

特殊钢筋混凝土构件设计

[联邦德国]F.莱昂哈特 E. 门尼希著

程积高 译

水利电力出版社

B或Bn 混凝土标号
BSt 混凝土钢筋
LB 轻质混凝土
NB 普通混凝土
el 弹性的
pl 塑性的

red 折减的
konst 恒定时，常数的
theor 理论的
vorh 实际的
zul 容许的
erf 所需的

内 容 提 要

本书详细剖析了深梁、牛腿、墙板、混凝土铰等特殊钢筋混凝土构件的受力特点、传力途径和配筋方式，内容丰富，通俗易懂，是一本有参考价值的参考书。

本书可供土建设计、施工、科研人员及大专院校有关专业师生参考。

F. Leonhardt und E. Mönnig

Sonderfälle der Bemessung im Stahlbetonbau

Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1975

特殊钢筋混凝土构件设计

【联邦德国】F. 莱昂哈特 E. 门尼希著

程积高 译

责任编辑 蒋仁敏

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 8.25印张 185千字

1986年9月第一版 1986年9月北京第一次印刷

印数0001—9540册 定价2.00元

书号 15143·5998

译 者 的 话

本书作者是联邦德国斯图加特大学大体积结构研究所教授、工程博士，长期从事教学和科研工作，著有《钢筋混凝土结构教程》共六册。第一册《钢筋混凝土结构设计原理》、第二册《特殊钢筋混凝土构件设计》、第三册《钢筋混凝土配筋原理》、第四册《钢筋混凝土结构裂缝与变形验算》、第五册《预应力混凝土》、第六册《钢筋混凝土桥梁建筑》。水利电力出版社已组织翻译出版了其中第二、三、四、五册。本书是第二册，专论特殊钢筋混凝土构件的设计，内容丰富，取材新颖，着重剖析了结构内部的传力途径，是一本有价值的参考书。

为方便读者，译者在正文前增加了符号说明，删去了第一章中的一些冗词赘字，并将原书第89~90页对3.3.9节的补充直接译入3.3.9节中。全书译完后，虽经译者仔细校对，但限于水平，错误之处，犹恐难免，恳求读者指正。

何蓬江同志对全书译稿及叶秀玉同志对序言部分提出了不少改进意见，译者在此表示深切谢意。

程积高

第一版序言

作者在《钢筋混凝土结构教程》丛书的第一册《钢筋混凝土结构设计原理》一书中，简要地讨论了钢筋混凝土承重结构使用的材料、承载性能，以及受弯、受剪、有纵向力和无纵向力受扭、压曲稳定验算的受压构件的设计。本书是第二册，专门讨论特殊钢筋混凝土构件的设计。虽然特殊钢筋混凝土构件在实际工程中经常出现，但由于一些实用的方法只是在近几十年中才提了出来，所以对这种特殊构件的设计往往不够完善。在畅销的手册中，通常没有编入这方面的内容，即使有，也是过时的。新的设计方法仅散见于有关专业期刊，以致许多从事设计工作的工程技术人员都不了解。

我们通过评价有关文献、最新研究报告及介绍我们自己的研究成果，以实用的形式阐述了这方面的最新观点。由于轻混凝土在承重结构中日益获得广泛的应用，但以其特有的性能而在设计规则上与普通混凝土有所不同，故本书专辟最后一章予以讨论。书后还列出了对最新的发展起着特别重要作用的专题文献。这些文献对工程师深化有关的专门知识也是很重要的。

