

⑬ 水工混凝土 抗拉强度 石子 粒径效应

45-47.54

水工混凝土抗拉强度的石子粒径效应

宣国良

TV431

(南京交通高等专科学校 南京 210018)

摘要 通过工程上常用的湿筛混凝土小试件与全级配混凝土大试件的抗拉强度的对比,在扣除了其中的尺寸因素和砂浆含量的影响后,获得了混凝土抗拉强度的粒径效应系数。

关键词 混凝土 抗拉强度 粒径效应 混凝土试验

水工结构物的尺寸大,混凝土中所用的石子粒径也大,抗裂性要求较高。混凝土的抗拉强度一方面随试件尺寸增大而逐渐降低;另一方面,混凝土的石子粒径增大,水泥用量减少,水化热随之减小,但其抗拉强度也相应减小。因此,大的石子粒径,例如大到150mm,是否对混凝土抗裂性有利,曾有过争论。本文通过试验来定量得出试件尺寸(如试件直径或边长大到45cm)和石子最大粒径(如大到80mm,150mm)对混凝土抗拉强度的影响,从而为大体积混凝土的温控计算提供参考数据。

1 试验说明和试验设计

1.1 试验说明

1.1.1 试验原材料

水泥,采用湘乡水泥厂生产的525号普通硅酸盐大坝水泥。熟料成份: C_3S 52.97%, C_2S 18.09%, C_3A 5.04%, C_4AF

18.45%, $f \cdot C_3O$ 0.76%。水泥软练胶砂28d强度:抗压60.3~63.0MPa,抗折8.2~8.6MPa。

砂石料为河砂和卵石。砂料中80%以上为石英砂。砂子细度模数 3.0 ± 0.1 ,饱和面干比重2.60。卵石中以变质砂岩、砂岩和石英砂岩为主,占80%~90%,花岗岩及碳酸盐类极少量,饱和面干比重2.64。小石、中石、大石和特大石的比例,在四级配中为20:20:30:30,三级配中为30:30:40,二级配中为40:60。

1.1.2 配合比

配合比见表1,坍落度保持6~8cm。其中湿筛后的配合比是扣除大于40mm粒径这部分骨料体积后计算得到的。表1中编号的含意是:前三位数表示水灰比是0.55,第四位数表示级配。

1.1.3 试验方法

成型:小试件按《水工混凝土试验规程》

表1 混凝土配合比

编 号	水灰比	最大石子粒径 (mm)	混凝土原材料用量(kg/m ³)			
			水	水 泥	砂	石 子
0554	0.55	150	110	200	504	1662
0554*	0.55	湿筛后	177	322	810	1068
0553	0.55	80	125	227	602	1499
0553*	0.55	湿筛后	162	294	779	1164
0552	0.55	40	155	282	702	1269
05510	0.55	20	180	327	759	1109

执行,大试件用插入式振捣器振捣。同配合比的大、小劈裂和轴拉试件同时成型。轴拉试验四个试件一组,劈裂试验三个试件一组。

养护与龄期:大小对比试验都为室外盖草包洒水养护。小试件对比试验为室内标准养护。龄期均为 28 d。

试验设备及加荷速度:大试件轴拉在 100 t 卧式张拉台上进行。加荷速度每分钟 0.15~0.20 MPa。小试件按《水工混凝土试验规程》执行。圆柱体劈裂试验不加垫条。

1.1.4 试验结果的整理取值

小试件轴拉和大、小试件的劈裂试验结果的取值均按《水工混凝土试验规程》执行。大试件轴拉取断裂位置在试件中间 100 cm 均匀拉应力范围内为合格试件,每组有两个合格试件,该组试验为有效。本试验八组大轴拉试件,有一组只有一个合格试件。考虑到做大试件的困难,仍然保留了只有一个合格试件的一组。偏心情况,当荷载达到破坏荷载的 40% 时,有 17% 的试件,左右偏心大于 15%,而上下偏心均在 15% 以内,所以,偏心是不严重的^[1]。

