性的（当荷载低于破坏荷载时，无显著的应力重分布），(2)大多数临界情况发生在样板中心或其附近。对于劈裂破坏（第二和第三类），第一个条件能很好的满足。第二类破坏满足第二个条件；但第三类破坏则不满足第二个条件，在这类破坏中大多数临界情况可能发生在样板中心以外的位置。

接近样板角隅加荷处和荷载垫块下的受压破坏，可解释为由于加荷设备的复杂限制效应引起的，因为在实际建筑中的受剪样

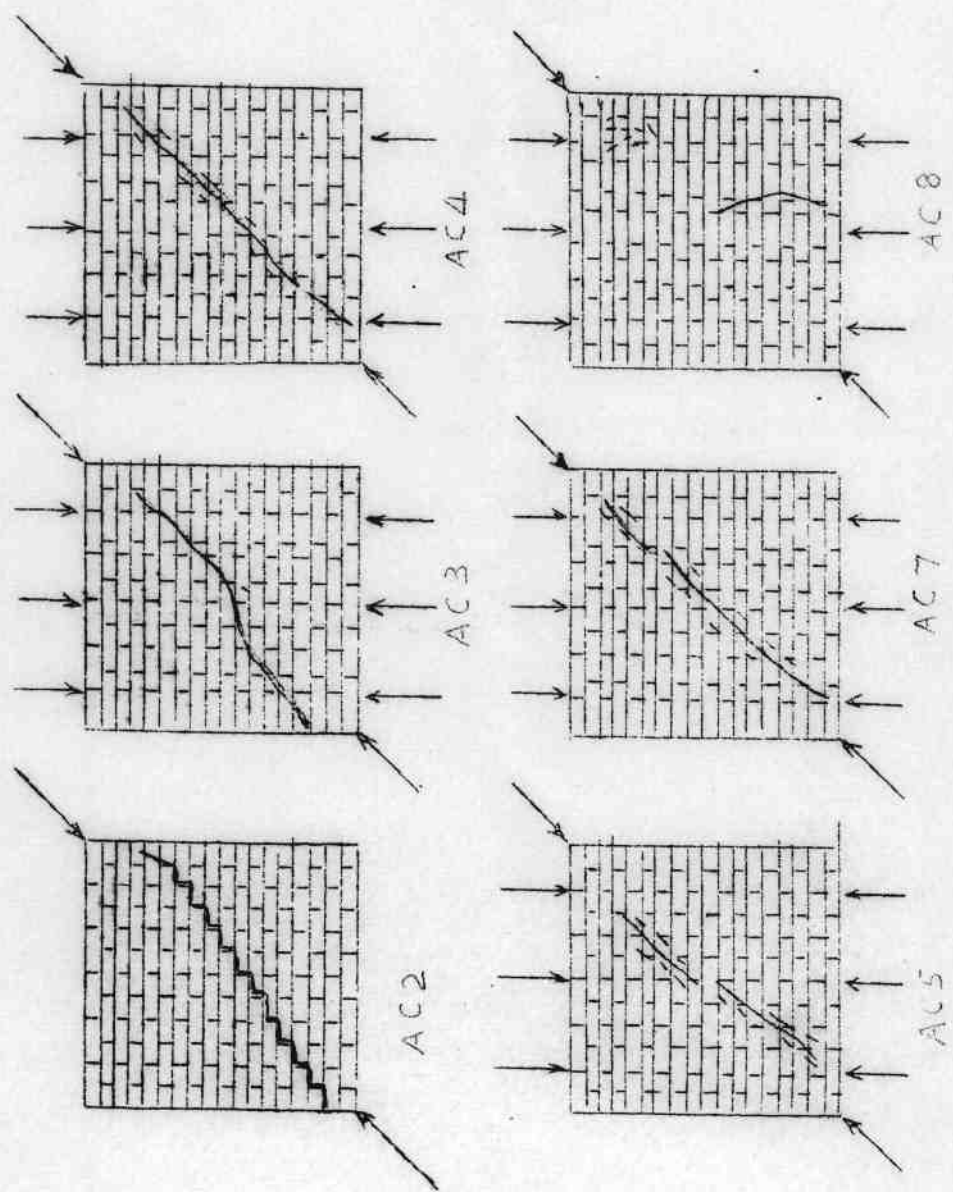


图4 AC型试件的破坏模式

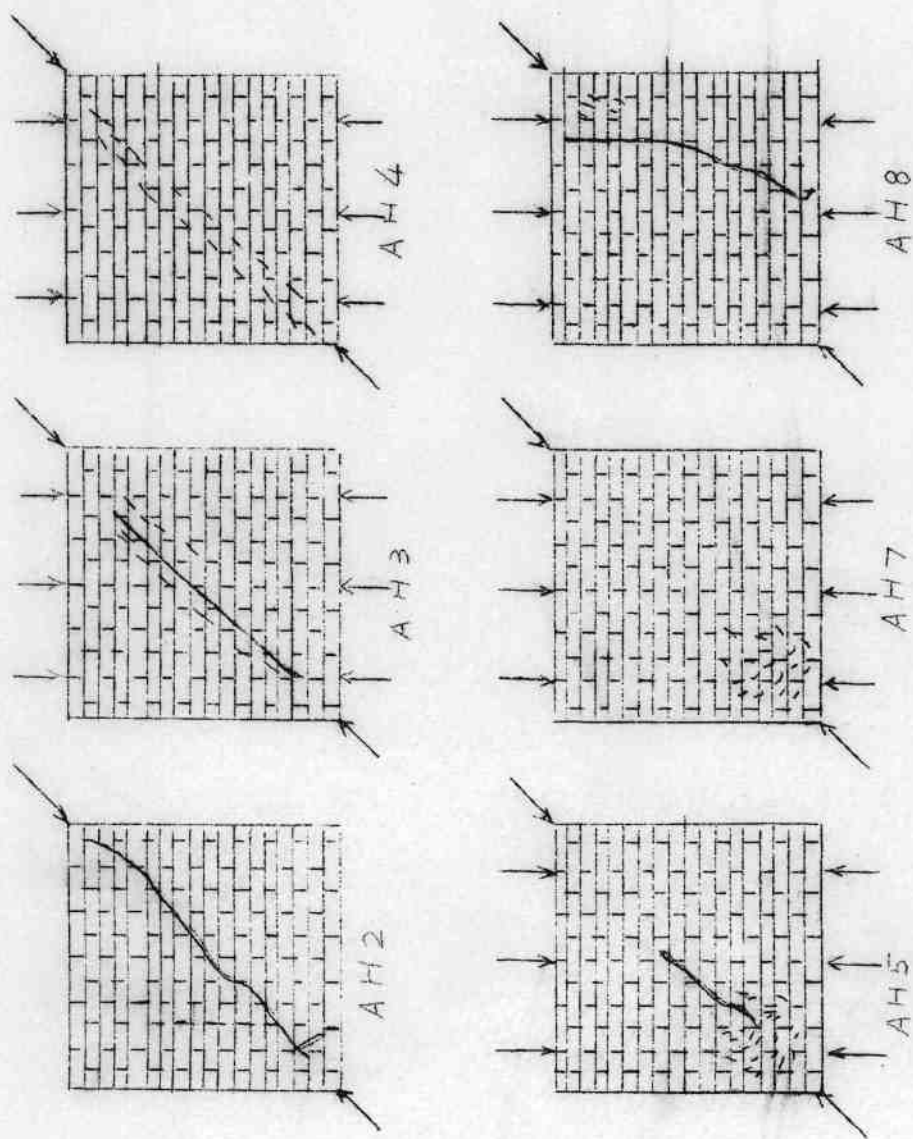
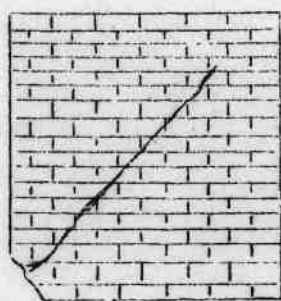
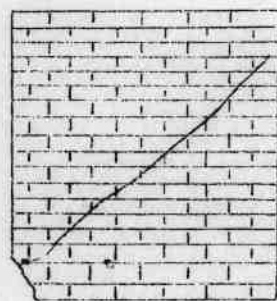