F·莱昂哈特和E·门尼希

1974年秋于斯图加特

第二版序言

第二版只作了少量修改和补充，但所讨论的问题没有改动。

F·莱昂哈特和E·门尼希

1975年5月于斯图加特

符 号

下面为DIN1080规定的钢筋混凝土结构常用的符号（其中有些是补充符号）。

脚标符号

表示原因：

- K 徐变
- S 收缩
- t 时间、寿命
- T 温度

表示力的类型：

- B 弯曲
- D 压力
- S 剪力
- T 扭力
- Z 拉力
- Z_w 约束力

表示方向、地点：

- b 混凝土
- e 钢筋
- o 上部
- u 下部
- L 纵向配筋
- B_z 钢箍
- s 螺旋钢筋或抗剪力钢筋

其他：

- i 表示换算值
- n 净的
- R 相应于开裂荷载时的内力
- U 极限荷载或破坏荷载
- 0 t = 0 时的数值，起始值
- ∞ t = ∞ 时的值

上标符号：

- I 状态I（未开裂状态）
- II 状态II（已开裂状态）
- II. 纯状态II
- III 状态III（塑性状态）

主要符号

横截面特征值：

- b 矩形截面的宽度
- b₀ T形梁的梁腹宽度
- b_m T形梁的有效宽度
- d, 直径、板厚、梁高、墙厚
- d_s, φ 钢筋直径
- d₀ T形梁的总高度
- d_w F_{b,w}的有效受拉区高度
- d₁ 弯曲时受拉区的高度
- e 钢筋间距，或纵向力的偏心距， $e = M/N$
- e_{s,z} 垂直钢箍的间距
- F 截面面积
- F_b 混凝土截面面积（毛）
- F_{b,w} 配筋的有效受拉区面积
- F_{b,z} 混凝土受拉区面积
- F_l = F_b + (n - 1)F_s, 截面的换算值
- F_m = b_m · d_m, 扭转时的核心面积
- F_n 混凝土截面面积（净）
- F_s 受拉钢筋截面面积
- F_s, S 抗剪钢筋或斜筋截面面积
- F_s, L 纵向钢筋截面面积
- F_s, B_z 钢箍的截面面积
- f_s 单位长度的钢筋截面面积
- f_{s,w} 螺旋筋的截面面积
- h 受压边缘至受拉钢筋重心的距离，有效高度，或构件、建筑物高度
- h' 受压边缘至受压钢筋重心的距离
- i = $\sqrt{J/F}$ ，回转半径
- I或J 惯性矩
- K 刚度
- u 钢筋的周长，或扭转时核心面积的周长
 $u = 2(b_m + d_m)$
- $\bar{u}$ 混凝土保护层

W	截面模量	Q	剪力
x	受压边缘至中和轴的距离	表示位移的符号:	
z	内力臂	f	挠度
μ	$= F_o/bh$, 配筋率用%表示	v	位移
μ_o	$= F_o/b \cdot d$, 全部混凝土横截面的配筋率	Δl	纵向伸长
μ_x	$= F_o/F_{bx}$, 混凝土受拉区的配筋率	ε	应变
μ_{zw}	$= F_o/F_{bw}$, 配筋有效受拉区的配筋率	ε_m	钢筋的平均应变
μ_{xx}	$= (2600/\sigma_{sw}) \times \sqrt{\mu_x [\%]}$, 无量纲的配筋率	ε_{bd}	受压区混凝土的应变
材料特征值:		表示应力的符号:	
E	弹性模量	σ	应力
E_b	混凝土的弹性模量	+	拉应力
E_s	钢材的弹性模量	-	压应力
f_R	变形钢筋的肋纹面积	σ_s 或 σ'_s	受拉或受压钢筋的应力
G	剪切模量	σ_b	混凝土压应力
n	$= E_o/E_b$, 弹模比值	σ_{bx}	混凝土拉应力
μ	$= \frac{\text{横向变形}}{\text{纵向变形}}$, 横向变形系数, 泊桑比	σ_{su}	钢箍应力
α_T	温度膨胀系数	σ_s^I	状态I时的钢筋应力
β_c	混凝土圆柱体抗压强度	σ_s^{II}	状态II时在裂缝横截面处的钢筋应力
β_x 或 β_{bx}	混凝土抗拉强度	σ_{sw}	裂缝之间混凝土共同作用的有效钢筋应力
β_p	混凝土棱柱体抗压强度	τ	剪应力
β_w	混凝土立方体抗压强度	τ_o	钢筋混凝土梁的计算剪应力
β_s	钢筋屈服强度	τ_1	混凝土和钢筋之间的粘结应力
$\beta_{o.2}$	钢筋在应变为0.2%时的屈服强度	其他符号:	
β_{r1}	钢筋和混凝土之间的粘结强度	a	裂缝间距
表示荷载的符号(大写字母表示集中荷载, 小写字母表示单位长度或单位面积上的荷载):		k	系数
g, G	永久荷载, 静荷载	v	M/z图上的移动量
p, P	活荷载, 有效荷载	ν	安全系数
q	总荷载	x	挠曲系数
w, W	风荷载	η	剪力包络系数
H	集中荷载的水平分力	量度单位:	
V	集中荷载的垂直分力	1kg	质量单位
表示内力的符号:		1kp	$= 9.81 \text{kgm/s}^2$ 力的单位 = 质量 $\times$ 重力加速度 ($= 1 \text{kgf}$)
M	弯矩	1Mp	$= 1000 \text{kP} \approx 1 \text{t}$
M_B	弯曲力矩	缩写符号	
M_T 或 T	扭矩	CEB	欧洲国际混凝土委员会
N	纵向力	DAfstb	德国钢筋混凝土委员会
		DIN	德国工业标准

