

文章编号:1671-6833(2004)04-0029-04

商品混凝土早期时随轴心受拉强度的试验研究

李晓芬, 刘立新

(郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 混凝土硬化早期, 由于此时混凝土的收缩应变和收缩应力较大, 而抗拉强度却相对很低, 因此很容易产生非荷载裂缝. 为得到较精确的混凝土早期抗拉强度, 利用自行设计制作的混凝土轴心受拉试验装置成功地解决了试件对中困难的问题, 并对 C20、C40、C60 3 个强度等级的商品混凝土进行了 3d, 7d, 14d, 28d 轴心抗拉强度试验, 试验结果均不离散, 进而得出了商品混凝土早期轴心抗拉强度随时间变化的规律及其与立方体抗压强度的关系, 并对商品混凝土轴心抗拉强度和劈裂强度的关系进行了讨论, 发现规范中二者之间的换算系数偏与安全.

关键词: 商品混凝土; 轴心受拉强度; 时随

中图分类号: TU 528.01 **文献标识码:** A

0 引言

混凝土结构是我国房屋建筑中最常见、应用最广泛的结构形式. 但由于混凝土结构自身组成材料的弱点(抗拉强度低), 采用这种结构建造的房屋在使用条件下容易出现裂缝. 混凝土结构房屋中常见的裂缝可分为两类: 一类是由于结构承受荷载产生的裂缝, 这类裂缝是结构在荷载作用下在某些部位产生的拉应力超过了材料的抗拉强度而引起的, 又称“荷载裂缝”. 另一类是由于材料的干缩变形、温度变化引起的膨胀收缩和混凝土内钢筋锈蚀等原因引起的裂缝, 又称为“非荷载裂缝”, 这类裂缝有相当大的比例发生在混凝土硬化早期, 此时混凝土的收缩应变和收缩应力较大, 而抗拉强度很低(尚未达到抗拉设计强度), 这类裂缝也是和混凝土早期抗拉强度有关, 因此研究混凝土的早期抗拉强度对控制混凝土早期裂缝有重要意义^[1].

裂缝问题是近年来国内外建筑施工中的一个重要技术问题, 国内外学者曾对混凝土拉伸性能做过较多试验研究. 前苏联布拉茨克斯诺尔克水电站及法国的鲍斯都进行过轴向拉伸试验, 我国水科院、冶建院也曾做过此类试验. 他们认为, 在不产生徐变作用的前提下, 不同加荷速率会影响混凝土抗拉强度的测定结果. 另有文献报道混凝土

土构件的抗拉强度随试验加荷速率的提高而提高. 但国内外文献中有关混凝土早期抗拉强度的研究尚不多见.

混凝土的早期强度与其所用的水泥标号及矿物成分、水灰比、外加剂种类及掺量、粗骨料强度及表面粗造程度等许多因素有关, 而本研究则侧重于商品混凝土^[2,3].

1 试验概况

1.1 试验方案

该实验中采用的水泥为豫鹤水泥厂生产的豫鹤普通 42.5 等级, 细骨料为中砂, 粗骨料为碎石, 最大粒径为 25 mm, 拌合水用自来水, 其所用材料详见表 1.

表 1 混凝土配合比							
Tab. 1 Mixture ratio of concrete							
强度等级	水灰比	混凝土材料用量/(kg·m ⁻³)					
		水泥	砂子	石子	水	矿粉	FN-200
C20	0.6	186	810	1 074	186	124	2.3
C40	0.38	293	674	1 053	185	195	3.9
C60	0.3	490	613	1 044	176	94	7.6

1.2 试验方法

(1) 试件的制作和实验装置: 混凝土轴心试件如图 1 所示, 其制作的难点是如何保证两端受拉钢筋能较精确的位于受拉构件的形心, 以防止

收稿日期: 2004-08-10; 修订日期: 2004-09-20

作者简介: 李晓芬(1980-), 河南省襄城县人, 郑州大学硕士研究生.

受拉时混凝土截面的拉应力出现不均匀现象. 本文自行设计制作了如图 2 所示的试模, 两端分别用厚度为 25 mm 和 50 mm 的两个泡沫块和两个标准 100 mm×100 mm 的瓷片, 在其中心插入直径为 12 mm 长度为 230 mm 月牙纹 HRB 335, 瓷片使用直径为 14 mm 的钻头在其中心钻孔, 在距钢筋端头 20 mm 和 75 mm 处裹两层绝缘胶布. 试件浇注并养护至所需龄期后, 在可精确控制加载速率的万能试验机上进行拉伸试验, 如图 3 所示.