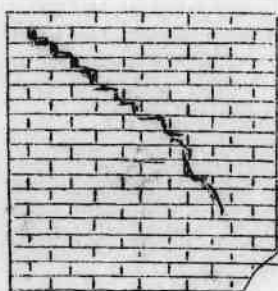
图5 AH型试件的破坏模式



BH3



BH7



SH5

图5 BH型和SH型试件的破坏模式

体构件一般不考虑产生第三类破坏的荷载传递情况，所以本文不研究这类破坏情况。

由临界法向应力引起的破坏：按以这种假定，试样破坏是由于 σ_1 超过抗拉强度或 σ_3 超过抗压强度。根据这个假定，可能产生破坏的应力 $\bar{\tau}$ 和 $\bar{\sigma}_g$ 的临界组合示于图7曲线1。图中应力 $\bar{\tau}$ 和 $\bar{\sigma}_g$ 以

$$\bar{\tau}'_d = \frac{0.707 P d'}{b t} \quad (6)$$

的倍数表示，上式中 $P'd$ 为 $P_v = 0$ ($\frac{\bar{\tau}}{\bar{\tau}'} = 1$, $\bar{\sigma}_y/\bar{\tau}' = -1$) 时的对角荷载，曲线 1 是根据 $\frac{\bar{\tau}}{\bar{\tau}'} = 1$ 和 $\bar{\sigma}_y/\bar{\tau}' = -1$ 的前提条件计标的， $\bar{\sigma}_1$ 为材料的抗拉强度，曲线 1 (a) 和 1 (b) 代表相应于 $R' = -8.3$ 和 $R' = -9.7$ 这两种典型试件的样板中心的受压破坏，此处

$$R' = \frac{f_m'}{\bar{\tau}'} \quad (7)$$

式中 f_m' 的元侧限抗压强度，如前所述，在所研究的专门试验中，受压破坏显然不会从样板中心开始，因此曲线 1 (a) 和 1 (b) 所表示的情况是不适用于试验结果的。

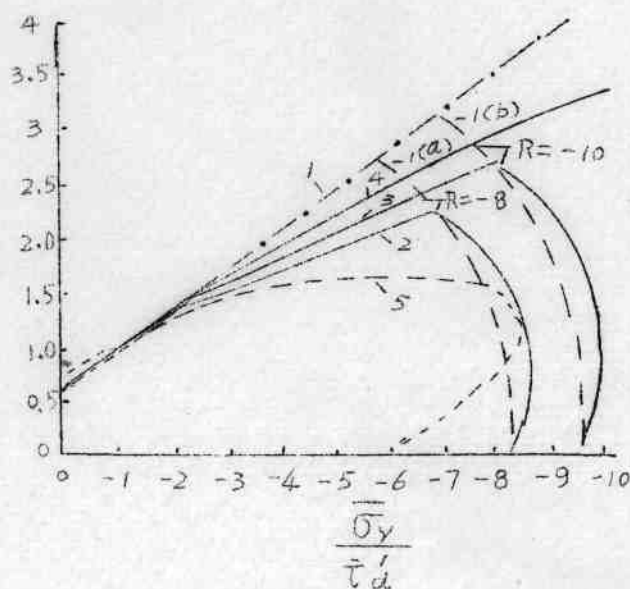


图 7 劈裂破坏假定

计标曲线 1 时没有对劈裂强度的方向变异作特殊考虑，我们知悉这种变异是存在的，Johnson 和 Thompson^[5] 的报告指出，劈裂强度随劈裂缝与水平方向（水平灰缝的方向）的夹角

α 的增加 ($0^\circ \sim 90^\circ$) 而增大, 在 $\bar{\sigma}_3/\bar{\sigma}'_d = -1$ 和 $\bar{\sigma}_3/\bar{\sigma}'_d = f'_m/\bar{\sigma}'_d$ 范围内, 当 α 在 $45^\circ \sim 90^\circ$ 之间变化时, 强度增长范围为 6% (对 $\alpha = 90^\circ$ 劈裂强度为 490 磅/吋² 的砌体) 至 25% (对 $\alpha = 90^\circ$ 劈裂强度为 275 磅/吋² 的砌体)。当 $\bar{\sigma}_3/\bar{\sigma}'_d < -1$ 时, 考虑到强度的这种变化, 可能增加计算的强度, 若 α 由 45° 减至 0° , 劈裂强度大幅度地降低, 则当 $\bar{\sigma}_3/\bar{\sigma}'_d > -1$ 时, 计算的强度可能显著地降低, 由于缺乏有效的适当的试验结果, 本文不讨论这种变化范围。