目 录

译者的话

第一版序言

第二版序言

符 号

1. 倾斜于受力方向的配筋	1
1.1 概述	1
1.2 配有直角钢筋网的墙板	2
1.3 只有一层钢筋的墙板	7
1.4 配直角钢筋网的板	8
1.5 设计规定	9
2. 深梁、牛腿和墙板	14
2.1 定义	14
2.2 按状态I计算应力的方法	14
2.3 深梁的内力和应力	15
2.4 按状态II计算深梁	30
2.5 深梁的设计原则	36
2.6 牛腿和悬臂墙的应力	39
2.7 牛腿和悬臂墙的设计原则	42
3. 集中荷载的传播	45
3.1 应力分布图	45
3.2 应力计算的方法	47
3.3 二维传播集中荷载时横向拉力的计算	48
3.4 三维传播集中荷载时横向拉力的计算	66
3.5 荷载面上的极限压力	73
3.6 与混凝土构件表面平行作用的力	75
4. 混凝土铰	80
4.1 概述	80
4.2 门尼希-莱泽的设计原则	82
5. 板的穿切	88
5.1 概述	88
5.2 关于穿切荷载的计算方法	88
5.3 中心荷载的中柱上没有剪力配筋时穿切过程的模型	88

5.4 在边柱和角柱上的穿切	93
5.5 DIN1045的计算规定	94
6.在动荷载或荷载作用很频繁时的设计	100
6.1 基本原则.....	100
6.2 设计规定	101
6.3 使用荷载作用下的应力计算	101
6.4 按DIN1045验算动荷载.....	103
7.承重结构用的轻混凝土	105
7.1 概述及轻混凝土的种类	105
7.2 承重结构用的轻混凝土的集料及成分	106
7.3 轻混凝土中的力流	108
7.4 轻混凝土的标号	109
7.5 轻混凝土与普通混凝土特性的主要区别	110
7.6 配筋轻混凝土(钢筋轻混凝土、预应力轻混凝土)的设计规定	115
7.7 轻混凝土承重结构的经济性	117
7.8 应用	117
参考文献	118

1. 倾斜于受力方向的配筋

1.1 概 述

在第一册^[1]第5章中曾经说过,沿主拉应力或主弯矩的轨迹配置钢筋效果最好。这样钢筋就能与产生的裂缝垂直相交,并可直接承受混凝土拉力。但几乎所有的承重结构都有某些部位由于实际原因而不可能按这种理想方法配筋。

在第一册第8章和第9章中讨论了梁腹的配筋设计,并指出了梁腹受剪和受扭时的主拉应力方向是倾斜于配筋方向的。下面讨论平面承重结构(墙梁、板、薄壳)中倾斜于受力方向的配筋设计原则。

E.索森^[2],特别是H.莱茨^[3,4],对这个问题的早期研究中,假定裂缝与钢筋垂直,并提出了平衡条件。W.胡吕格^[5]和G.舒尔茨^[6]作了一些补充。这些方法都假定混凝土压力作用在两层配筋的 45° 方向内。这就出现了一个矛盾,即按某些情形中的裂缝图形,混凝土的压力势必作用在裂缝上。

J.彼得^[7]和F.艾布勒^[8,9]正确地指出,墙板或板的第一批裂缝与钢筋方向无关,而大致与主拉应力的方向垂直(图1.1)。沿裂缝的剪力可由相容条件中求出。这种剪力在墙板中是通过粗集料和钢筋间的啮合和销栓作用传递的,但在板中则是通过裂缝处的弯曲受压区传递的。此外,这种剪力对混凝土引起二次拉应力和次生裂缝。这种裂缝与第一批裂缝构成一定角度,且常常产生在第一批裂缝之间。

