

混凝土圆环约束开裂试验仪的评析

王迎春, 张建峰, 杨华全, 周世华

(长江科学院 水利部水工程安全与病害防治工程技术研究中心, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 收缩开裂是导致混凝土丧失耐久性的最直接原因。对国内外混凝土圆环约束开裂试验仪进行了评述,并阐述了各方法的适用性与不足。

关键词: 混凝土; 收缩开裂; 圆环法

中图分类号: TU528.01 文献标志码: A 文章编号: 1002-3550(2010)01-0136-03

Study review on ring specimen under restrained shrinkage of concrete

WANG Ying-chun, ZHANG Jian-feng, YANG Hua-quan, ZHOU Shi-hua

(Changjiang River Scientific Research Institute, Center on Water Engineering Safety and Disaster Prevention of the Ministry of Water Resources, Wuhan 430010, China)

Abstract: Shrinkage cracking is the most direct cause which leads to the loss of durability of concrete. Introduces the present ring specimens under restrained shrinkage of concrete thoroughly and gives the evaluation about the relative merits of each test method.

Key words: concrete; shrinkage cracking; ring-type

0 引言

混凝土材料是土木工程、水利水电工程以及许多建筑工程中使用最为广泛的建筑材料之一。在混凝土材料大规模用于道路、桥梁、大坝等大体积建筑物建设的同时,出现了一个难以解决的问题——混凝土的开裂^[1]。混凝土一旦出现裂缝,就会破坏结构的完整性,降低混凝土的耐久性而可能产生渗漏破坏,导致混凝土结构的服务功能部分甚至全部丧失,这需要耗费大量的人力物力进行补强加固甚至重建。因此,如何最大限度的减小混凝土结构的开裂成为工程技术界亟待解决的一个问题。

导致混凝土开裂的因素是多种多样的,包括混凝土材料本身的性质、施工质量、温控措施、气候条件等,其中干缩、水化热以及温度变化是引起混凝土开裂的主要原因。正确地检测与评价混凝土的收缩与开裂趋势,是采取措施有效地减少或避免开裂的前提^[2]。目前国内外有比较多的研究混凝土开裂的方法,比较成熟的主要有平板法、圆环法和单轴法。其中圆环法可综合反映混凝土干缩、徐变、弹性模量等因素对试件开裂的影响,因此圆环试验装置开发较早、发展很快,本文主要介绍了国内外混凝土圆环约束开裂试验仪,并作出评议。

1 圆环约束开裂试验仪的发展与现状

圆环法最早是由MIT(麻省理工学院)的Roy W. Carlson于1942年提出,当时是用来研究水泥净浆和砂浆的抗裂性,此后

收稿日期: 2009-09-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50539010); 长江科学院中央级公益性基本科研(YWF200813)

被各国研究人员广泛采用,由于不同粒径骨料的使用,试模尺寸有了较大的改动。

1.1 ACBM 方法

由于以前的圆环对于比较长的样品很难提供足够的约束使之产生裂缝,特别是过渡区的直径很大时也很难产生足够大的约束。于是1990年美国西北大学ACBM研究中心的S.P. Shah提出了ACBM方法。

ACBM方法中试验装置由一个钢环和一个纸质圆环外模组成,还包括一个观测裂缝的显微镜装置。钢环内径为254 mm,外径为305 mm,高度为140 mm,试件厚度为35 mm,如图1所示。一般在试件成型后1 d即将外模拆除,将试件放置在温度为20℃相对湿度为100%的条件下养护4 d。然后将试件的顶部用硅橡胶密封,使得只有试件的外圆周表面变干,并将试件置于温度为20℃相对湿度为40%的条件下^[3]。

ACBM方法中混凝土圆环受到内部的均匀压力,外部的环向拉应力与内部表面的相差10%,除了环向应力外,混凝土圆环还受径向压应力的作用。但径向压应力最大只能达到环向应力的20%,因此可以认为混凝土试件的受力是均匀的。由于只有试件的外圆周与外部环境直接接触,加上试件的宽度(140 mm)是其厚度(35 mm)的4倍,因此假设沿试件的宽度方向是发生均匀收缩的。当混凝土产生收缩时,由于约束,混凝土试件受到压力的作用而产生应变。在开始阶段通过应变的测试结果,可以计算出来压力(但随着徐变的发生,压力将会减小),当累积的压力超过了材料的拉应力,裂缝便会产生。

