

# 钢筋混凝土双肢剪力墙中连系梁 弯矩调幅值探讨

欧阳金水

(土木工程系)

## 摘 要

本文探讨怎样确定钢筋混凝土双肢剪力墙中连系梁的弯矩调幅系数( $K$ ),研究其主要影响因素荷载类型和剪力墙的整体系数( $\alpha$ ),并考虑连系梁弯矩完全重分布的条件,最后提出连系梁弯矩调幅系数( $K$ )的建议值,供工程实践选用。

## 一、概 述

高层钢筋混凝土双肢剪力墙具有良好抗震性能,除了它有很强墙肢外,还有延性很好的连系梁。在弹性阶段它可以提高结构体系的抗弯强度;在塑性阶段,它将首先形成塑性铰,从而耗散大量的地震能。所以在双肢剪力墙设计中,应考虑连系梁出现塑性铰之后的内力重分布。目前有关这类计算方法较多,工程设计中多数采用弯矩调幅法,即先按弹性分析求出构件控制截面的最大弯矩值,再根据实际需要和截面塑性变形的能力,将截面最大(指绝对值)弯矩予以适当地调整。

钢筋混凝土双肢剪力墙中连系梁的弯矩调幅值,以往采用单一的调幅系数<sup>[1]</sup>,由于影响连系梁弯矩的因素较多,单一系数难以确切反映各个影响因素,本文在寻找连系梁弯矩的变化规律,以表格或曲线图形表示连系梁弯矩调幅值的变化范围,供工程设计参考。

## 二、连系梁弯矩分布的分析

### 1. 荷载类型对弯矩分布的影响

现以廿五层钢筋混凝土双肢剪力墙为例,楼层高度2.90m,建筑物总高度72.5m。双肢剪力墙的整体系数( $\alpha$ )为9.5,其计算公式<sup>[5]</sup>

$$\alpha = H \sqrt{\frac{6D}{Th(J_1 + J_2)}} \quad (1)$$

本文1987年4月19日收到。

式中,  $D$  为连系梁的刚度特征值,  $T$  为轴向变形影响参数,  $I_1$  为墙肢 1 的弯曲刚度,  $I_2$  为墙肢 2 的弯曲刚度,  $h$  为楼层高度,  $H$  为双肢剪力墙总高度。

分别在倒三角形荷载, 均匀分布荷载、顶点集中荷载等三种荷载类型作用下, 计算出各层连系梁弯矩值( $m_i$ ), 并绘制其相应曲线图形, 如图 1 所示。由图中可见, 在倒三角形和均匀分布荷载作用下, 其连系梁弯矩分布图形呈铃型曲线, 在峰值附近高弯矩值的层数较少, 而底部和顶部低弯矩值的层数较多。因此, 对峰值处的弯矩调整幅度可取较大值。反之, 在顶点集中荷载作用下, 连系梁弯矩分布图形大部分是直线段, 高弯矩值的层数较多, 即使将最大弯矩调整一个较小值, 则总弯矩调整量也相当可观, 同时只能重分布到底部层数不多的连系梁上, 可见在顶点集中荷载作用下, 应取较小的弯矩调幅值。