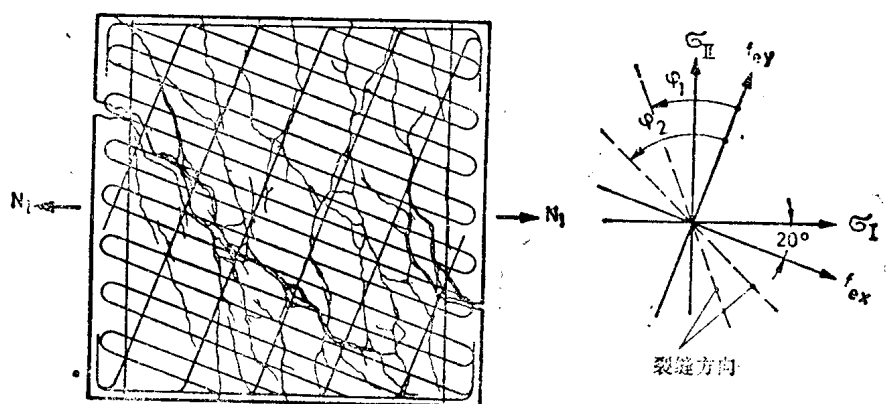


图 1.1 倾斜于主拉应力方向配筋的单向受拉墙梁中出现的裂缝^[6]

R.楞索夫和M.索森^[10],以及G.维斯特隆和L.哈布约尔^[11]在其论文中只是分析了破坏状态,提出了破坏状态的平衡条件,并用最小变形功原理求出了破坏裂缝的方向。

直到1972年Th.鲍曼^[12,13]用平衡条件和相容条件或最小变形功原理才提出了满意的计算方法。鲍曼把弹性范围内的钢筋应力状态($\sigma_s < \beta_s$)和破坏状态($\sigma_s > \beta_s$)区别开来,并求出这两种状态不同的裂缝倾角。下面讨论这种计算方法。

在一般情况下可配置一层、两层或三层钢筋来承受倾斜作用的力，且在两层或三层钢筋时，钢筋之间可以形成任意的角度。下面仅讨论两层直角配筋。三层倾斜配筋，详见文献[12、13]。

1.2 配有直角钢筋网的墙板

1.2.1 墙板单元上的力及力的平衡

下面来研究在中间平面配有密布的直角相交钢筋网的墙板的矩形单元（图1.2）。墙板的边分别与主应力 σ_I 和 $\sigma_{II}=k\cdot\sigma_I$ 的方向平行。钢筋是倾斜配置的。为便于标出角度，引入两个直角坐标系：

- a) (1) 轴和(2) 轴相当于主应力 σ_I 和 σ_{II} 的方向，拉力为正，压力为负。
- b) x轴和y轴相当于钢筋 f_{ex} 和 f_{ey} 的方向。

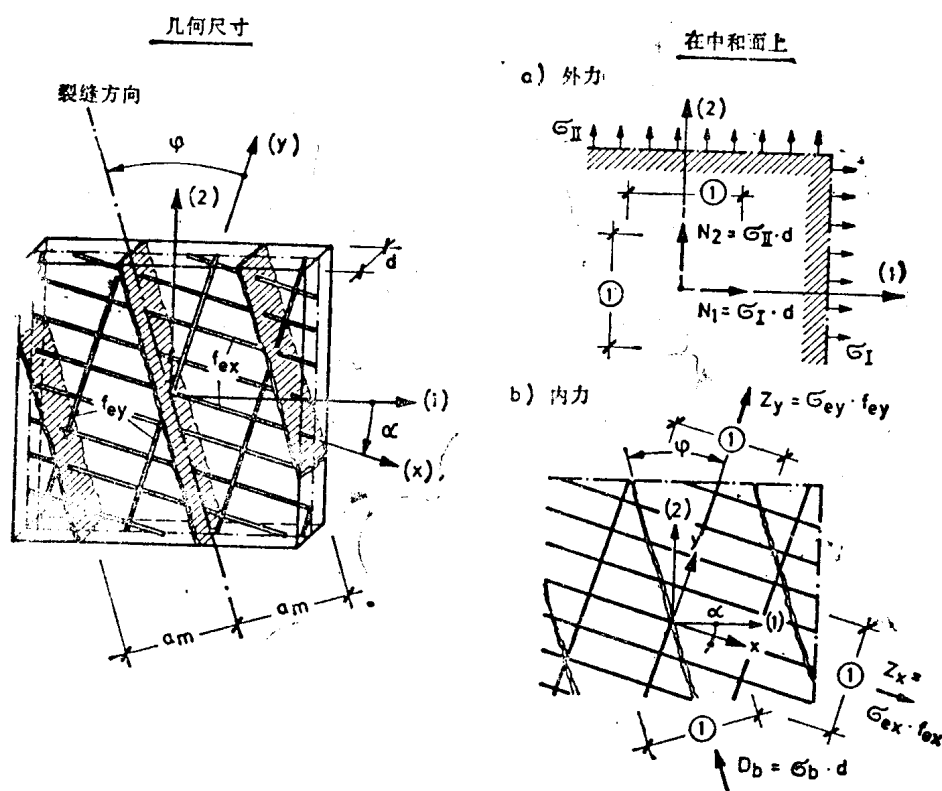


图 1.2 配有直角钢筋网的墙板单元的几何尺寸及作用在墙板上的力

此处假定 σ_I 总是拉应力，且大于 σ_{II} ，所以 $k \leq 1$ 。(1) 轴和x轴之间的夹角用 α 表示，并规定x-y坐标系的位置是使 $\alpha \leq 45^\circ$ 。

