

混凝土剪切力学性能试验研究

唐 鹏

(安徽水利水电职业技术学院 市政与交通工程学院,安徽 合肥 231603)

摘要:为探究混凝土剪切力学性能,设置单轴剪切和考虑轴压作用剪切力学试验,应用材料剪切试验机得到不同加载工况下混凝土破坏形态和剪切位移—荷载曲线,通过试验数据对比分析,主要得到以下结论:轴压作用使得平行剪切向混凝土侧面形成一定的斜裂缝,同时使得剪切位移—剪切荷载曲线存在荷载稳定阶段;随着轴压比的提高,混凝土剪切应力和剪切位移明显增大,并对其作用机理进行分析,研究结论对混凝土剪切力学性能的分析具有重要意义。

关键词:混凝土;剪切;轴压比;力学性能

中图分类号:TU313

文献标志码:A

文章编号:1671-5322(2020)01-0057-04

混凝土作为目前建筑领域应用最为广泛的建筑材料,受到国内外学者广泛关注,对于混凝土配合比、力学性能、耐久性能以及工作性能展开大量的试验研究和理论分析,其中力学性能研究是混凝土研究方向最为重要的部分之一^[1-2]。

对于混凝土力学性能的研究,一般以受压和受拉加载方式为主,目前有大量文献从混凝土多轴加载方式,即受压和受拉加载方式三向组合形成的受力方式对混凝土力学性能展开分析,该种受力方式更符合混凝土实际工程受力形态^[3]。Gabet等^[4]从不同加载路径角度对混凝土多轴受力性能展开研究,Fujikake等^[5]考虑动力率效应对混凝土多轴力学性能进行分析,过镇海^[1]对不同加载方式混凝土多轴力学性能展开分析并提出相应的破坏准则,宋玉普^[6]对不同类别混凝土多轴力学性能展开分析并提出不同的本构关系。然而在实际工程中,混凝土不仅可能受到压力和拉力的作用,而且还可能受到剪切荷载的作用,对于混凝土受压和受拉力学性能的研究,国内外均有标准的试验方法和流程,但尚未提出对混凝土受剪方式的标准试验方法,一般采用矩形短梁剪切、Z形柱单剪以及双轴拉、压受力转化方式等,上述传统剪切试验方法采用间接剪切试验技术所得到的混

凝土剪切强度值一般受到轴向摩擦作用影响、剪切过程中的旋转作用影响和剪切过程中的弯曲作用影响。应用直接剪切试验技术对混凝土剪切力学性能的研究对于进一步完善混凝土力学性能具有重要意义^[7-9]。

本文应用材料直接剪切液压伺服机,对混凝土展开剪切试验研究,通过试验得到混凝土剪切破坏形态和剪切应力—应变曲线,通过提取剪切应力—应变曲线峰值应力,结合受压和受拉强度,研究混凝土剪切力学性能,同时考虑两种不同轴压力作用,对混凝土剪切多轴力学性能进行初步探究。

1 试验方案

1.1 试件设计

本文对普通混凝土剪切力学性能展开试验研究,设计混凝土强度等级为C35,根据《普通混凝土配合比设计规程》^[10]确定该强度等级混凝土配合比,如表1所示。普通混凝土原材料分别为普通硅酸盐水泥P·O 42.5,细骨料采用天然河沙,细度模数为2.6,粗骨料采用粒径范围4~20 mm天然骨料碎石以及城市自然水,不掺含外加剂成份。

收稿日期:2019-07-02

基金项目:安徽高校自然科学基金重点项目(KJ2016A286,KJ2016A287)。

作者简介:唐鹏(1980—),男,湖南临武人,讲师,硕士,主要研究方向为道路桥梁教学与实践。

表 1 混凝土配合比

Table 1 Concrete Mix Ratio		kg/m ³		
强度等级	水泥	水	细骨料	粗骨料
C35	466	205	571	1 158

试件设计尺寸为 100 mm × 100 mm × 100 mm, 将上述混凝土拌合料放置在标准模具中振动压实, 待 1 d 后脱模, 放置在标准养护室中养护 28 d, 随即脱模开展试验。