1.2 试验设计

石子粒径对混凝土抗拉强度的影响是通过以下几个步骤求得的:

a. 测定全级配(石子最大粒径为 80, 150 mm)混凝土与其湿筛混凝土(石子最大粒径 40 mm)的抗拉强度,分别以 $R_{\text{大}}$ 与 $R_{\text{小}}$ 表示之。

b. 在混凝土完全相同的条件下,测定试件尺寸对混凝土抗拉强度的影响,以尺寸效应系数 k_s 表示之。

c. 在试件尺寸、石子粒径、水灰比、灰砂比相同的条件下,测定砂浆含量对混凝土抗拉强度的影响,以砂浆含量影响系数 k_m 表示之。

d. 按下式求出石子最大粒径对混凝土抗拉强度的影响,以粒径效应系数 k_d 表示之。

$$R_{\text{大}} = k_m k_d k_s R_{\text{小}} \quad (1)$$

2 尺寸效应系数 k_s

为了研究大尺寸试件抗拉强度的尺寸效

应,同时配合求石子粒径效应系数,劈裂试验采用了 $\varnothing 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ 和 $\varnothing 45 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$ 的两种圆柱体试件,轴向拉伸试验采用 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 55 \text{ cm}$ 和 $45 \text{ cm} \times 45 \text{ cm} \times 360 \text{ cm}$ 两种棱体试件。抗拉强度的试验结果列于表 2。

表 2 试件尺寸对混凝土抗拉强度的影响

配合比 编号	组 别	劈拉强度 (MPa)			轴拉强度 (MPa)		
		①	②	②/①	③	④	④/③
0551	1	3.16	2.34	0.74	3.61	2.74	0.76
	2	3.37	2.49	0.74	3.86	2.57	0.67
0552	1	2.76	2.09	0.76	2.94	1.82	0.62
	2	3.09	2.31	0.75	2.85	2.05	0.72
平均				0.75			0.69

注:本表试件数据引自文献[1]。

① $\varnothing 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$; ② $\varnothing 45 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$;

③ $\varnothing 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 55 \text{ cm}$; ④ $45 \text{ cm} \times 45 \text{ cm} \times 360 \text{ cm}$ 。

为了能从统计数据作出结论,文献[2]总结前人的试验成果,得出了用韦伯理论表示的尺寸效应系数:

$$k_{sp} = 2.466 S^{-1/6} \quad (2)$$

$$k_{sl} = 2.102 S^{-1/6.2} \quad (3)$$

其中, k_{sp} , k_{sl} 分别为劈拉强度和轴拉强度的尺寸效应系数。

以上用试件受拉面积来表示尺寸效应系数,在试件形状基本相似的情况下,可以认为同用体积来表示是一致的^[2]。当 $S = 2025 \text{ cm}^2$ 时, $k_{sp} = 0.69$, $k_{sl} = 0.62$ 。由此可见,表 2 的试验数据虽然不多,但符合这一规律,因而基本可信。

3 砂浆含量影响系数 k_m

湿筛后混凝土的砂浆含量高出原级配混凝土的砂浆含量很多,也高出一般中、小石子混凝土的砂浆含量。因此,有必要求得砂浆含量对混凝土抗拉强度的影响。试验结果列于表 3。其中轴拉试件的尺寸为 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 55 \text{ cm}$,劈裂试件的尺寸为 $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ 。

从表 3 可以看出,在砂浆含量相差约 18% 的范围内,混凝土抗拉强度无变化, $k_m = 1.0$ 。这说明在石子最大粒径,水灰比一定的条件下,混凝土中的砂浆在包裹石子并填满其中的空隙后,多余的砂浆并不能提高混