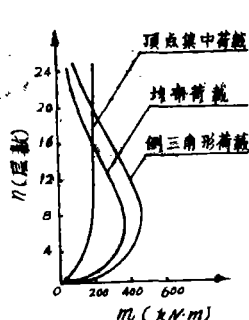


图1 连系梁弯矩与荷载类型关系

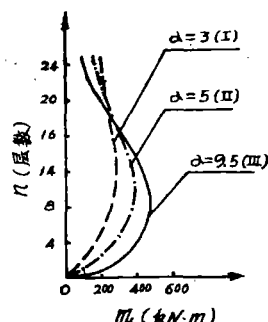


图2 倒三角形荷载

## 2. 倒三角形荷载作用下整体系数( $\alpha$ )对弯矩分布的影响

同样以上述双肢剪力墙为例, 在倒三角形荷载作用下, 取整体系数( $\alpha$ )为3.0、5.0、9.5等值, 分别计算各层连系梁弯矩值, 并绘制其相应分布曲线, 如图 2 所示。从图中可见, 当  $\alpha$  值自小到大增加时, 其分布图形逐渐成铃型曲线。由此可知, 在倒三角形荷载作用下, 结构整体系数( $\alpha$ )越大, 连系梁弯矩调幅值也越大。反之,  $\alpha$  值越小, 连系梁弯矩调幅值就 越小。

## 3. 均布荷载作用下 $\alpha$ 值对连系梁弯矩分布的影响

将均匀分布荷载作用于上例的双肢剪力墙上, 取同样三个  $\alpha$  值, 分别计算其相应连系梁弯矩, 并绘制连系梁弯矩沿高度分布曲线于图 3。就曲线形状看来, 基本上与图 2 中对应曲线相似, 随着  $\alpha$  值的增大, 图形逐渐形成铃型曲线, 其连系梁弯矩调幅值也逐渐增大, 这是相同的一面。但也有不同之处, 在图 2 中曲线(II)、(III), 峰值附近高弯矩值的层数较少, 曲线的曲率变化较慢, 顶层弯矩值与峰值的比率较大。这些因素将导致调幅值相应降低。而

图 3 中曲线(II)、(III)恰好相反, 即峰值附近高弯矩的层数较多, 曲线的曲率变化较快, 顶层弯矩值与峰值的比率较小。所以承受均匀分布荷载的调幅值比承受倒三角形荷载的调幅值将会大些。

## 4. 顶点集中荷载作用下, $\alpha$ 值对连系梁弯矩分布的影响

图 4 中曲线表示结构体系顶点承受集中荷载时, 连系梁弯矩沿高度变化的图形。当整体系数  $\alpha$  值越大, 连系梁弯矩分布就越均匀, 曲线中的直线段就越长, 而且图形中高弯矩值的层数就越多, 在这种情况下, 即使将最大弯矩

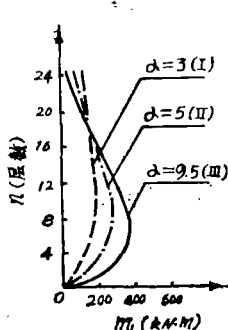


图3 均匀分布荷载

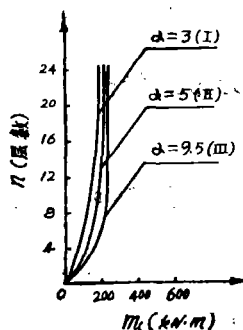


图4 顶点集中荷载

曲线中的直线段就越长, 而且图形中高弯矩值的层数就越多, 在这种情况下, 即使将最大弯矩

调整一个较小量,其弯矩总调整量也是相当大的。同时,这些弯矩只能调整到下部几层连系梁上去。可见,在顶点集中荷载作用下,连系梁弯矩调幅值将比前面两种情况小。其次,由图4曲线可见,连系梁弯矩调幅值随 $\alpha$ 值增大而变小。这一点与前面两种荷载类型恰好相反。

### 三、建 议 值

根据前面分析,连系梁弯矩调幅值的主要影响因素是荷载类型和结构整体系数( $\alpha$ ),因此,可按这两个因素来确定连系梁弯矩调幅值。参考国外《规范》调幅值<sup>[2,6]</sup>,取倒三角形荷载作用下的极限调幅值为28%,并考虑内力完全重分布的可能条件<sup>[3,4]</sup>,取