1.2 加载方案

混凝土剪切加载主要采用材料剪切加载设备, 由上下错动剪力盒组成, 剪力盒刚度极大, 能够满足试验加载要求, 将剪力盒放置在固定滑动轨道中, 使其按照固定路线滑动, 在横向荷载作用下, 上下剪力盒错动, 完成剪切试验^[3]。本文考虑 3 种不同加载工况, 主要有单轴剪切、轴压比 0.05 压一剪和轴压比 0.1 压一剪试验(本文混凝土单轴受压强度为 31.23 MPa), 轴向荷载根据单轴受压荷载确定, 取单轴受压荷载的 5% 和 10%。

加载首先对轴向荷载进行加载, 加载速率为 0.05 MPa/min, 待轴向荷载加载至规定荷载后停止加载, 开始横向剪切荷载加载, 加载速率为 0.5 mm/min, 考虑混凝土材料随机性和离散性, 每种加载工况设置 3 个试件, 取 3 个试件混凝土测量值均值进行分析, 设备装备荷载传感器和变形传感器, 满足试验测量要求, 如图 1 所示。

图 1 材料剪切设备^[7]Fig 1 Material Shearing Equipment^[7]

2 试验结果

2.1 剪切位移—荷载

根据本文试验加载方案, 通过设备荷载传感

器和位移传感器, 得到不同加载工况混凝土剪切位移—剪切荷载曲线, 如图 2 所示。

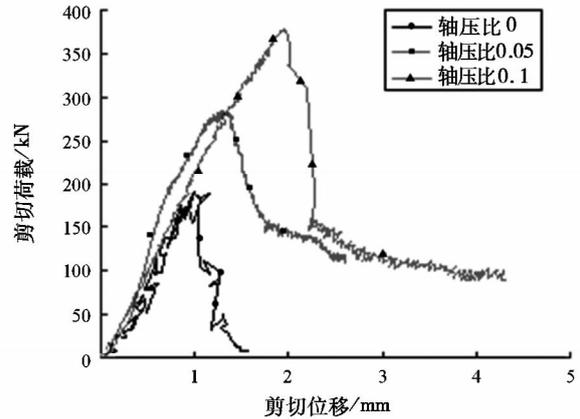


图 2 混凝土剪切位移—剪切荷载曲线

Fig 2 Shear displacement-shear load curve of concrete

根据图 2 混凝土剪切位移—剪切荷载曲线分析, 无轴压比混凝土剪切位移—剪切荷载曲线发展趋势分为两个阶段, 分别为: 弹性阶段和下降阶段, 弹性阶段即随着变形的提高, 混凝土剪切荷载线性增大, 下降阶段即随着变形提高, 混凝土剪切荷载瞬间下降, 趋势明显, 发展趋势与混凝土劈拉加载发展应力—应变关系曲线相类似; 当轴压比不为零时, 曲线发展趋势分为 3 个阶段, 分别为: 弹性阶段、下降阶段和荷载稳定阶段, 弹性阶段和下降阶段与无轴压比混凝土剪切位移—剪切荷载曲线相同, 荷载稳定阶段主要是随着剪切变形的增大, 剪切荷载基本稳定不变, 主要是由于剪切面互相错的摩擦荷载作用形成。随着轴压比的提高, 混凝土剪切荷载明显增大, 剪切变形有增大的趋势。

2.2 剪切特征参数

由如图 2 所示, 混凝土剪切位移—剪切荷载曲线提取剪切应力和剪切位移特征值, 分析轴压比对剪切特征值影响, 如图 3 所示。

根据图 3a 分析, 随着轴压比提高, 混凝土剪切应力明显增大, 当轴压比为 0 时, 混凝土剪切应力为 1.91 MPa, 当轴压比为 0.05 时, 混凝土剪切应力为 2.82 MPa, 相比单轴剪切工况提高了 47.64%, 当轴压比为 0.1 时, 混凝土剪切应力为 3.80 MPa, 相比单轴剪切工况提高了 1 倍, 轴压比与剪切应力基本呈线性变化关系, 根据数学软件回归分析得到公式(1)所示剪切应力 τ 与轴压比 ξ 关系方程。