图 1 试件尺寸
Fig. 1 Size of sample

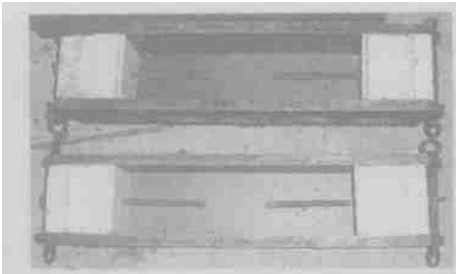


图 2 试件装置
Fig. 2 Experimental apparatus

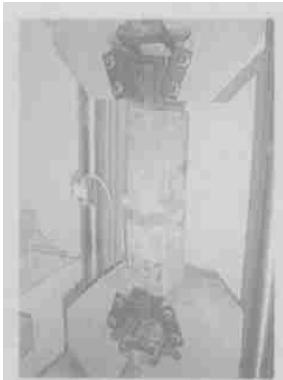


图 3 试验装置
Fig. 3 Experimental equipment

保证瓷片钻孔的对中位置以及瓷片和泡沫对钢筋的固定是本实验的关键, 利用上述制作方法可以达到这一要求. 从图 4(已被拉坏)的试件照片可以看出, 试件的受拉破坏面位于混凝土段, 破坏面垂直于试件的轴心线, 说明自行设计制作的试件和采用的实验装置保证了混凝土处于轴心受拉状态. 且试件易于制作, 费用低, 试件与试验机装夹方便, 夹具能重复利用, 刚度大, 同心度好, 测

量结果稳定可靠^[4].

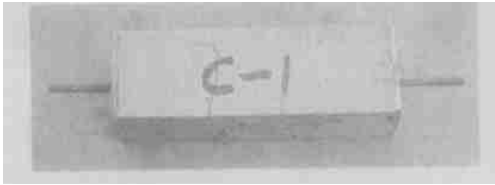


图 4 试验构件
Fig. 4 Experimental member

(2) 主要实验仪器设备: WA-300 型电液式万能试验机(轴拉)、WA-1000 型电液式万能试验机(劈裂)、NYZ-2000D 压力试验机(抗压). 根据不同龄期和不同强度等级选用不同量程, 保证其测量精度.

(3) 加荷速度: 由于本文实验只是混凝土收缩变形及裂缝控制大课题中的一个试验, 且国内外尚无轴心受拉这类实验方法的标准和规范, 故采用了试验机的最低速率 0.012 kN/s~0.036 kN/s(模拟裂缝开展过程).

(4) 实验数据: 实验数据见表 2. 由试验规程可知, 一组数据中最大值与最小值均超过中间值的 15% 时, 此组数据无效, 而试验数据没有一组出现无效现象, 说明本实验方法满足数据离散性的要求^[3], 可以推广使用.

表 2 立方体抗压强度和轴心抗拉强度实验数据
Tab. 2 Test datas of the cube compressive strength and the direct tensile strength

设计强度等级	抗压强度 f_{cu} /MPa				轴心抗拉强度 f_t /MPa			
	3d	7d	14d	28d	3d	7d	14d	28d
C20	11.20	16.85	22.81	26.06	1.52	1.95	1.98	2.17
C40	24.40	34.08	40.69	46.28	2.14	2.39	2.74	2.91
C60	43.57	59.45	61.99	67.06	2.68	3.17	3.81	4.06

说明: 试验数据均为平均值, 因其 3 个值的最大与最小均在中间值的 15% 之内.

2 试验结果分析

2.1 轴心抗拉强度随龄期增长的变化规律

3 个强度等级 C20、C40 和 C60 的轴心抗拉强度的时随强度值如表 2 所示. 利用表 2 中数据可得其时随增长曲线图 5, 从图 5 可知混凝土轴心抗拉强度随龄期和强度等级的增长而增长, 同时大致能看出早期轴心抗拉强度增长速度较快, 以后增长速度较缓慢, 与抗压强度增长趋势相似, 对

其增长速率的精确分析见表 3, 可知 14d 抗拉强度基本上达到 28d 的 80% 以上, 14d 以后渐趋于平稳.