假定墙板产生接近于直线的平行裂缝，其间距为 a_m ，其倾斜于配筋方向y轴的角度为 φ （此角大小暂时尚不知道）。

在单位长度为1的墙板上作用的力为：

$$N_1 = \sigma_I d \cdot l \text{ 和 } N_2 = \sigma_{II} d \cdot l = k \cdot N_1 \quad (1.1)$$

假定裂缝之间的混凝土条块内产生均布的压应力 σ_b 。 σ_b 相当于中心压力 D_b ，即

$$D_b = \sigma_b d \cdot l \quad (1.2)$$

如果裂缝和配筋方向与 σ_I 的方向（1）轴不成直角，即 α 和 φ 不等于零，则在一定情况下裂缝处可能作用有剪力 H 。只要裂缝宽度不大，则 H 可通过裂缝两侧的粗集料的啮合作用及与裂缝交叉的钢筋的销栓作用来传递（图1.3）。出现剪力 H 意味着相邻混凝土条块的压力 D_b 大小不同，或者 D_b 与裂缝形成一定的角度，因而在混凝土内存在较小的横向拉应力（图1.4）。

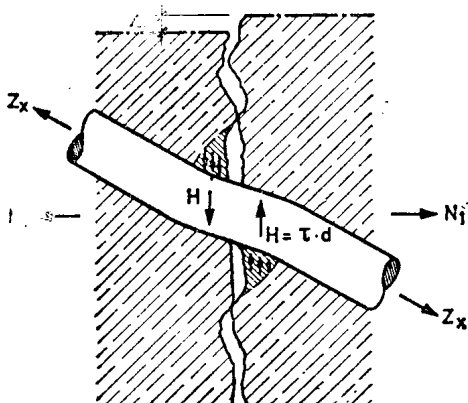


图 1.3 裂缝处的剪力由裂缝两侧的啮合及钢筋的销栓作用来传递

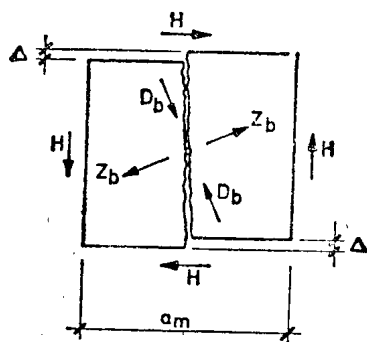


图 1.4 裂缝处的墙板单元由于位移 Δ 而引起的倾斜作用的压力 D_b 和相应的横向拉力 Z_b 。

啮合力和销栓力也在混凝土中引起拉应力。这种拉应力不应考虑在承载能力中，因为剪力 H 必然随裂缝的扩大和销栓区混凝土的局部破坏而减小，且可随剩余销栓力的消失而消失。所以在下面的公式推导中令 $H = 0$ ，是偏于安全的。

若每单位长度上的钢筋横截面面积用 f_{ex} 和 f_{ey} 表示，则每单位长度上的钢筋拉力为

$$Z_x = \sigma_{ex} \cdot f_{ex} = \sigma_{ex} \cdot \mu_x \cdot d$$

$$Z_y = \sigma_{ey} \cdot f_{ey} = \sigma_{ey} \cdot \mu_y \cdot d$$

式中 $\mu_{x,y} = \frac{f_{ex,y}}{d}$ 。

若主应力 σ_I 和 σ_{II} （或 N_1 和 N_2 ）及 f_{ex} 和 f_{ey} 为已知，则剩下的四个未知量是： σ_{ex} 、 σ_{ey} 、 σ_b （或 Z_x 、 Z_y 、 D_b ）和裂缝方向的角度 φ 。但用平衡条件只能求三个未知数。兹选 φ 角作赘余未知数，它可由相容条件求出。