$$\frac{m_i}{m_k} = 1.5 \quad (2)$$

式中, $m_i$ 为低弯矩值连系梁所能接受内力重分配的总弯矩; $m_k$ 为高弯矩值连系梁的总弯矩调幅值。

由剪力墙结构的内力计算中,双肢剪力墙的齐次微分方程解

$$\Phi_1(\alpha, \xi) = \begin{cases} 1 - (1 - \xi)^2 + \left[ \frac{2\text{sh}\alpha}{\alpha} - 1 + \frac{2}{\alpha^2} \right] \frac{\text{ch}\alpha\xi}{\text{ch}\alpha} - \frac{2}{\alpha} \text{sh}\alpha\xi - \frac{2}{\alpha^2} \\ \left( \frac{\text{sh}\alpha}{\alpha} - 1 \right) \frac{\text{ch}\alpha\xi}{\text{ch}\alpha} - \frac{1}{\alpha} \text{sh}\alpha\xi + \xi \\ 1 - \frac{\text{ch}\alpha\xi}{\text{ch}\alpha} \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\xi$ 为相对高度; $\alpha$ 为剪力墙结构的整体系数。

大括号中并列的三行,第一行为倒三角形荷载作用下的结果,第二行为均布荷载作用下的结果,第三行为顶点集中荷载作用下的结果。由 $\Phi_1(\alpha, \xi)$ 可求得连系梁的约束弯矩为

$$m(\xi) = T Q_0 \Phi_1(\alpha, \xi) \quad (4)$$

式中, $T$ 为轴向变形影响系数; $Q_0$ 为基底处的总剪力,即全部水平力总和。 $i$ 层连系梁的端部弯矩( $m_{ii}$ )

$$m_{ii} = \frac{a}{2c} T h Q_0 \Phi_1(\alpha \xi) \quad (5)$$

式中, $a$ 为连系梁计算跨度的一半; $c$ 为墙肢截面形心轴距离的一半; $h$ 为楼层高度。

按公式(2)和(5),在倒三角形荷载作用下,对每一个 $\alpha$ 值任取五个不同跨高比,见表1,并将 $\alpha$ 由1至10逐个计算其相应弯矩调幅值。其计算结果列于表2。

