

# 钢筋混凝土迭合梁短期刚度计算

张雷顺  
( 郑州工业大学水环系)

宋如玉  
( 郑州市政工程管理处)

**摘 要:** 本文在对迭合梁试验和非线性有限元计算的基础上, 建立了一种短期刚度计算公式。

**关键词:** 钢筋混凝土 迭合梁 短期刚度。

**中图分类号:** TU 37

在 GBJ10-89 规范中, 计算迭合梁短期刚度的公式为:

$$B_{s2} = \frac{E_s A_s h_0^2}{0.7 + 0.6 \frac{h_1}{h} + 4.5 \alpha \rho} \tag{1}$$

式中,  $E_s$  为受力钢筋的弹性模量,  $A_s$  为钢筋的截面面积,  $h_0$  为迭合梁计算截面有效高度,  $h_1$  为迭合前预制梁的截面高度,  $h$  为迭合梁的截面高度,  $\alpha = E_s/E_c$ ,  $E_c$  为迭合层混凝土的弹性模量,  $\rho = A_s/bh_0$  为迭合梁的配筋率。

李树瑶教授等九四年在《水力发电学报》上建议的迭合梁短期刚度计算公式为:

$$B_c = \frac{(0.025 + 0.28 \alpha \rho E_c h_0^3 b)}{1 - 0.75 \beta} \tag{2}$$

其中的  $\beta$  值, 他们在仅考虑迭合比  $h_1/h$  的影响, 根据  $M_1/M_{ul} > 0.25$  试验点, 取为下包线方程

$$\beta = 0.45(1 - \frac{h_1}{h}) \tag{3}$$

$M_1$  为一期荷载引起的预制梁截面弯矩,  $M_{ul}$  为预制梁截面极限弯矩。

下面建立本文提出的迭合梁短期刚度计算公式。

## 1 本文的迭合梁短期刚度计算公式

设裂缝截面二期荷载引起的钢筋拉应变增量为  $\epsilon_s$ , 则受拉钢筋的平均拉应变增量  $\bar{\epsilon}_s$  可表示为:

$$\bar{\epsilon}_s = \Psi \epsilon_s$$

$\Psi$  为裂缝之间钢筋应变增量不均匀系数。设裂缝截面迭合层受压区上边缘的应变为  $\epsilon_c$ , 则受压边缘的平均压应变  $\bar{\epsilon}_c$  可表示为:

$$\bar{\epsilon}_c = \Psi_c \epsilon_c \tag{5}$$

$\Psi_c$  为裂缝之间受压边缘混凝土应变的不均匀系数。

省级鉴定项目

收稿日期: 1996-08-14

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

于是,迭合梁中性轴弯曲曲率为:

$$k = \frac{\overline{\overline{\varepsilon}} + \overline{\overline{\varepsilon_2}}}{h_0} \tag{6}$$

又由材料力学知

$$k = \frac{M}{B_s} \tag{7}$$

式中,  $M$  为迭合梁截面弯矩, 它为一期荷载引起的截面弯矩  $M_1$  和二期荷载引起的截面弯矩  $M_2$  之和, 即  $M = M_1 + M_2$ 。由(6) 和(7) 式, 可得

$$B_s = \frac{M h_0}{\overline{\overline{\varepsilon}} + \overline{\overline{\varepsilon_2}}} \tag{8}$$

对普通钢筋混凝土构件, 通过试验实测的受弯构件裂缝之间钢筋应变不均匀系数  $\Psi$  的计算公式为:

$$\Psi = 1.1 - \frac{0.65 f_{tk}}{\rho_{et} \sigma} \tag{9}$$

该式反映了在混凝土轴心抗拉标准强度  $f_{tk}$  和按截面的“有效受拉混凝土面积”计算的纵向钢筋配筋率  $\rho_{et}$  一定时,  $\Psi$  与裂缝截面钢筋应力  $\sigma$  的关系。对于迭合构件来说, 裂缝截面钢筋的应力为 一期荷载引起的钢筋应力  $\sigma_1$  和二期荷载引起的钢筋应力  $\sigma_2$  之和, 即  $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$ , 因此,  $\Psi$  与  $\sigma_1 + \sigma_2$  的关系, 可由上式中  $\sigma$  换  $\sigma_1 + \sigma_2$  得到, 即