凝土的抗拉强度。

表 3 砂浆含量对混凝土抗拉强度影响的试验结果

编 号	水灰比	配合比	坍落度 (cm)	水泥用量 (kg/m ³)	砂浆体 积含量 (%)	①轴拉强度 (MPa)	②劈拉强度 (MPa)	A/B	
								①	②
A	0.45	1:2.00:3.96	0.8	327	50.8	2.39	2.29	1.02	0.98
B	0.45	1:2.00:1.84	4.3	444	69.0	2.34	2.34		
A	0.45	1:2.00:3.96	0.8	327	50.8	2.88	2.94	1.04	1.05
B	0.45	1:2.00:1.84	6.5	444	69.0	2.79	2.79		
A	0.55	1:2.49:4.50	1.3	282	52.1	2.40	2.40	0.95	1.01
B	0.55	1:2.49:2.08	7.5	380	70.0	2.53	2.37		
A	0.55	1:2.49:4.50	2.0	282	52.1	2.30	2.22	1.01	1.08
B	0.55	1:2.49:2.08	9.0	380	70.0	2.27	2.05		
A	0.70	1:3.61:5.77	1.5	217	52.6	1.69	1.71	0.88	0.90
B	0.70	1:3.61:2.74	7.0	289	70.0	1.91	1.91		
A	0.70	1:3.61:5.77	1.0	217	52.6	1.82	2.08	0.91	1.04
B	0.70	1:3.61:2.74	5.8	289	70.0	2.01	2.00		
平 均								0.97	1.01
离差系数%								6.7	6.3

4 湿筛前后混凝土抗拉强度的对比

根据试验设计,湿筛前混凝土指的是石子最大粒径为 80 mm,150 mm 的全级配混凝土,湿筛后混凝土指的是筛去 40 mm 以上石子的混凝土。全级配混凝土的试件分别采用 $\varnothing 45\text{ cm}\times 45\text{ cm}$ 的圆柱体和 $45\text{ cm}\times 45\text{ cm}\times 360\text{ cm}$ 的棱柱体。湿筛后混凝土的试件采用 $\varnothing 15\text{ cm}\times 15\text{ cm}$ 的圆柱体和 $10\text{ cm}\times 10\text{ cm}\times 55\text{ cm}$ 的棱柱体。试验结果列于表 4。

表 4 湿筛前后混凝土抗拉强度的对比

配合比 编号	组 别	劈拉强度 (MPa)		轴拉强度 (MPa)			
		①	②	①/②	③	④	③/④
0553	1	1.68*	2.81	0.60	1.92	3.04	0.63
	2	1.69	2.73	0.62	1.76	3.15	0.56
	平均			0.61			0.60
0554	1	1.46	2.54	0.57	1.44	2.81	0.51
	2	1.81	3.11	0.58	2.04	3.14	0.65
	平均			0.58			0.58

注:有“*”的值,根据现场试验说明,作了合理的修改;

本表大试件数据引自文献[1];

① $\varnothing 45\text{ cm}\times 45\text{ cm}$ (原级配);② $\varnothing 15\text{ cm}\times 15\text{ cm}$ (湿筛);

③ $45\text{ cm}\times 45\text{ cm}\times 360\text{ cm}$ (原级配);

④ $10\text{ cm}\times 10\text{ cm}\times 55\text{ cm}$ (湿筛)。

从表 4 可见,原级配混凝土与湿筛凝

土抗拉强度的比值都在 0.60 左右,石子最大粒径为 80 mm 与 150 mm 的混凝土,两者的这一比值似乎相差不大。

5 混凝土抗拉强度的石子粒径效应系数 k_a

在获得以上各节中的试验数据后,根据(1)式,我们就可以定量地求得石子粒径对混凝土抗拉强度的影响。把 $k_m = 1.0$ 和表 2 中的尺寸效应系数以及表 4 中大试件原级配混凝土与小试件湿筛混凝土的抗拉强度的比值($R_{\text{大}}/R_{\text{小}}$)代入(1)式,得到石子粒径效应系数,见表 5。表中, k_{ap} 和 k_{al} 分别代表劈裂试验、轴向拉伸试验的石子粒径效应系数,以石子最大粒径 40 mm 时等于 1 计。

表 5 石子粒径效应系数 k_a

石子最大粒径(mm)	k_{ap}	k_{al}
40	1	1
80	0.81	0.87
150	0.77	0.84

在表中还可以看出 k_{ap} 和 k_{al} 的值颇为接近,两者相差在 10% 之内,因此,可以认为试验方法对石子粒径效应系数的影响不甚明显。

(下转第 54 页)