

(14)

混凝土结构

轴压强度

极限拉伸值 统计

第16卷第2期

水利水电科技进步

1996年4月

48-50

计算

由混凝土轴压强度直接计算混凝土极限拉伸值

黄达海

陆建民 梁正平

(葛洲坝水电工程学院 宜昌 443002) (河海大学土木工程学院 南京 210098)

TV 331

摘要 混凝土极限拉伸值是混凝土结构和构件抗裂分析的基本参数,也是大体积混凝土温度控制计算的主要指标,一般均采用轴向拉伸试验进行测定。由于不易对中等原因,试验难度较大。本文通过统计分析,得出了由混凝土轴压强度直接计算混凝土极限拉伸值的近似计算公式。从几个工程的对比检验结果来看,吻合较好。

关键词 抗压强度 混凝土 极限拉伸值 统计分析

混凝土极限拉伸值 ϵ_p 是混凝土结构与构件抗裂分析的基本参数,也是大体积混凝土温度控制计算的主要指标,一般均采用轴向拉伸试验进行测定。对小试件而言,由于难以保证拉力对中等原因,试验难度较大;对大试件,即全级配混凝土试件而言,除了对中困难外,自重的影响特别大,给工程的应用带来不便。为了从必不可少的轴压试验中获得更多的信息量,解决抗裂分析参数取值问题,本文根据大量的试验资料的统计分析,给出了由混凝土轴压强度直接计算混凝土极限拉伸值的近似公式,可供工程界参考。

1 理论极限拉伸值

混凝土的破坏主要是由于主拉应变超过了其极限拉伸值 ϵ_p 所致,这一点,从减摩后的轴向压缩试验看得特别明显,即使在双向拉压、三向拉压应力状态下亦是如此^[1]。文献[3]把混凝土单向压缩应力状态下不连续点所对应的横向应变定义为理论极限拉伸值 ϵ_{icu} ,它与轴向拉伸试验测得的极限拉伸值 ϵ_p 成比例关系:

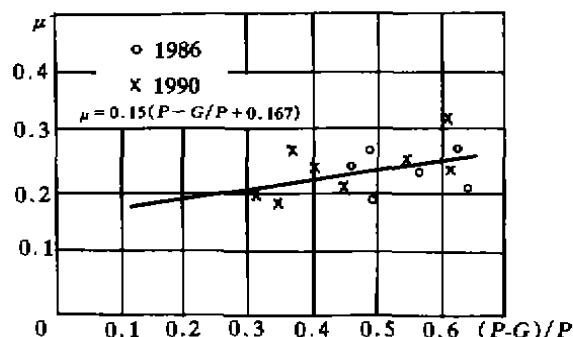
$$\epsilon_p = k_1 \epsilon_{icu} = k_1 \mu f_{cu} / E_c \quad (1)$$

式中 k_1 为比例系数; μ 为混凝土泊松比; f_{cu} 为混凝土不连续点压应力,单位为 MPa;

E_c 为混凝土抗压弹性模量。

1.1 泊松比 μ

泊松比 μ 是混凝土材料的基本物理量,它与混凝土强度、应力状态等有关^[3]。河海大学对此进行过专门研究^[4],发现 μ 与混凝土砂浆含量 $(P-G)/P$ 大致有正比例关系,参见附图。



附图 μ 与 $(P-G)/P$ 之间的关系

武汉水利电力大学方坤河教授在研究碾压混凝土变形特性时也发现了类似的规律。这里,设:

$$\mu = k_2 (P-G)/P + k_3 \quad (2)$$

式中 k_2, k_3 为待定系数; P 为混凝土密度; G 为单位体积混凝土粗骨料含量,单位为 kg/m^3 。

1.2 不连续点应力 f_{cu}

一般而言,混凝土强度越高,其不连续点

应力 f_{cu} 越大。天津大学曾做过不连续应力 f_{cu} 与抗压强度 f_c 之间的试验研究, 结果表明:

$$f_{cu} = 0.53 f_c - 1.71 \quad (3)$$

显然, 这一公式只在一定范围内适用。为简单起见, 设:

$$f_{cu} = k_4 f_c \quad (4)$$

式中 k_4 为待定系数; f_c 为混凝土的轴压强度, 单位为 MPa。

1.3 抗压弹性模量 E_c

抗压强度与抗压弹模的关系相对而言较为稳定。1977 年, 美国混凝土协会 (ACI) 正式确定了 E_c 的计算公式:

$$E_c = 33 P^{1.5} f_c^{0.5} \quad (5)$$

式中 f_c 为圆柱体抗压强度, 单位为 MPa。

我国混凝土标准受压试件的尺寸为 15cm、15cm×15cm, 显然有两端约束问题, 但可以通过适当的系数加以修正, 故设:

$$E_c = k_5 f_c^{0.5} P^{1.5} \quad (6)$$

式中 k_5 为待定系数; f_c 为立方体试件的轴压强度, 单位为 MPa。

综合式 (1), (2), (4), (6), 令 $k_1 k_2 k_4 / k_5 = b_1$, $k_1 k_3 k_4 / k_5 = b_2$, 可得:

$$\epsilon_p = b_1 (P - G) f_c^{0.5} / P^{2.5} + b_2 f_c^{0.5} / P^{1.5} \quad (7)$$

式中 b_1, b_2 为待定系数。

从式 (7) 中可以看出: 混凝土极限拉伸值与其材料配比、抗压强度、抗压弹模等基本指标有关。只要测其轴压强度, 就可以通过式 (7) 计算 ϵ_p , 这对工程的实际应用具有现实意义。不仅如此, 此公式还从理论上解释了碾压混凝土 ϵ_p 低于常规混凝土 ϵ_p 、全级配混凝土的 ϵ_p 低于实验室混凝土 ϵ_p 的内在原因, 具有一定的理论意义。

2 b_1 和 b_2 的统计分析

我们根据某工程全级配混凝土大试件的实测资料, 运用最小二乘法, 统计得出了反映材料变形特性的 b_1, b_2 值。试验成果分析列于表 1 和表 2。

设 $y_i = b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i}$, 解下列方程组:

$$\begin{cases} b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} = \sum_{i=1}^n x_{1i} y_i \\ b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 = \sum_{i=1}^n x_{2i} y_i \end{cases} \quad (8)$$

将表 2 中的有关数据代入, 解得: $b_1 =$

表 1 某工程线性回归分析表 I

项目	f_c (Mpa)	P (kg/m ³)	$P - G$ (kg/m ³)	$(P - G) f_c^{0.5} / P^{2.5}$ ($\times 10^{-6}$)	$f_c^{0.5} / P^{1.5}$ ($\times 10^{-6}$)	实测 ϵ_p ($\times 10^{-6}$)	$\hat{y}_i$ ($\times 10^{-6}$)	$y_i - \hat{y}_i$	$\bar{y}_i - \bar{y}$
1	22.7	2500	850	12.96	38.11	52	57	-5	-5.6
2	28.1	2500	822	13.94	42.41	69	59	10	-3.6
3	41.2	2500	850	17.46	51.35	72	77	-5	-14.4
4	52.0	2500	822	18.97	57.69	82	81	1	18.4
5	23.5	2460	868	14.02	39.73	61	64	-3	1.4
6	23.8	2460	868	14.11	39.98	67	65	2	2.4
7	24.4	2460	868	14.28	40.48	77	65	12	2.4
8	18.6	2500	853	11.77	34.50	41	52	-11	-10.6
9	19.1	2500	853	11.93	34.96	46	53	-7	-9.6
10	20.4	2500	853	12.33	36.13	59	55	4	-7.6
平均				14.18	41.53	62.6	62.8	-0.2	0.2

注: $(P - G) f_c^{0.5} / P^{2.5} = x_{1i}$, $f_c^{0.5} / P^{1.5} = x_{2i}$; 实测 $\epsilon_p = y_i$ 。