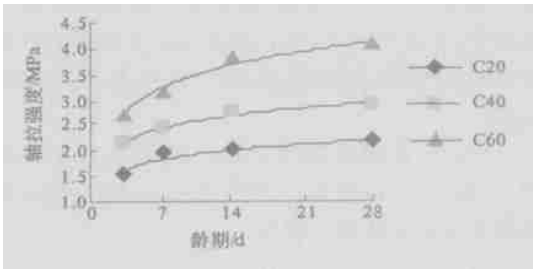


图 5 轴拉强度龄期曲线

Fig. 5 Curve of the direct versus

表 3 轴心抗拉强度随龄期的增长值

Tab. 3 Increase of the direct tensile strength with ages passing

强度等级	3d		7d		14d		28d	
	f_t/f_t^{28}	增量 / %	f_t/f_t^{28}	增量 / %	f_t/f_t^{28}	增量 / %	f_t/f_t^{28}	增量 / %
C 20	0.70	70	0.90	20	0.91	1	1.00	9
C 40	0.62	62	0.69	7	0.79	10	1.00	21
C 60	0.66	66	0.78	12	0.94	16	1.00	6

通过对实验数据的回归分析给出推荐公式如下, 其系数见表 4 ($t \leq 28d$).

$$f_t(t) = A(\ln t + B) f_t^{28} \tag{1}$$

式中 $f_t(t)$ 为龄期为 t 天的混凝土轴拉强度值; f_t^{28} 为 28 天的混凝土轴拉强度值; A, B 为试验系数.

表 4 式 1) 回归分析系数

Tab. 4 Coefficient of regression for formula (1)

强度等级	A	B	相关系数 R^2
C 20	0.12	5.00	0.895 1
C 40	0.17	2.37	0.923 0
C 60	0.16	3.05	0.978 0
综合	0.14	3.62	0.817 6

2.2 轴心抗拉强度与立方体抗压强度的关系

以往人们认为, 轴向抗拉强度增长的主要因素与抗压强度相同, 因此轴向抗拉强度与抗压强度之间有着密切的关系, 但却不是正比关系. 混凝土在早龄期的这种关系只有 Weigee 和 Karl (1974) 间接地提出过, 他们的实验结果表明, 在早龄期, 混凝土轴拉强度与抗压强度的增长呈线性关系, 而本实验的数据则不呈这种关系. 通过对实验数据的回归分析, 给出推荐公式如下 (其系数见表 5 ($t \leq 28d$)):

$$f_t(t) = f_{cu}^{\beta}(t) \tag{2}$$

式中 $f_{cu}(t)$ 为龄期为 t 天的混凝土轴心抗压强度值; α, β 为试验系数.

考虑到工程上应用的方便以及龄期对混凝土立方体抗压强度有较大的影响, 利用上述试验数据, 回归出混凝土立方体抗压强度随龄期增长的经验公式.

表 5 式 2) 回归分析系数

Tab. 5 Coefficient of regression for formula (2)

强度等级	α	β	相关系数 R^2
C 20	0.64	0.37	0.821 5
C 40	0.16	0.78	0.901 3
C 60	0.06	0.98	0.958 1
综合	0.35	0.57	0.816 7

当 $f_{cu}^{28} \leq 20 \text{ MPa}$ 时,

$$f_{cu}(t) = 0.23(\ln t + 1) f_{cu}^{28} \tag{3}$$

当 $20 \text{ MPa} < f_{cu}^{28} \leq 50 \text{ MPa}$ 时,

$$f_{cu}(t) = 0.22(\ln t + 1.14) f_{cu}^{28} \tag{4}$$

当 $f_{cu}^{28} \geq 60 \text{ MPa}$ 时,

$$f_{cu}(t) = 0.17(\ln t + 2.68) f_{cu}^{28} \tag{5}$$

式中 $f_{cu}(t)$ 是龄期 t 天的立方体抗压强度; f_{cu}^{28} 为 28d 的立方体抗压强度, $t \leq 28d$. 在进行回归计算时, 式 (3) 的相关系数为 0.997, 式 (4) 的相关系数为 0.983, 式 (5) 的相关系数为 0.945.

为方便工程应用, 可以单独利用式 (2) 计算其时随抗拉强度, 也可联合利用式 (2) ~ (5) 计算其时随抗拉强度.