暂假定 φ 角为已知，然后可根据平行于裂缝的一个截面上的平衡条件画出图1.5所示的力多边形。从力多边形可列出下式：

$$N_1 b_1 - Z_x b_x \cos \alpha - Z_y b_y \sin \alpha = 0$$

$$N_2 b_2 - Z_y b_y \cos \alpha + Z_x b_x \sin \alpha = 0$$

力 N_1 至 Z_y 作用的宽度 b_1 至 b_y 也可用 φ 和 α 的函数来表示（见图1.5）。这样就可从上述式得 Z_x 和 Z_y ，即：

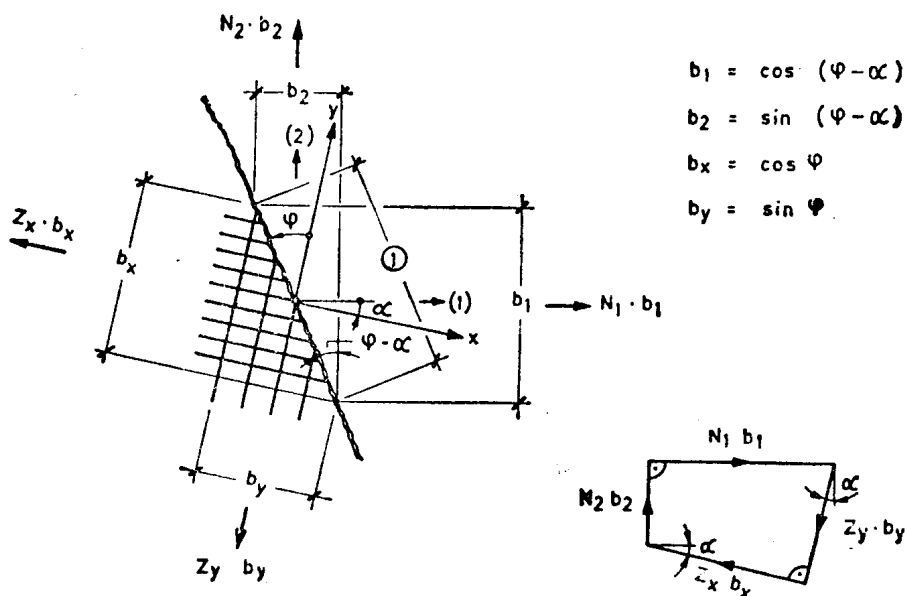


图 1.5 在单位裂缝长度上作用的力处于平衡状态及相应的力多边形（假定裂缝处的剪力H为零）

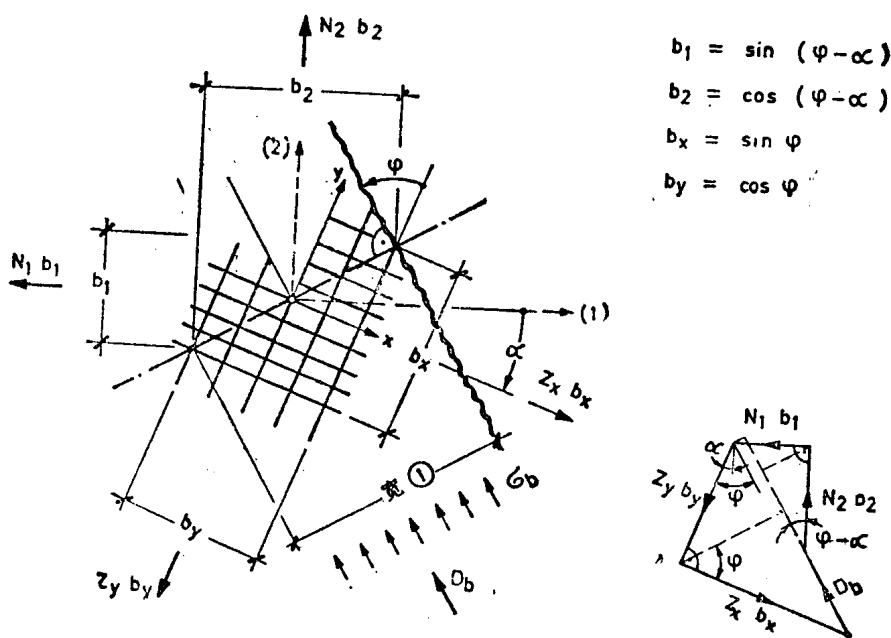


图 1.6 两条裂缝间压杆宽度为1时处于平衡状态的力及相应的力多边形（假定裂缝处的H为零）

$$\begin{aligned}
 Z_x &= N_1 \cos^2 \alpha (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi) + N_2 \sin^2 \alpha (1 - \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{tg} \varphi) \\
 Z_y &= N_1 \sin^2 \alpha (1 + \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{ctg} \varphi) + N_2 \cos^2 \alpha (1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \varphi)
 \end{aligned} \quad (1.3)$$