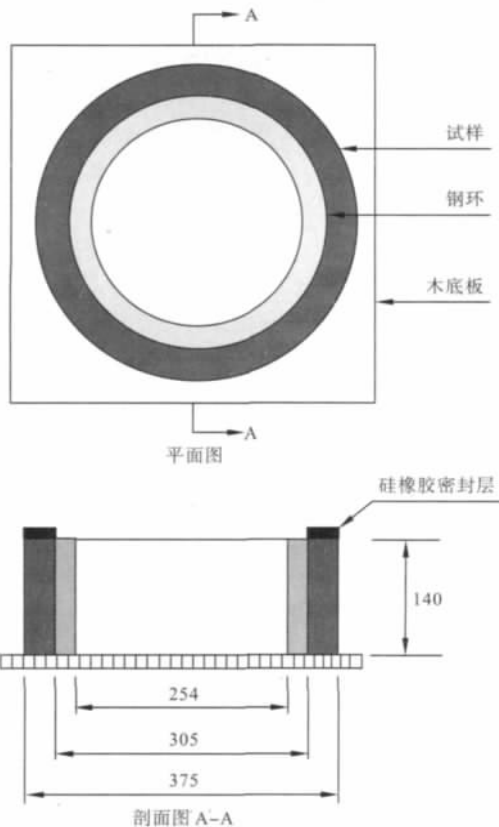


图1 ACBM方法采用的圆环仪尺寸(单位:mm)

ACBM方法测试自由收缩的结果与试件的尺寸无关,受力也比较均匀,因此可以比较好的模拟混凝土的约束收缩开裂。但由于混凝土试件的厚度只有35 mm,因此浇筑试件的混凝土骨料的最大粒径不得超过9 mm。此外,对于宽度小于20~30 μm的裂缝,ACBM方法中的显微镜很难观测到。因此ACBM方法仅适用于砂浆的开裂。

1.2 Rogalla和AASHTO方法

1996年E.A.Rogalla等依托美国Transportation Research Board的研究项目,对Shah的圆环仪规格进行了修改,以适应更大骨料粒径的混凝土开裂试验^[4]。在Rogalla等提出的方法基础上,AASHTO形成了混凝土开裂趋势评估方法AASHTO PP34-99,规定了详细的试验过程,并于2005年重新确认有效。

在AASHTO PP34-99标准中,钢圆环的厚度为(12.7±0.4) mm,外直径为305 mm,高度为152 mm^[5],如图2所示。弹性理论分析表明,减小钢圆环的厚度会显著增加钢圆环所受的压力,但对混凝土所受的压力影响却很小,在钢环内部等距的安装4个应变计如图3所示。实际上当试件开裂时,经常只有1或2个应变计能显示出应变的明显变化。将试件放置在温度为(21±1.7)℃相对湿度为(50±4)%的条件下养护。分析表明用这种方法研究混凝土的开裂对于养护时间的长短非常敏感。如果试件仅仅在潮湿的环境下养护1 d,混凝土中二氧化硅的含量对试件的开裂将会有明显的影响,如果养护7 d或更长时间,则会消除这种影响,试件的开裂也将与混凝土中二氧化硅的含量无关,因此对于用含有二氧化硅的混凝土制成的试件应该连续养护7 d或更长时间^[6]。

每30 min记录1次应变,并观测是否产生裂缝。应变计的应变值出现下降的时间为混凝土开裂的时间,记录开裂后裂缝

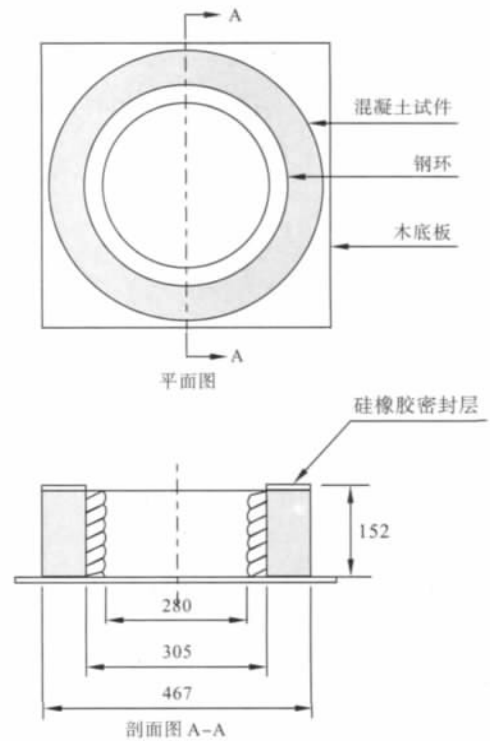


图2 AASHTO PP34采用的圆环仪尺寸(1999)(单位:mm)