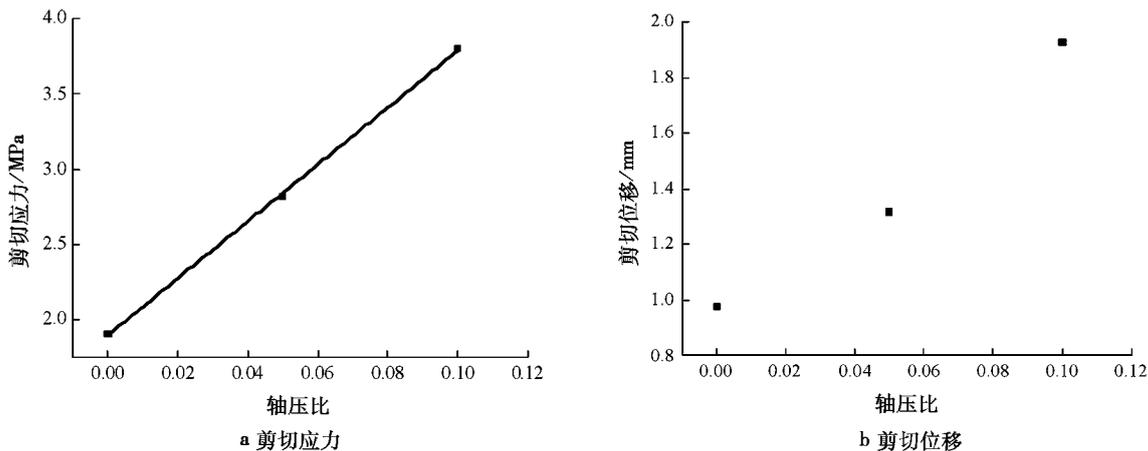


图 3 轴压比与剪切特征值关系

Fig 3 Relation between Axial Compression Ratio and Shear Eigenvalue

$$\tau = 1.898 + 1.89\xi$$

$$R^2 = 0.999 \quad (1)$$

如图 3b 所示为轴压比与剪切位移关系,随着轴压比提高,混凝土剪切位移明显增大,当轴压比为 0 时,混凝土剪切位移为 0.978 mm,当轴压比为 0.05 和 0.1 时,混凝土剪切位移分别为 1.317 mm 和 1.928 mm,相比单轴剪切工况提高了 34.66% 和 97.14%。分析原因主要在于轴压荷

载作用,增强了骨料之间的咬合作用和剪切界面之间相互作用,使得剪切应力和剪切位移得到明显增大。

2.3 破坏形态

根据本文试验方案得到普通混凝土单轴剪切和考虑轴向压力作用下的压—剪复合受力作用破坏形态,考虑全文篇幅,选取单轴剪切和轴压比 0.1 普通混凝土剪切破坏形态,如图 4 所示。

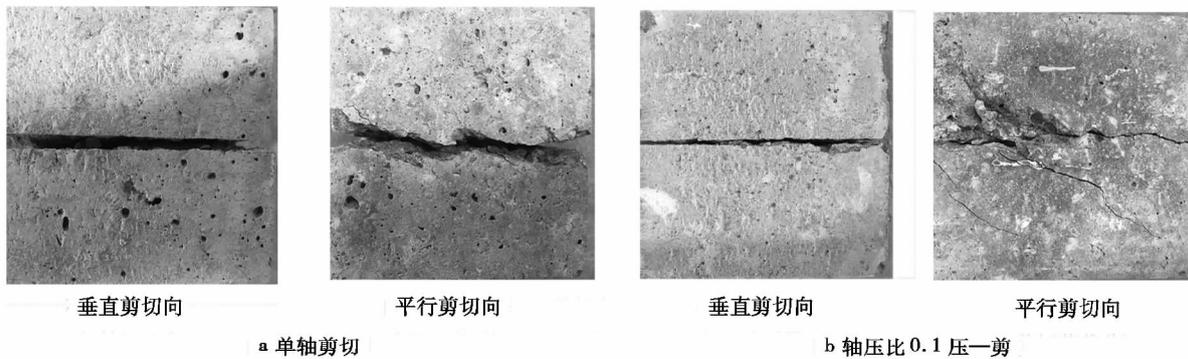


图 4 普通混凝土剪切破坏形态

Fig 4 Shear failure modes of ordinary concrete

根据图 4a 分析,当轴压比为 0,即单轴剪切加载工况,垂直剪切向形成条笔直的裂缝,该裂缝形成主要是由上下剪力盒互相错动形成,平行剪切向裂缝波动明显,相对较为不平直,但基本在一条直线上下浮动,主要由于混凝土材料的组成特性属于多相复合型材料的原因导致,但在整个加载过程中,剪切荷载是混凝土破坏的主要成因,最终使得其基本在一条直线上下浮动。当混凝土有轴向荷载作用时,与单轴剪切相比,存在主要不同

