

文章编号:1007-6492(1999)03-0028-03

长期荷载作用下水工结构限裂可靠度分析

解伟¹,高丹盈²,张建伟³

(1. 华北水利水电学院土木工程系, 河南 郑州 450045; 2. 郑州工业大学水利与环境工程学院, 河南 郑州 450002; 3. 河南省商业高等专科学校计算机研究室, 河南 郑州 450002)

摘要:混凝土的徐变和收缩是长期荷载作用下混凝土结构裂缝宽度扩大的主要影响因素, 因受环境条件影响, 使其在水工结构中具有较大的不定性, 而对水工混凝土结构构件可靠度的影响, 目前尚无统一认识及合理的考虑方法, 为了正确分析计算长期荷载作用下水工结构限裂可靠度, 从多个方面探讨了混凝土收缩和徐变的变异对长期荷载统计不定性构件截面抗力不定性的影响程度, 据此采用正常使用极限状态“抗力-荷载效应转换模式”进行了可靠度分析, 结果表明: 长期荷载作用下水工结构限裂可靠度比一般的建筑结构高; 水工混凝土结构构件裂缝计算公式的可靠度原则对不同的构件尚不统一, 尤其是轴心受拉构件, 公式中的常系数有待改进。

关键词: 长期荷载; 限裂; 可靠度; 短期荷载

中图分类号: TV 313

文献标识码: A

0 引言

对于正常使用极限状态设计, 有所谓短期荷载与长期荷载之别, 其含意与国际上所用的荷载常遇值和准永久值相仿^[1]。对限裂控制, 长期荷载的影响考虑在使裂缝宽度的增大之中, 这种考虑是以统计数学为基础的, 包括了各影响因素的综合作用, 对结构限裂可靠度分析具有显著影响, 正确理解和处理这些因素及其影响程度, 对研究和确定结构正常使用功能的可靠度水平, 具有重要意义。目前国内外对此问题尚无统一的认识, 在文献^[1]的基础上, 本文就长期荷载作用下水工结构限裂可靠度的影响因素及其机理, 进行了初步分析。

1 限裂计算对长期作用荷载的考虑

Stevens 等人的试验证明: 在长期荷载作用下, 裂缝间距不随时间而改变, 但由于截面拉区砼的应力松弛、滑移和徐变, 裂缝间受拉钢筋平均应变将不断增大, 裂缝宽度亦随时间而增大; 同时, 由于混凝土收缩, 也使裂缝宽度随时间增大, 裂缝宽度增加的速率随时间而减少, 一般试验过程中, 裂缝宽度在两年内可增加一倍, 要准确考虑上述

因素对裂缝宽度的影响程度, 目前的研究还没有可用的成果, 因此, 考虑荷载长期作用影响下的最大裂缝宽度, 目前均是在短期裂缝计算的基础上, 根据试验统计数据, 乘上某一扩大系数后获得。水工钢筋混凝土结构原设计规范中计算裂缝最大宽度的公式中,

$$\delta_{f\max} = 2 \left[\left(1 - \alpha_2 \frac{R_f}{\mu \sigma_g} \right) \frac{\sigma_g}{E_g} - 0.7 \times 10^{-4} \right] \cdot \left(6 + \alpha_1 \frac{d}{\mu} \right) v, \quad (1)$$

用扩大系数 2.0 包括了短期荷载下最大裂缝宽度与平均裂缝的关系及长期荷载下裂缝最大宽度与短期荷载下裂缝最大宽度的关系, 即

$$\tau_c \tau = \frac{\delta_{c\max}}{\delta_{f\max}} \cdot \frac{\delta_{f\max}}{\delta_f} \approx 2.0. \quad (2)$$

其中, $\tau_c = f[\epsilon(t), \Delta\sigma_c, \Delta\tau_n, \dots]$; f 为隐函数; $\epsilon(t)$, $\Delta\sigma_c$ 和 $\Delta\tau_n$ 分别为混凝土收缩徐变、应力松弛量、钢筋与砼间粘结力的破坏程度。

2 长期荷载的水工结构特征及影响因素

公式(1)的建立充分体现了水工混凝土结构的特点, 而用来比较的试验观测值也应反映水工结构的特点, 才能符合实际。但是, 到目前为止, 对

收稿日期: 1999-05-24; 修订日期: 1999-06-16

作者简介: 解伟(1959-), 男, 河南省开封市人, 华北水利水电学院副教授, 博士, 主要从事水工结构的可靠性分析及计算等方面的研究。

实际的水工混凝土构件裂缝的观测试验及调查工作开展得还不够多,事实上 τ_c 的主要影响因素是 $\epsilon(t)$ 。另外,对水工结构而言,有截面尺寸大、配筋率低及工作环境相对湿度较大等特征,这些都是影响 $\epsilon(t)$ 且与其他结构相差较为显著的因素。