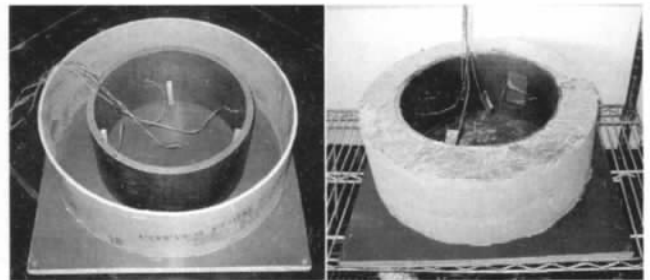


图3 AASHTO PP34采用的圆环法试验装置图

的宽度及开裂特征。试件开裂后再观测两个星期,记录应变的发展过程和裂缝的宽度。然后用100倍显微镜沿环高度方向观测裂缝宽度,将环的高度等分为3份,即沿环高度方向平均取3点,3个宽度读数的平均值为此裂缝的宽度。测定裂缝的长度和宽度,用裂缝的开裂面积(或宽度)表述混凝土的抗裂性能^[7]。

AASHTO方法可以在混凝土圆环收缩的时候测量钢圆环的应变,钢圆环的应变突然降低的时刻就是混凝土圆环开裂的时间,但这种简单目测的第一次开裂的时间可能是有用的,但它不准确,并且需要更长的时间。虽然目前AASHTO标准测试方法为测试混凝土不同龄期的开裂提供了一种系统的测试方法,但对于混凝土在何种程度可能出现开裂,甚至是不开裂的情况,AASHTO标准测试方法并不能提供直接的资料^[8]。而且由于混凝土圆环试件的厚度为76 mm,因此起骨料的最大粒径不得超过30 mm。

1.3 See和ASTM方法

在Shah和AASHTO提出的方法基础上,麦斯特建材公司的H.T.See等提出了自己的圆环规格,并由ASTM于2004年形成了砂浆或混凝土的约束开裂标准试验方法ASTM C1581-04,规定了详细的试验过程,目前正在修订。

ASTM C1581方法的试验圆环是由一个13 mm厚的钢圆

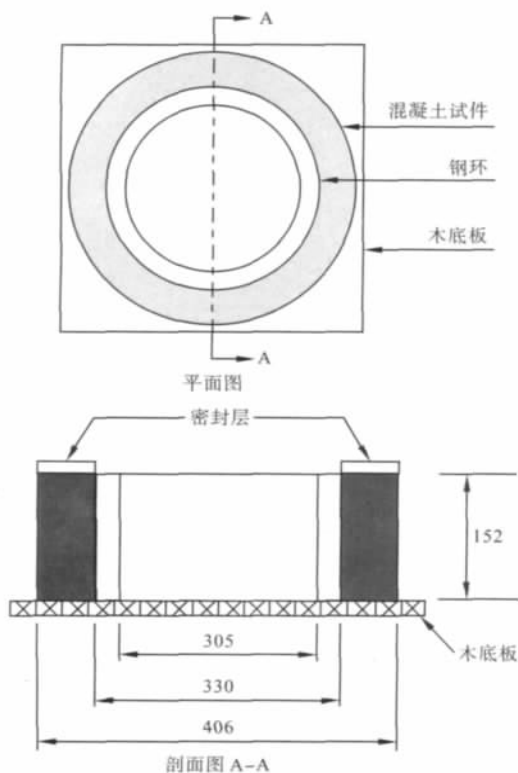


图4 ASTM C 1581 采用的圆环法尺寸(单位:mm)

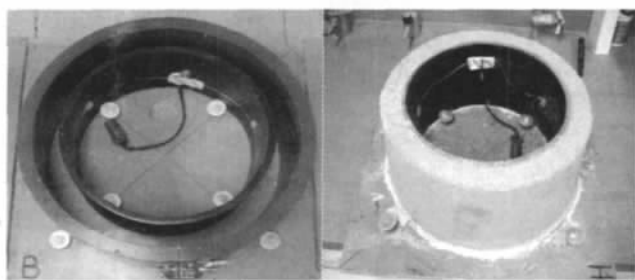


图5 ASTM C 1581 圆环法试验装置示意图

环和一个内径为 406 mm、高度为 152 mm PVC 管的外模组成,钢圆环与外模的间距为 38 mm,两个圆环都放在涂有环氧树脂的木质底板上^[9],如图 4 所示。