由法向主应力的临界组合引起的破坏:

参以 Griffith^[4] 关于脆性破坏的总议, 本假定假设试件的破坏是由试件平石内的两种主应力引起的。Kupfer 等人^[7] 近年来的实验工作对混凝土验证了这个概念。Kupfer 关于混凝土的强度包络线之一示于图 8(a)。Khoo 和 Hendry^[6] 按取自 $1/3$ 比例的模型砖为 $1 \times 1 \times 3$ 吋 ($2.5 \times 2.5 \times 7.6$ 厘米) 的试件, 进行双轴向试验的结果确定的强度包络线示于图 8(b), 因为试件是取自砖块, 所以 Khoo 的相关曲线没有反映砌体内灰缝的影响, 本研究中假定的强度包络线示于图 8(c), 在 $\bar{\sigma}_3 \leq 0 \leq \bar{\sigma}_1$ 范围内, 图 8(c) 第二象限内的简化的线性强度包络线符合摩尔破坏理论^[12], 它是由下列两点唯一确定的: 其一相当于竖向压力作用下的破坏应力状态, 此时 $\bar{\sigma}_1 = 0$, $\bar{\sigma}_3 = f'_m$; 另一点相应于前节已定义的在破坏荷载 P_d' 作用下的应力状态, 此时 $\bar{\sigma}_1 = 0.7336 \bar{\sigma}'_d$, $\bar{\sigma}_3 = -2.380 \bar{\sigma}'_d$ 。参数 f''_s 为当 $\bar{\sigma}_3 = 0$ 破坏时的表观较大主应力, 由下式确定:

$$f''_s = 0.7336 \bar{\sigma}'_d \frac{f'_m}{(f'_m + 2.38 \bar{\sigma}'_d)} \quad (8)$$

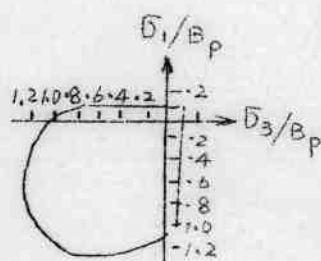
为了方便, 将由

$$R = \frac{f'_m}{f'_s} \quad (9)$$

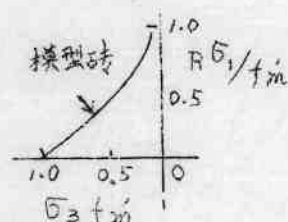
定义的元骨料参数 R 引入图 8(c) 中, 它与实测值 $R' = f'_m / \bar{\sigma}_c$ 的关系为

$$R = 1.36 R' + 3.24 \quad (10)$$

(a)



(b)



σ_p = 混凝土的元侧限抗压强度

试验数据的近似范围

(c)

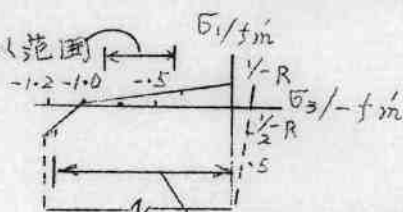


图 7 中曲线 2, 3 和 4 的近似范围

图 8 强度色络线

(a) 混凝土 (Kupfer 等):

(b) 模型砖 (Khoo 和 Hendry):

(c) 假定的强度色络线。

根据图 8(c) 中的强度色络线, 在下列临界应力时, 可能发生破坏。

若 $\sigma_3 \leq 0 \leq \sigma_1$:

$$\text{则 } \sigma_1 = f'_s - \frac{\sigma_3}{R} = \frac{f'_m - \sigma_3}{R} \quad (11)$$