$\epsilon(t)$ 受许多因素影响,根据系数叠加原理, $\epsilon(t)$ 的多系数数学表达式可写成

$$\epsilon(t) = \epsilon(t)_0 k_1 k_2 \cdots k_n \quad (3)$$

式中, $\epsilon(t)_0$ 为混凝土收缩(或徐变)基本方程; k_1, k_2, \cdots, k_n 分别表示不同因素的影响系数。不妨将 k_1, k_2, k_3 作为构件截面尺寸、配筋率、工作环境的相对湿度对 $\epsilon(t)$ 的影响系数,其余影响因素在各类结构中对 $\epsilon(t)$ 影响程度都是类似的。

由于 $\epsilon(t)$ 与结构的比面积的大小及其水份蒸发有关,混凝土的 $\epsilon(t)$ 与构件截面尺寸的大小成反比,试验曲线如图1所示。对水工大体积混凝土结构,对收缩的影响 $k_1 = 0.40$,对徐变的影响 $k_1 = 0.55$ 。配筋率较小,使 $\epsilon(t)$ 增大,但并不显著,在120天时,若配筋率在1%左右, $k_2 \approx 1.2$;当配筋率为1.4%时, $k_2 \approx 1.0$ 。构件环境介质的影响对 $\epsilon(t)$ 较为显著,相对湿度越大,混凝土的收缩与徐变越小,一般相对湿度在60%~80%之间,对收缩和徐变的影响系数 $k_3 = 0.75$ 。因此当其他条件相同时,适合于水工结构的收缩和徐变(相对于其他结构)应分别为(取 $\frac{V}{S} = 5.0$):

收缩: $0.9 \times 1.2 \times 0.75 \epsilon(t) = 0.81 \epsilon(t)$,

徐变: $0.85 \times 1.2 \times 0.75 \epsilon(t) = 0.765 \epsilon(t)$ 。

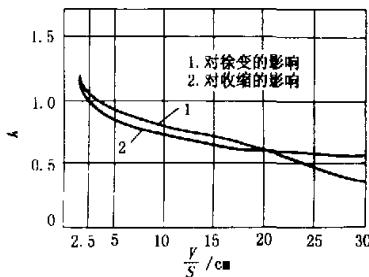


图1 统计参数的相关关系

3 长期荷载的统计不定性

前苏联的试验资料证明, τ_c 在1.2~1.8之间。根据我国的试验资料^[2]统计分析, τ_c 和 τ 的均值及变异系数分别为: $\mu_{\tau_c} = 1.664$, $\delta_{\tau_c} = 0.174$; $\mu_{\tau} = 1.663$, $\delta_{\tau} = 0.266$ 。如果此结构对水工结构构件也适用的话,那么计算模式不定性

$$K_{\sigma} = \frac{\delta_{fmax}^d}{\delta_{fmax}} \quad (4)$$

$$K_{\sigma}^d = \tau_c K_{\sigma}^d \quad (5)$$

式中: K_{σ} , K_{σ}^d 为考虑荷载长期作用下短期荷载作用下计算模式不定性(见表1),式(4)统计结果见表2所示。

表1 几种构件计算模式不定性的取值

构件类型	α_1	α_2	K	
			均值	变异系数
轴心受拉	0.16	0.56	0.8913	0.1476
大偏心受拉	0.075	0.30	0.709	0.2526
受弯	0.06	0.25	0.803	0.2220
大偏心受压	0.055	0.22	0.940	0.2209

表2 几种构件统计参数及可靠度指标值

统计参数	轴心受拉	大偏心受拉	受弯	大偏心受压
$\mu_{K_{\sigma}}$	1.4796	1.1769	1.3330	1.5604
$\delta_{K_{\sigma}}$	0.225	0.304	0.279	0.285
平均 K_R	1.771	1.332	1.148	1.028
平均 δ_R	0.174	0.191	0.179	0.171
平均 β	2.94	1.35	0.67	0.12

从表2可以看出, K_{σ} 的均值均大于1,说明按水工钢筋混凝土结构构件裂缝最大宽度计算公式计算的裂缝宽度值,整体上低于条件相同的实际结构的裂缝宽度最大值,以大偏压构件最甚,反映在可靠指标的计算成果上是可靠度偏低很多。

水工钢筋混凝土结构构件考虑长期荷载作用下的裂缝最大宽度与处于干燥正常环境下的结构相比要小一些。目前,混凝土收缩和徐变以 τ_c 的影响现还没有定量关系的研究资料,假定它们对 τ_c 的综合影响可用0.7的系数表示的话,则对水工钢筋混凝土结构构件来说,表2中的 $\mu_{K_{\sigma}}$ 应改变为1.035,0.824,0.933,1.092。