同理,对均布荷载、顶点集中荷载作用下,计算其相应连系梁弯矩调幅值,结果列于表3。

最后,将双肢剪力墙连系梁弯矩调幅建议值列于表4。并根据表4绘制图5相应曲线。表4或图5均可供工程设计参考。

表1 连系梁不同跨高比尺寸

$\alpha$ 值	截面类型	截面尺寸	$t$	$h_1$	$2a$	$2c$	墙 肢 1		墙 肢 2	
							$t$	$b_1$	$t$	$b_2$
1	I		02.0	0.20	3.90	8.80	0.20	5.00	0.20	5.00
	II		0.15	0.25	4.325	10.20	0.15	6.00	0.15	6.00
	III		0.20	0.28	5.34	11.20	0.20	6.00	0.20	6.00
	IV		0.20	0.30	5.15	11.50	0.20	6.50	0.20	6.50
	V		0.20	0.32	5.56	12.40	0.20	7.00	0.20	7.00
2	I		0.20	0.20	2.10	7.00	0.20	5.00	0.20	5.00
	II		0.20	0.25	2.725	7.60	0.20	5.00	0.20	5.00
	III		0.20	0.28	3.94	7.80	0.20	4.00	0.20	4.00
	IV		0.20	0.30	3.95	8.30	0.20	4.50	0.20	4.50
	V		0.20	0.34	3.77	9.60	0.20	6.00	0.20	6.00
3	I		0.20	0.20	1.50	6.40	0.20	5.00	0.20	5.00
	II		0.20	0.25	3.325	7.95	0.20	5.00	0.20	4.50
	III		0.20	0.30	2.35	7.70	0.20	5.50	0.20	5.50
	IV		0.20	0.35	2.975	7.80	0.20	5.00	0.20	5.00
	V		0.20	0.40	3.20	9.00	0.20	6.00	0.20	6.00
4	I		0.20	0.28	2.14	6.00	0.20	4.00	0.20	4.00
	II		0.20	0.30	1.95	6.80	0.20	5.00	0.20	5.00
	III		0.20	0.35	2.175	7.50	0.20	5.50	0.20	5.50
	IV		0.20	0.40	2.80	7.60	0.20	5.00	0.20	5.00
	V		0.20	0.45	2.825	8.60	0.20	6.00	0.20	6.00
5	I		0.20	0.50	2.75	7.50	0.20	5.00	0.20	5.00
	II		0.20	0.40	2.70	6.50	0.20	4.00	0.20	4.00
	III		0.20	0.35	2.175	6.00	0.20	4.00	0.20	4.00
	IV		0.20	0.30	1.75	6.10	0.20	4.50	0.20	4.50
	V		0.20	0.55	3.275	8.00	0.20	4.00	0.20	6.00
6	I		0.20	0.60	3.10	7.80	0.20	4.00	0.20	6.00
	II		0.20	0.50	2.65	6.90	0.20	4.00	0.20	5.00
	III		0.20	0.40	2.10	6.40	0.20	4.50	0.20	4.50
	IV		0.20	0.55	2.675	7.90	0.20	5.50	0.20	5.50
	V		0.20	0.80	3.80	9.40	0.20	6.00	0.20	6.00
7	I		0.20	0.80	3.50	9.10	0.20	6.00	0.20	6.00
	II		0.20	0.55	2.675	6.90	0.20	4.00	0.20	5.00
	III		0.20	0.60	2.60	7.80	0.20	5.50	0.20	5.50
	IV		0.20	0.70	2.95	8.60	0.20	6.00	0.20	6.00
	V		0.20	0.50	2.25	7.00	0.20	5.00	0.20	5.00

表1 (续)

<div>截面尺寸</div> <div><math>\alpha</math> 截面类型 值</div>		$t$	$h_i$	$2a$	$2c$	墙肢 1		墙肢 2	
						$t$	$b_1$	$t$	$b_2$
8	I	0.20	0.55	1.875	8.10	0.20	6.50	0.20	6.50
	II	0.20	0.60	2.30	7.50	0.20	5.50	0.20	5.50
	III	0.20	0.70	3.05	7.70	0.20	5.00	0.20	5.00
	IV	0.20	0.80	3.60	8.20	0.20	5.00	0.20	5.00
	V	0.20	0.90	3.45	9.00	0.20	6.00	0.20	6.00
9	I	0.20	0.70	2.65	7.30	0.20	5.00	0.20	5.00
	II	0.20	0.75	2.975	7.60	0.20	5.00	0.20	5.00
	III	0.20	0.80	3.20	7.80	0.20	5.00	0.20	5.00
	IV	0.20	0.90	3.45	8.50	0.20	5.50	0.20	5.50
	V	0.20	1.00	3.70	9.20	0.20	6.00	0.20	6.00
10	I	0.20	0.60	2.30	6.00	0.20	4.00	0.20	4.00
	II	0.20	0.80	2.80	7.40	0.20	5.00	0.20	5.00
	III	0.20	0.90	3.05	8.10	0.20	5.50	0.20	5.50
	IV	0.20	1.00	3.30	8.80	0.20	6.00	0.20	6.00
	V	0.20	1.10	3.75	9.20	0.20	6.00	0.20	6.00

注: (1) $2a=2a_0+\frac{h_i}{2}$ ;