$$\Psi = 1.1 - \frac{0.65 f_{tk}}{\rho_{et} (\sigma_1 + \sigma_2)} \tag{10}$$

对于矩形截面迭合梁

$$\rho_{et} = \frac{A_s}{0.5bh} \tag{11}$$

一期荷载和二期荷载引起的钢筋应力, 作者在《迭合梁受拉钢筋应力计算》一文中已经给出, 其表达式为

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{\eta h_{01} A_s}, \sigma_2 = \frac{M_2 (1 - \beta)}{\eta h_0 A_s} \tag{12}$$

式中,  $h_{01}$  为预制梁截面有效高度, 内力臂系数  $\eta_1$ 、 $\eta_2$  和影响系数  $\beta$  为

$$\eta_1 = \eta_2 = 1 - \frac{1}{3} [ \sqrt{\rho \sigma + 1} - 1 - \rho \sigma ] \tag{13}$$

$$\beta = \frac{M_1}{M_2} ( \frac{h_0}{h_{01}} - 1 ) \tag{14}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bh_{01}} \tag{15}$$

于是, 在弹性范围内钢筋平均应变增量为

$$\overline{\overline{\varepsilon_2}} = \Psi \frac{\sigma_2}{E_s} \tag{16}$$

由于迭合层混凝土受压应变滞后, 受压区的混凝土应力, 试验实测和非线性有限元计算都表明可较为准确地用三角形分布表示, 见图 1, 受压区压力的合力  $C$  为

$$C = \frac{1}{2} \alpha \sigma b \tag{17}$$

$$M = C \eta h_0 \tag{18}$$

$$C = \frac{M}{\eta h_0} \tag{19}$$

$$\sigma = \frac{2M}{\alpha \eta b h_0} \tag{20}$$

由于受压区混凝土处于弹性状态，有

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_c} = \frac{2M}{\alpha \eta b h_0 E_c} \tag{21}$$

将(21) 式代入(5) 式，得

$$\bar{\varepsilon} = \frac{2 \Psi_c M}{\alpha \eta b h_0 E_c} \tag{22}$$

记 
$$\varphi = \frac{\alpha \eta}{2 \Psi_c h_0} \tag{23}$$

则 
$$\bar{\varepsilon} = \frac{M}{\varphi h_0^2 E_c} \tag{25}$$

将(16) 和(24) 式代入(8) 式，得

$$B_{s2} = \frac{M h_0}{\frac{M}{\varphi h_0^2 E_c} + \frac{\Psi_c \sigma_2}{E_s}} \tag{25}$$

再把(12) 式的后一式代入，整理后得

$$B_{s2} = \frac{E_s A_s h_0^2}{\frac{\Psi}{\eta} \frac{M_2}{M} (1 - \beta) + \frac{\alpha \rho}{\varphi}} \tag{26}$$

计算表明， $\eta$  可取 0.9， $\Psi_c$  近似取为 1.0，而  $a_1/h_0 = 3(1 - \eta)$ ，故要推导的迭合梁短期刚度计算公式为：

$$B_{s2} = \frac{E_s A_s h_0^2}{1.11 \Psi \frac{M_2}{M} (1 - \beta) + 7.41 \alpha \rho} \tag{27}$$

2 计算比较

运用本文建立的短期刚度计算公式(27)、GBJ10 - 89 规范公式(1) 和李树瑶教授等建议的公式(2)，对我们试验迭合梁进行了计算，并与试验结果进行了比较。表 1 是一块典型迭合梁的计算结果与试验结果的比较。若根据这些结果以及采用作者编制的 DHF - LB 非线性有限元程序计算结果，给出迭合梁的荷载挠度曲线，如图 2。