现在来分析与裂缝垂直的长度为1的截面（图1.6）。得出的力多边形也包括混凝土压力 D_b 。因为按（1.3）式 Z_x 和 Z_y 为已知，所以 D_b 可用下式表示：

$$D_b = -N_1 b_1 \sin(\varphi - \alpha) - N_2 b_2 \cos(\varphi - \alpha) + Z_x b_x \sin \varphi + Z_y b_y \cos \varphi$$

将（1.3）式的 Z_x 和 Z_y 及图1.6给出的宽度 b_1 至 b_y 代入上式，并进行三角变换即得

$$D_b = (N_1 - N_2) \frac{\sin 2\alpha}{\sin 2\varphi} \quad (1.4)$$

由(1.3)式和(1.4)式求内力之和, 则得另一个易于验算的方程,

$$Z_x + Z_y - D_b = N_1 + N_2 \quad (1.5)$$

1.2.2 钢筋受力保持在弹性范围内 ($\sigma_e < \beta_s$) 时的裂缝角度 φ

确定未知量 φ 既可用最小变形功原理也可用墙板单元内变形的相容条件。兹将两种方法分别介绍如下。

1.2.2.1 最小变形功方法

根据力学规定, 在不考虑压杆剪切变形和横向变形的情况下, 由弹性材料制成的构件的变形功为

$$A = \frac{E_c}{2} (\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_z^2) = \frac{1}{2E_c} (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2)$$

用相当于单位长度上的力和钢筋横截面面积的值, 则当体积为 $\mu_x d \cdot 1$ 或 $d \cdot 1$ 时, 有

$$A = \frac{Z_x^2}{2E_c \mu_x d} + \frac{Z_y^2}{2E_c \mu_y d} + \frac{D_b^2}{2E_b d}$$

为简化起见, 引入

$$\lambda = \frac{f_{ex}}{f_{ey}} = \frac{\mu_x}{\mu_y}, \quad \nu = \mu_x \cdot \frac{E_c}{E_b} = n \mu_x, \quad k = \frac{N_2}{N_1}$$

于是得

$$A \cdot 2E_c \mu_x d = Z_x^2 + \lambda Z_y^2 + \nu \cdot D_b^2 \quad (1.6)$$

上式右边每项都含有未知量 φ 角。若将(1.6)式对 φ 微分并令等于零, 则得最小变形功或 φ 的适当表达式, 即

$$\frac{\partial A}{\partial \varphi} \cdot 2E_c \mu_x d = 0 = 2 \frac{Z_x}{N_1} \frac{\partial \left(\frac{Z_x}{N_1} \right)}{\partial \varphi} + 2\lambda \frac{Z_y}{N_1} \frac{\partial \left(\frac{Z_y}{N_1} \right)}{\partial \varphi} + 2\nu \frac{D_b}{N_1} \frac{\partial \left(\frac{D_b}{N_1} \right)}{\partial \varphi} \quad (1.7)$$

用(1.3)式和(1.4)式可得微分系数为

$$\begin{aligned} \frac{\partial \left(\frac{Z_x}{N_1} \right)}{\partial \varphi} &= (1-k) \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{\cos^2 \varphi}, \quad \frac{\partial \left(\frac{Z_y}{N_1} \right)}{\partial \varphi} = (1-k) \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{\sin^2 \varphi}, \\ \frac{\partial \left(\frac{D_b}{N_1} \right)}{\partial \varphi} &= (1-k) \sin \alpha \cos \alpha \left(\frac{1}{\cos^2 \varphi} - \frac{1}{\sin^2 \varphi} \right) \end{aligned}$$

将这些值代入并除以共同的系数 $(1-k) 2 \sin \alpha \cos \alpha$, 则(1.7)式右边部分为

$$\frac{Z_x}{N_1} \cdot \frac{1}{\cos^2 \varphi} - \lambda \frac{Z_y}{N_1} \cdot \frac{1}{\sin^2 \varphi} + \nu \frac{D_b}{N_1} \left(\frac{1}{\cos^2 \varphi} - \frac{1}{\sin^2 \varphi} \right) = 0 \quad (1.8)$$