在 ASTM C 1581 方法中,在钢圆环的内圆周安装有 4 个螺栓,用以在混凝土装模的时候固定钢圆环,在装模后立即松开这些螺栓,并使它们与钢圆环没有接触。同样在 PVC 圆环上也有 4 个螺栓起相似的作用。在钢圆环内圆周上还安装有两个电子阻抗应变计测量钢圆环的应变。在钢圆环的外侧喷雾,尽量减少钢圆环与混凝土试件的黏结。此外还需要将混凝土试件的顶端表面密封,使干缩仅发生在试件的外圆周上,涉及开裂的容积与面积比为 34 mm。如图 5 所示。将试件放置在温度为 $(23.0 \pm 2.0)^\circ\text{C}$ 相对湿度为 $(50 \pm 4)\%$ 的条件下养护 24 h 后,将外模拆除,并继续养护。同时每 30 min 记录一次钢环的应变,如果钢环中一个或两个应变计的读书突然变小,则表面试件开裂了^[10]。

在 ASTM C 1581 方法中,试样内外环表面的平均拉应力相差很小,且环向拉应力远大于径向压应力,因此可近似认为内钢环提供均匀约束应力,收缩沿厚度均匀分布。还充分考虑了拉伸徐变对于混凝土约束干缩的影响。此外 ASTM C 1581 方法中钢圆环的约束程度最高可达 75%,而 AASHTO 方法最

高仅能达到 60%,相比于 ASHTO 方法,ASTM C 1581 方法中试样开裂的所需要的时间更短。另外由于干缩表面的高度为 152 mm,是其厚度 38 mm 的 4 倍,因此认为收缩是沿高度方向的。但由于试验样品的厚度限定为 38 mm,所以样品混凝土中骨料的最大粒径不能超过 13 mm。

2 结语

圆环法还有 Wittmann 方法和 Swamy 方法等方法,各种方法根据自己的特点适用于不同的条件。但圆环法测试时间长,敏感性差,试件通常要经过较长时间才会出现初始裂缝,有时甚至因敏感性差而不会出现。而且圆环法作为一种被动约束,较多用于定性研究^[11],且要求试件混凝土骨料的粒径不能过大。这些都限制了圆环法的适用面,对此要进行深入的研究,根据国际上常用的几种圆环测试仪,进一步研究相互之间的联系和可比性,确定相对统一的测试评价方法,来不断提高圆环法的精确度和适用面。

参考文献:

- [1] 杨华全,李文伟.水工混凝土研究与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [2] 覃维祖.混凝土的收缩、开裂及其评价与防治[J].混凝土,2001(7):3-7.
- [3] GRYSBOWSKI M, SHAH S P. Shrinkage cracking of fiber reinforced concrete[J]. ACI Mat. J., 1990, 87(2): 395-404.
- [4] KRAUSS P D, ROGALLA E A. Transverse cracking in newly constructed bridge decks[R]. NCHRP Report No.380, Transportation Research Board, NCHRP Project 12-37, FY '92, 1996:132.
- [5] AASHTO PP34-99, Standard practice for estimating the cracking tendency of concrete[S]. AASHTO, 1999.
- [6] WHITING D A, DETWILER R J, LAGERGREN E S. Cracking tendency and drying shrinkage of silica fume concrete for bridge deck applications[J]. ACI Materials Journal, 2000, 97(1).
- [7] 周世华,董芸,杨华全.混凝土收缩开裂测试技术的研究现状与评述[J].水利发电,2008(3):40-43.
- [8] HOSSAIN A B, WEISS J. Assessing residual stress development and stress relaxation[J]. Cement & Concrete Composites, 2004(26): 531-540.
- [9] ASTM C 1581-04, Standard test method for determining age at cracking and induced tensile stress characteristics of mortar and concrete under restrained shrinkage[S]. ASTM International, 2004.
- [10] See H T, ATTIOGBE E K, MILTENBERGER M A. Shrinkage cracking characteristics of concrete using ring specimens[J]. ACI Materials Journal, 2003, 100(3): 239-245.
- [11] 谢成新,郑建岚.高性能混凝土的抗裂性能研究评述[J].福州大学学报:自然科学版,2005,33(z1):297-300.

作者简介:王迎春(1971-)男,博士,高级工程师,主要从事水工混凝土的研究与应用。

单位地址:湖北省武汉市黄浦大街269号长江水利委员会长江科学院(430010)

联系电话:027-82829757