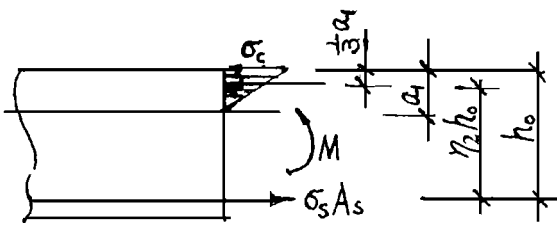


图 1

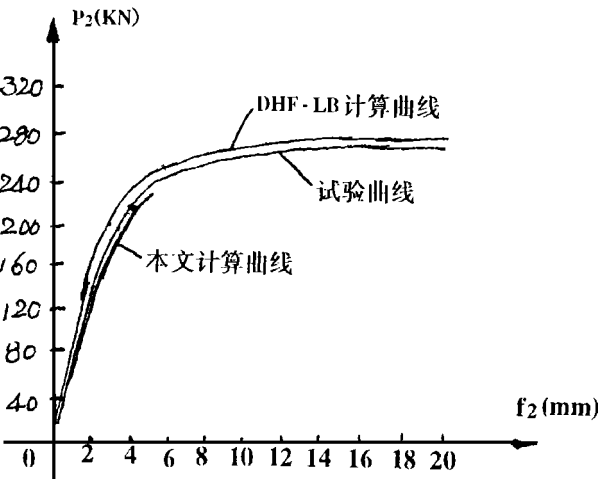


图 2

计算表明,本文建议的公式与试验值吻合相当好。当钢筋屈服后(此时  $P_2 = 235\text{KN}$ ),计算误差开始偏大,这是因为此时迭合梁上部受压区应力非三角形分布引起的。但对迭合构件,由于有  $\sigma_1 + \sigma_2 \leq 0.9f_y$  的纵向钢筋控制条件,因此,对屈服后一般也不需要计算。

本文公式与GBJ10-89规范公式比较,规范公式对于一种迭合构件,短期刚度是一个常量,这与实际情况是不一致的。实际上,构件的刚度是随着裂缝的开展而不断减少的。规范公式在设计时是可用的,因其计算刚度偏小,可使设计更偏于安全。但在对迭合构件分析时,由于规范公式误差较大,采用本文提供的公式是合适的。

表 1(下转 45 页)

李树瑶教授等建议的短期刚度计算公式较 GBJ10-89 是一个进步,该公式反映了  $\beta$  值的影响,即反映了迭合比  $h_1/h$  的影响。

本文建立的公式不仅反映了  $\beta$  值的影响,也反映了弯矩比  $M_2/M$  或  $M_1/M_2$  对构件刚度的影响,这种影响相对  $\beta$  值是明显的。

计算表明,本文建立的公式不仅适用于二次受力迭合梁,也适用于一次受力迭合梁以及整浇梁,此时  $M_2/M = 1$ 、 $\beta = 0$ 、 $\sigma_1 = 0$ 。

参 考 文 献

1 中华人民共和国国家标准18混凝土结构设计规范2GBJ10-8914.

2 郑州工学院张雷顺等18中小型钢筋砼板桥迭合整修分析与技术研究报告18.995 年 8 月

3 李树瑶18赵顺波18王运霞19钢筋混凝土迭合梁受力试验研究18水力发电学报18.994 年 3 月

4 张雷顺18苏炜18韩进舟19钢筋混凝土双向板开裂与破坏的非线性有限元分析18水利学报18.994 年 12 月

5 康清梁18宋玉普18张雷顺18李传才19钢筋混凝土非线性有限元19中国水利水电出版社18.996 年 6 月

Calculation of Short-Term Rigidity for Pile Up Beam

Zhang Leishun Song Ruyun  
(Zhengzhou University of Technology ect.)

**Adstract** Based on file up beam tests and finite elementanalysis of reinforced concrete, formulas for calculating short-term rigidity is established in this paper.

**Keywords** Rcinforced Concrete Pile up Beam Short-term Rigidity