表 2 某工程线性回归分析表 II

项目	x_{1i}^2	x_{2i}^2	$x_{1i} x_{2i}$	$x_{1i} y_i$	$x_{2i} y_i$	$Q = (y_i - \hat{y}_i)^2$	$U = (\hat{y}_i - \bar{y})^2$
合计	2059.46	17749.27	6044.00	9107.41	26709.27	497	866

9.136, $b_2 = -1.606$, 从而有:

$$\epsilon_p = [9.136(P - G)/P^{2.5} - 1.606/P^{1.5}]f_c^{0.5} \quad (9)$$

其复相关系数为

$$r = \sqrt{U/(U + Q)} = \sqrt{866/(866 + 494)} = 0.80 > r_{0.05}(7) = 0.666$$

在置信水平 $\alpha = 0.05$ 时, 复相关系数大于临界值, 说明参数间相关程度较高。根据式(9), 我们对一些工程的实测混凝土极限拉伸值进行了验证, 结果较为满意, 具体分析列于表 3。

表 3 实测值与计算值比较分析表

P (kg/m ³)	P-G (kg/m ³)	f_c (MPa)	实测 ϵ_p ($\times 10^{-6}$)	按式(9)计算的 ϵ_p ($\times 10^{-6}$)
2485	814	27.0	59.6	58.2
2485	814	18.4	48.4	48.0
2450	805	20.4	49.3	52.0

注: 试件截面均为 45cm × 45cm, 龄期为 90d。

3 结 语

通过以上的统计分析, 我们得出了由混凝土抗压强度直接推求混凝土极限拉伸值的

计算公式:

$$\epsilon_p = [9.136(P - G)/P^{2.5} - 1.606/P^{1.5}]f_c^{0.5} \quad (10)$$

据此, 可以由同配比、同截面、同龄期、同等养护条件的混凝土轴压强度数据得出其极限拉伸值, 它可以克服混凝土轴拉试验中的种种困难, 给工程应用带来方便。由于统计的资料有限, 这项工作还有待于更进一步完善。

参考文献

- 1 黄达海, 蒋林华, 谢年祥. 压-压-拉三向受力下混凝土特性的试验研究. 河海大学学报, 1991, 19(2): 1~7
- 2 黄达海. 全级配混凝土极限拉伸值试验方法的探讨. 葛洲坝水电工程学院学报, 1993(1): 65~71
- 3 黄达海. 压-压-拉三向应力状态下混凝土破坏准则的试验研究: [硕士论文]. 南京: 河海大学, 1989
- 4 梁正平, 陆海荣等. 三峡工程原级配混凝土单向拉伸性能试验. 河海大学学报, 1992, 20(5): 105~111

(收稿日期: 1995-06-26)

(上接第 44 页)

附表 原设计和优化设计成果比较

设计情况	矢跨比 f/L	排架间距 (m)	拱顶高度 (m)	拱肋宽度 (m)	拱肋配筋 (%)	造 价 (元)
原设计	0.2	4.43	0.65	0.45	1.684	2699.6 × 2
优化设计	0.19	6.20	0.68	0.4	1.855	2142.7 × 2

从表中可以看出, 矢跨比有所减小; 排架间距增大, 使得排架个数减少两个; 拱肋断面宽度减小, 拱肋断面高度略有增加; 用钢量也有所增加。总造价节省 20.6%。

由于采用了分层优化方法, 可以对整体、局部变量同时进行优化。因此, 用本文方法对肋拱渡槽优化设计时, 可以同时优化肋拱渡槽的整体布置、拱肋的断面尺寸及配筋率,

为肋拱渡槽的设计提供了强有力的工具。

参考文献

- 1 赵文华等. 渡槽. 第二版. 北京: 水利电力出版社, 1989 年
- 2 Haftka R T, Gürdal Z. Elements of structural optimization. Third revised and expanded edition. Kluwer Academic Publishers, 1992

(收稿日期: 1995-03-28)