2.3 轴心抗拉强度与劈裂强度之间关系的讨论

工程中混凝土抗拉强度大多数采用劈裂法, 探明劈裂强度与轴心抗拉强度之间的关系及其随龄期的变化有着工程实际意义. 本实验的劈裂强度和抗压强度均采用国标 GB/T 50081-2002 中所述方法. 测定劈裂抗拉强度与轴心抗拉强度之间的关系, 国内曾作了一些实验, 但没有得出二者之间的直接关系, 国外最近一些资料也表明, 轴拉与劈裂之间的关系比较复杂, 有较多的影响因素难以用简单表达式来表示. 从表 6 可以看出, C 20 在 3d 和 7d 轴心抗拉强度比劈裂强度大, 而到 14d 和 28d 轴心抗拉强度与劈裂强度接近, 却小于劈裂强度; C 40 却与 C 20 不同, 其轴心抗拉强度一直比劈裂强度大; C 60 与前二者都不同, 只有 3d 轴心抗拉强度比劈裂强度大, 而后几个龄期均小于后者强度. 按国标中所述方法, 若采用 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的立方体试件测劈裂

值换算为轴拉值时(指 28d),乘以换算系数 0.90;若采用 150mm×150mm×150mm 的试件时,乘以换算系数 0.85.本文中实验采用的试件是后者,从表 6 知 28 天的均值为 0.94,比规范中 0.85 大 11%,可见规范是偏于安全.

表 6 轴心抗拉强度与劈裂强度之比
Tab.6 The ratio between the direct tensile strength and the splitting strength

强度等级	3d	7d	14d	28d
C20	1.566	1.540	0.964	0.921
C40	1.386	1.190	1.010	1.179
C60	1.145	0.883	0.947	0.907
综合	1.37	1.20	0.97	0.94

4 结论

(1) 从国内外试验研究资料来看,对于混凝土抗拉性能的实验研究很少.而对轴心抗拉强度与立方体抗压强度以及轴心抗拉强度与劈裂强度之间的关系,特别是在工民建领域大体积混凝土较早龄期研究的就更少.为此我们做了以上系列实验研究.并通过这些试验建立了混凝土时随轴拉强度的计算公式 $f_t(t)=A(\ln t+B)\cdot f_t^{28}$ 以及混凝土时随轴拉与抗压强度的关系 $f_t(t)=f_{cu}^\beta(t)$,和公式 3)~(5),这对混凝土抗拉强度的时随计

算,从而在裂缝控制中得到应用,具有重要的工程实用价值.

(2) 混凝土轴向拉伸试验较真实地反映结构中混凝土拉应力状态,是混凝土抗拉强度的真实指标,从表 6 可以看出,混凝土的抗拉强度应以轴心抗拉强度为基准,规范中的换算系数偏于安全.

(3) 所采用的混凝土轴向拉伸实验测试准确,方法简单,安装方便,数据离散性良好,建议作为标准试验方法推广使用.

参考文献:

[1] 王铁梦. 工程结构裂缝控制[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.
[2] 周士琼,李霞,沈志林. 普通混凝土受拉性能的试验研究. 中国公路学报,1994,7(2):15~18.
[3] 吕艳梅,刘立新,罗卫华. 商品混凝土收缩性能的试验研究. 郑州大学学报(工学版),2004,25(3):65~69.
[4] 张林俊,宋玉普,吴智敏. 混凝土轴拉实验轴拉保证措施的研究[J]. 实验技术与管理,2003,20(2):99~102.
[5] GB/T 50081-2002, 普通混凝土力学性能试验方法标准[S].

Experimental Study on Pre mixed Concrete of the Direct Tensile Strength of Time -dependent at Early Ages

II Xiao -fen , II U Li -xin

(College of Civil Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002,China)

Abstract : During the early hardening of concrete ,the contraction stress and strain are great and the tensile strength is low thus the non -loaded crack occurs easily ,but few studies have been done about the tensile strength of concrete at home and abroad .To obtain the exact results this paper designs the experimental apparatus for concrete of the direct tension ,which resolves the difficulty of ensuring that the load is truly axial ,tests of the direct tension are performed on three different concrete mixes (C20,C40,C60)at 3,7,14-and 28days ,and the test data do not scatter .Then the development of the direct tensile strength with time is presented the relations between the direct tensile strength and the cube compressive strength are obtained and the relations between the direct tensile strength and the splitting strength are discussed respectively .The results show that the coversion coefficient of code shows a tendency to be safe .

Key words : pre mixed concrete the direct tensile strength time -dependent