若 $\sigma_1 = 0$:

$$\text{则 } \sigma_3 = f'_m \quad (12)$$

若 $\sigma_1 < 0$:

$$\text{则 } \sigma_3 = f'_m + \sigma_1 \geq 1.2 f'_m \quad (13)$$

在式(11)中, σ_1 为正; 在式(13)中, σ_1 为负, σ_3 , f'_m 及比值 R 均为负。

由图8可以看出, 在 $\sigma_3 = f'_m$ 和 $\sigma_3 = 0$, $\sigma_1 = f'_m/R$ 之间的一段相关曲线不一定是线性的, 我们知道劈裂强度因 σ_1 的方向变化而变化, 且当 σ_1 的方向垂直于水平灰缝时, 劈裂强度趋于显著降低⁽⁵⁾。就本文所考虑的荷载和边界条件来说, 用于推导公式11~13的图8(c)可在 $\bar{\sigma}_g/\bar{\epsilon}'_a \leq -1$ 范围内导出强度的近似估计值, 当外推到 $\bar{\sigma}_g/\bar{\epsilon}'_a > -1$ 的范围, 相当于施加拉力 P_v , 对这种情况缺乏有效的试验数据, 当 $\alpha \rightarrow 0$ 时, 误差增大, 估计值可能过高, 本假定更一般的应用, 应考虑劈裂强度的方向变异, 因而破坏时:

$$\sigma_1 = f(\sigma_3, \alpha) \quad (14)$$

在图7中, 按本假定所得的相关曲线2, 3和4, 分别相应于 $R = -8$, $R = -10$ 和 $R = 16$, 前面谈到的受压破坏条件也可应用于这些曲线的下降部分, 它表示“受压破坏”。和前述情况一样, 破坏时的公称应力是根据下列前提确定的, 即按本假定的破坏准则, 当 $\bar{\sigma}_g/\bar{\epsilon}'_a = -1$ 和 $\bar{\epsilon}/\bar{\epsilon}'_a = 1$ 时, 发生破坏, 如前所述, 曲线延伸到 $\bar{\sigma}_g/\bar{\epsilon}'_a > -1$, 可能过高地估计强度。

由临界拉应变所引起的破坏: 按本假定当超过临界拉应变,

$$\sigma_1 - V\sigma_3 = \text{常数} \quad (15)$$

时发生破坏, 在这种情况下, 泊桑比(V) 对试件的承载能力有相当大的影响。关于砖石砌体泊桑比的有效资料不多, 文献[9]中介绍的混凝土泊桑比为 $0.16 \sim 0.25$, Blume 和 Prolx (1) 在他们试验中采用的配筋砖砌体的泊桑比估计值为 $0.1 \sim 0.25$ (在高应力时), 而 Saklich 根据切角砖块的 $3 \times 3 \times 6$ 厘米试件测得的泊桑比为 0.2 (在初始荷载时) ~ 0.35 (在极限荷载时)。本文中假定 $V = 0.2$, 据此, 图7中曲线5是根据破坏时,

$$\sigma_1 - 0.2\sigma_3 = \text{常数} \quad (16)$$

试件的。

就前述假定说, 曲线5经过校正, 以便在 $\bar{\epsilon}/\bar{\epsilon}'_d = 1$, $\bar{\sigma}_3/\bar{\epsilon}'_d = -1$ 时将发生破坏, 由曲线5可以看出, 按此假定, 当 P_v 单独作用下, 在 $\bar{\sigma}_3/\bar{\epsilon}'_d = -6.05$ 时将发生破坏, 然而若同时施加对角荷载, 则 P_v 可能增大, 该项强度的增大可能解释为: 在一定范围内, 将对角荷载 P_d 与 P_v 叠加时, 主拉应力便减小。

应当指出 在 $\sigma_3 \leq 0 \leq \sigma_1$ 范围内, 设 $V = -1/R$, 则临界拉应变假定与图8(C) 的强度包络线是等同的, 对应于由试验观察到三个典型数值 $R = -8$, $R = -10$ 和 $R = -16$ 的 V 值分别为 0.15 , 0.1 和 0.063 。即使现有资料有限, 这些 V 值与现有资料比较, 可认为偏低了。

由于灰缝脱开引起的破坏: 由于灰缝脱开的典型破坏见图4试件 AC 2。许多研究者介绍的灰缝脱开的判断准则, 可用下式表示:

$$\bar{\epsilon}_c = \bar{\epsilon}_0 - \mu \bar{\sigma}_3 \quad (17)$$