(2)截面尺寸见附图

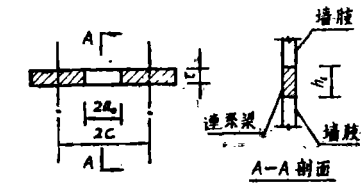


表2 倒三角形荷载作用下连系梁弯矩调幅值

整体系数( $\alpha$ )		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
截面型式											
	I	17.40	14.42	16.40	19.43	22.30	23.99	25.29	26.39	26.99	27.53
	II	17.41	14.43	16.36	19.42	22.34	24.12	25.28	26.38	26.98	27.57
	III	17.40	14.42	16.37	19.45	22.33	24.02	25.02	26.38	27.00	27.58
	IV	17.41	14.44	16.36	19.43	22.36	24.04	25.28	26.39	27.01	27.25
	V	17.39	14.42	16.37	19.42	22.34	24.02	25.22	26.39	27.02	27.51
平	均	17.40	14.42	16.37	19.43	22.33	24.04	25.22	26.39	27.00	27.49

表3 双肢剪力墙连系梁弯矩调幅计算值

荷载类型 \ 整体系数( $\alpha$ )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
倒 三 角 形 荷 载	17.40	14.42	16.37	19.43	22.33	24.04	25.04	26.39	27.00	27.49
均 匀 分 布 荷 载	15.59	13.79	17.43	20.48	25.52	28.08	29.82	31.19	32.66	33.57
顶 点 集 中 荷 载	25.57	23.14	19.83	16.59	13.52	11.51	9.71	8.30	7.15	6.45

表4 双肢剪力墙连系梁弯矩调幅建议值

荷载类型 \ 整体系数( $\alpha$ )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
倒 三 角 形 荷 载	14	14	16	19	22	24	25	26	27	27
均 匀 分 布 荷 载	14	14	17	20	25	28	29	30	30	30
顶 点 集 中 荷 载	25	23	20	16	13	11	9	8	8	8

四、结 语

本文建议值系按三不同荷载类型和结构整体系数  $\alpha$  值, 查表 4 或图 5 可得相应连系梁弯矩调幅值。通过今后工程实践经验的积累, 上述弯矩调幅值将逐步加以修正, 渐趋完善。

建议值系基于连系梁具有足够的延性, 以确保内力能够完全重分布。为防止连系梁过早剪切破坏, 建议《规范》应限制其最大含钢量。

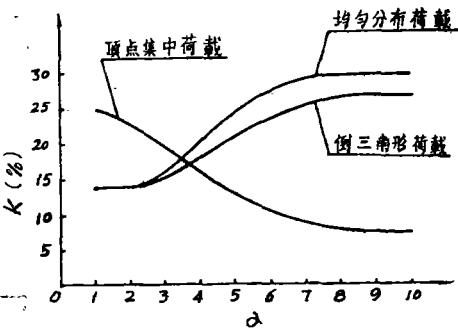


图5 连梁弯矩调幅值曲线

参 考 文 献

〔1〕 高层建筑结构学组, 高层建筑结构设计建议, 上海科学技术出版社, (1985).  
〔2〕 天津大学等校编, 钢筋混凝土结构, 中国建筑工业出版社, (1980).  
〔3〕 方鄂华, 连系梁对双肢剪力墙弹塑性性能的影响, 工程抗震, 4(1985).  
〔4〕 李明书等, 现浇钢筋混凝土剪力墙结构中联梁的抗震性能试验研究, 第八届高层会议论文集, 第五卷, (1984).  
〔5〕 包世华、方鄂华主编, 高层建筑结构设计, 清华大学出版社, 7(1985).  
〔6〕 Park, R. and Paulay, T., Reinforced Concrete Structure, Copyright (C) (1975),  
Printed in the United States of America.

## Amplitude Modulation Value of Bending Moment in Coupling Beam over Reinforced Concrete Coupled Shear Walls

Ouyang Jinshui

### Abstract

This paper defines at first the amplitude modulation coefficient  $K$  of bending moment in coupling beam over reinforced concrete coupled shear walls.

It studies the primary influence factors such as type of load and ensemble coefficient  $\alpha$  of shear walls.

It considers the conditions under which the bending moment in coupling beam is completely redistributed.

In conclusion it recommends the amplitude modulation coefficient  $K$  of bending beam for use in engineering practice.