的地方在于平行剪切方向混凝土侧向有一定量的斜向裂缝,成因主要是由于混凝土轴向荷载与剪切荷载的耦合作用形成该破坏形态,垂直剪切向破坏形态与单轴剪切破坏形态相类似,如图 4b 所示。受力机理在于混凝土剪切荷载主要是由混凝土剪切面之间的范德华力、化学胶着力、机械咬合力和摩擦力作用,轴向荷载使得混凝土剪切面之间的机械咬合力和摩擦力得到有效提高,最终得到混凝土剪切荷载随着轴向荷载的提高而逐步增

大,同时剪切破坏面的作用随着轴向荷载的提高,在混凝土平行剪切向形成一定量的斜裂缝。

3 结论

(1)轴压作用使得混凝土破坏形态与无轴压比作用存在明显差异,有轴压比作用使得平行混凝土剪切方向存在明显的斜向裂缝,不同于无轴压比工况,但垂直于剪切方向混凝土面的破坏形态不受轴压比影响。

(2)混凝土剪切荷载—剪切位移曲线发展趋势受轴压比影响明显,无轴压比工况,混凝土剪切

荷载—剪切位移曲线分为弹性阶段和下降阶段,有轴压比工况,相比而言分为 3 个阶段分别为弹性阶段、下降阶段和荷载稳定阶段。

(3)随着轴压比的提高,混凝土剪切应力和剪切位移明显增大,根据本文试验研究而结果表明当轴压比为 0.1 时,混凝土剪切应力和剪切位移相比于无轴压比工况分别提高了 98.95% 和 97.14%,分析机理主要在于轴向荷载作用使得骨料咬合作用和剪切界面互相作用得到提高,最终导致混凝土剪切应力和剪切位移随着轴向荷载的提高而增大。

参考文献:

[1] 过镇海. 混凝土的强度和变形: 试验基础和本构关系[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.

[2] 余振鹏, 黄侨, 任政. 轻集料混凝土局部受压试验及动力本构分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2018, 50(3): 18-25.

[3] HE Z, ZHANG J. Strength characteristics and failure criterion of plain recycled aggregate concrete under triaxial stress states[J]. Construction and Building Materials, 2014, 54: 354-362.

[4] GABET T, Malécot Y, Daudeville L. Triaxial behaviour of concrete under high stresses: Influence of the loading path on compaction and limit states[J]. Cement and Concrete Research, 2008, 38(3): 403-412.

[5] FUJIKAKE K, MORI K, UEBAYASHI K, et al. Dynamic properties of concrete materials with high rates of tri-axial compressive loads[J]. Structures under Shock and Impact VI, 2000, 8: 511-522.

[6] 宋玉普. 多种混凝土材料的本构关系和破坏准则[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 179-238.

[7] WONG R C K, MA S K Y, WONG R H C, et al. Shear strength components of concrete under direct shearing[J]. Cement and Concrete Research, 2007, 37(8): 1248-1256.

[8] 余振鹏, 黄侨, 谢兴华, 等. 普通与轻集料砼压—剪复合受力性能试验研究[J]. 材料导报, 2018, 32(24): 4269-4275.

[9] 邓志恒, 李作华, 杨海峰, 等. 再生混凝土压—剪复合受力性能研究[J]. 建筑结构学报, 2019, 40(5): 174-180.

[10] 中国建筑科学研究院. 普通混凝土配合比设计规程: JGJ 55—2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

Experimental Study on Shear Mechanical Properties of Concrete

TANG Peng

(School of Municipal and Traffic Engineering, Anhui Water Conservancy Technical College, Hefei Anhui 231603, China)

Abstract: In order to explore the shear mechanical properties of concrete, uniaxial shear test and shear mechanical test considering axial compression are set up. The failure mode and shear displacement-load curve of concrete under different loading conditions are obtained by using material shear test machine. Through the comparative analysis of test data, the following conclusions are mainly obtained: axial compression makes the parallel shear form a certain inclined crack towards the side of concrete, at the same time, the shear displacement-load curve is in the stage of load stability. While with the increase of axial compression ratio, the shear stress and shear displacement of concrete increase obviously, and the mechanism of action is analyzed. The research conclusion is of great significance to the analysis of shear mechanical properties of concrete.

Keywords: concrete; shear; axial compression ratio; mechanical properties

(责任编辑:张英健)