4 对结构可靠度的影响

4.1 可靠度计算模式

根据文献[1]的研究成果,本文采用“抗力-荷载效应转换模式”进行可靠指标计算分析,具体计算以三变量JC法为基础进行。

4.2 可靠度分析结果比较

按照上述方法,本文分别进行了短期荷载作用下、长期荷载作用下以及考虑水工结构不同变异因素的长期荷载作用下的结构可靠分析(可靠指标分别以 $\beta_d, \beta_s, \beta_S$ 表示)结果列于表3中。

从表2及表3的比较上看,大偏拉、受弯、大偏压构件由基本统计量计算转换抗力的统计可靠

度参数时,其抗力均值与 μ_{K_0} 基本上是具有相同反比例的,这说明这3种构件裂缝计算公式本身的可靠性是相当的,可靠指标的偏低和差异完全由计算模式的不定性 K_0 的过高和不同所造成;而轴拉构件的 μ_{K_0} 比大偏压小5%,但 K_R 却较大偏压大了42%,这项差别表明了轴拉构件计算公式中含有不十分恰当的常数值,应认真研究修正。

表3 几种构件的可靠度指标计算值

指标	轴心受拉	大偏心受拉	受弯构件	大偏心受压
平均 β_d	3.74	2.64	2.22	1.41
平均 β_c	2.94	1.35	0.67	0.12
平均 β_{cs}	3.29	2.07	1.55	1.02

表3中 β_c 的计算分析,从计算公式的意义讲,是基于常见的水上结构及无侵蚀性水质的水下结构构件进行的,但可靠度各影响因素的不定性统计则是以建筑结构的有关资料为基础的,据本文分析,考虑水工结构不同变异因素的影响后,长期荷载作用下水工钢筋混凝土结构构件的计算可靠指标有所改善,这是符合水工结构实际的。

5 结束语

通过上述分析,可以认为:由于水工结构的结

构特点及其工作条件不同于其他结构,荷载长期作用对裂缝宽度的扩大程度比一般工民建结构小,如按干燥、正常环境下的试验资料的统计结果进行可靠度分析,其结果偏小很多。所以,表3中 β_c 的数值只是仅可作为参考的偏低值。目前水工钢筋混凝土结构构件的试验及调查资料亟缺,给符合实际地考虑荷载长期作用的水工钢筋混凝土结构构件的限裂可靠度计算造成了一定困难,本文对此进行了较深入的探讨,获得了一些有益的成果,建议进一步加强这方面的研究工作。

参考文献:

- [1] 解伟.水工钢筋混凝土结构规范(SDJ20-98)限裂极限状态的可靠度分析[J].水利学报,1996(增刊):34-40.
- [2] 国家建委建筑科学研究所.钢筋混凝土结构研究报告选集[C].北京:中国建筑工业出版社,1977.
- [3] 赵国藩,李树瑶,廖婉卿,等.钢筋混凝土结构的裂缝控制[M].北京:海洋出版社,1991.
- [4] 龚洛书,柳春图.混凝土的耐久性及其防护修补[M].北京:中国建筑工业出版社,1990.

Reliability Analysis of Hydraulic Structure Under the Action of Long-term Load

XIE Wei¹, GAO Dan-ying², ZHANG Jian-wei³

1. Department of Civil Engineering, North China Institute of Water Conservancy and hydroelectric Power, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Hydraulic & Environmental Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 3. Research lab of Computer Science, Henan Commercial School, Zhengzhou 450002, China

Abstract: The creep and shrinkage of concrete is the major problem that leads to the enlargement of crack width in concrete structures, under the action of long-term load. Due to the environmental influence, the creep and shrinkage in hydraulic structures have more uncertainty. However, the impact of creep and shrinkage of concrete upon the reliability of concrete members or structures in hydraulic engineering has not been commonly recognized and reasonably taken into account. In order to correctly analyze and compute the limit cracking reliability of hydraulic structures under the action of long-term load, this paper studies the influent extent of the creep and shrinkage of concrete on the uncertainty of long-term load statistics and cross-section resistance. The resistance-load effect transmit model of normal service limit state is used to carry out the reliability analysis. The analytical result shows that the limit cracking reliability of hydraulic structures under the action of long-term load is higher than that of generally used structures. Furthermore, the reliability principle of the computing formula of crack width for hydraulic structures under the action of long-term load is not unified for the different structures. Especially, for axial tension member, the coefficients in the formula of crack width need to be improved further.

Key words: long-term load; limit crack; reliability; short-term load