用 $\frac{N_1}{Z_x} \sin^2 \varphi$ 乘上式两端, 则得钢筋应力 σ_{ey} 和 σ_{ex} 比值的表达式为

$$\frac{\lambda Z_y}{Z_x} = \frac{\sigma_{ey}}{\sigma_{ex}} = \operatorname{tg}^2 \varphi + \nu \frac{D_b}{Z_x} (\operatorname{tg}^2 \varphi - 1)$$

或

$$\frac{\sigma_{ey}}{\sigma_{ex}} = \operatorname{tg}^2 \varphi \left[1 + \nu \frac{D_b}{Z_x} (1 - \operatorname{ctg}^2 \varphi) \right] \quad (1.9)$$

若用 $\cos^2 \varphi$ 乘 (1.8) 式, 则得

$$\frac{Z_x}{N_1} - \lambda \frac{Z_y}{N_1} \operatorname{ctg}^2 \varphi + \nu \frac{D_b}{N_1} (1 - \operatorname{ctg}^2 \varphi) = 0 \quad (1.10)$$

将 (1.3) 式和 (1.4) 式的 Z_x 、 Z_y 和 D_b 代入并经几次运算后, 得 φ 角的条件方程为

$$\begin{aligned} & \operatorname{ctg}^4 \varphi + \operatorname{ctg}^3 \varphi \frac{\operatorname{tg} \alpha + k \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{1 - k} - \operatorname{ctg} \varphi \frac{\operatorname{ctg} \alpha + k \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\lambda (1 - k)} - \frac{1}{\lambda} \\ & = \frac{\nu}{\lambda} (1 - \operatorname{ctg}^4 \varphi) \end{aligned} \quad (1.11)$$

满足上式的角用 φ_1 表示。在钢筋应力 σ_{ex} 和 σ_{ey} 小于 β_s 且不考虑混凝土抗拉的情况下, 此角产生最小变形功。若将 φ_1 代入 (1.3) 式和 (1.4) 式以代替 φ , 则得钢筋和混凝土的相应的力。

1.2.2.2 变形相容性法

若观察裂缝处的一段单位长度 1 并注出配筋的相应方向, 则出现图 1.7 中用实线表示的直角三角形。

压力 D_b 使混凝土条块的长度 “1” 缩短 $\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b}$, 同时使钢筋或三角形的勾伸长 $\varepsilon_x = \frac{\sigma_{ex}}{E_s}$ 和 $\varepsilon_y = \frac{\sigma_{ey}}{E_s}$ 。因为在裂缝处不应考虑剪力, 即不考虑与缝平行的位移, 所以由于变形而产生图 1.7 用虚线所示的三角形, 其边长可由几何关系得出。

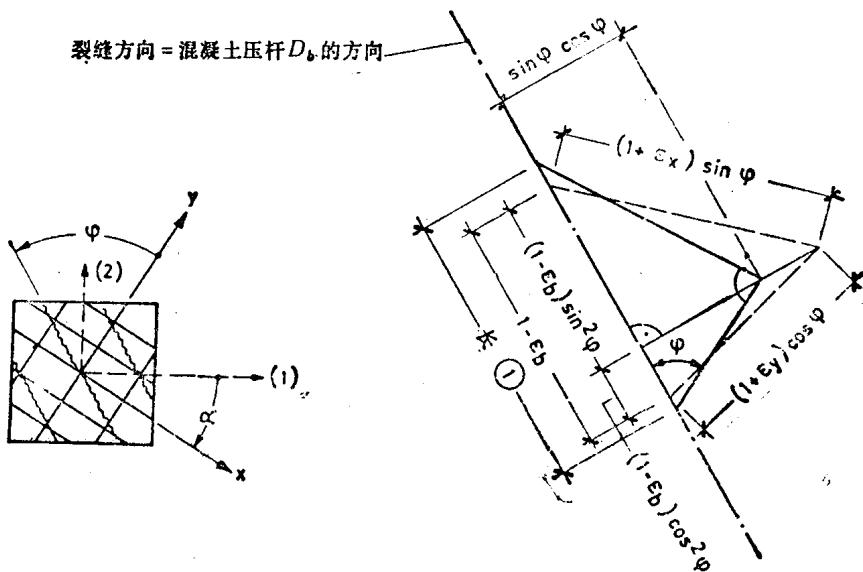


图 1.7 墙板单元的变形
(单位长度为 1 的压杆)

此处不考虑由混凝土共同作用所引起的钢筋应变的减小, 以及由混凝土收缩应变 ε_b 所引起的横向变形。

如果从三角形的两部分中得出相同的新的三角形, 则变形是相容的, 并可用下式来

