

微型机结构计算机软件系统

之三

高层建筑空间三维计算

叶学杰 李忠平 编

北京科技协作中心

计算机软件部

一九九二年五月

目 录

一	程序的计算模型假定及功能	2
二	计算方法	4
三	程序的内定条件	5
四	荷载及内力组合	6
五	程序编制依据	7
六	输入数据文件	17
七	配筋计算	34
八	计算结果的输出	36
九	程序的安装与运行	37
十	例 题	38

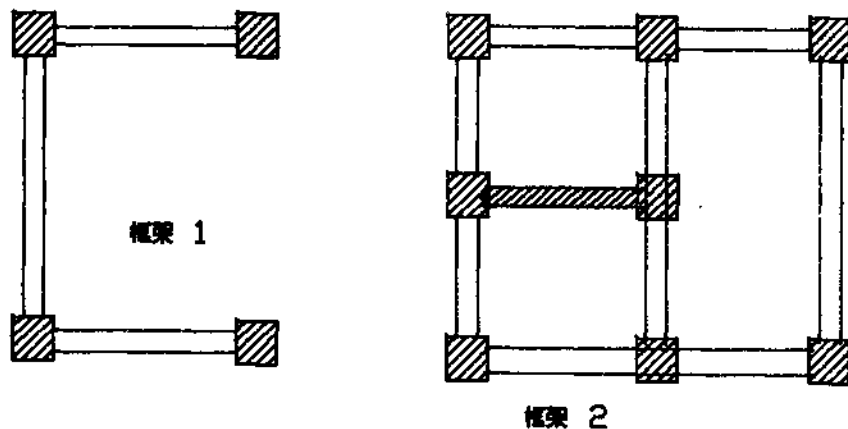
一 程序的计算模型假定及功能

本程序采用简化的空间三维分析模型，这种模型既能反映许多复杂形状建筑结构的空间受力状况，又简化了数据的输入量，提高了计算速度，该模型具体简化假定如下：

1 楼面在自身平面内为刚性楼板，即在楼面标高处的侧向力作用下，整个楼面仅产生自身平面内的 X 向， Y 向的刚性平移及绕竖向 Z 轴的刚性旋转，只有三个自由度。但允许楼板在不同位置的点产生不同的垂直方向的位移。

2 整个建筑结构可由若干榀框架或剪力墙组合而成，每榀框架或剪力墙均视为一个子结构，它们的位移通过楼板平面内的刚性连接而达到空间协同，但不同榀框架的公共柱的垂直位移是不协调的。

3 每榀框架假定为竖向规则的，对不规则的框架用虚梁，虚柱补齐，但每榀框架的平面形状可以是任意的，不局限于平面框架，如下图中的框架。



4 结构的每个节点有六个自由度(X , Y , Z 三个方向的平移和转动), 其中 X , Y 方向的平移及绕 Z 轴方向的转动由节点所在楼层的刚性假定转换为楼面处的自由度, 只有其余的三个自由度独立地贡献到总刚度矩阵中。

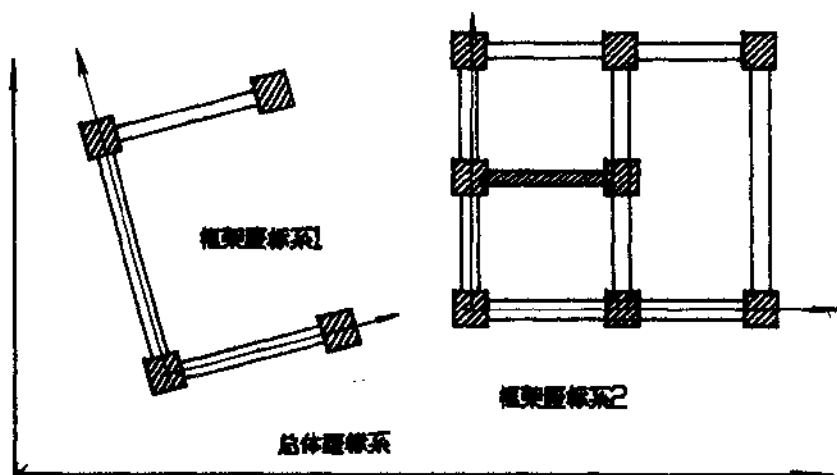
5 程序考虑四种单元: 梁单元、柱单元、板单元、斜杆单元, 柱单元的两端点各有 6 个自由度, 按三维分析考虑, 板单元有弯剪型和纯剪型两种, 按平面受力状况考虑, 斜杆单元为只受 轴向力的二力杆, 梁单元不计轴向变形的影响。

- 6 程序的功能 :
- 1) 可用于现浇钢筋混凝土的高层框架、框架剪力墙、剪力墙结构;
 - 2) 结构的平面可以是正交的或斜交的, 但各层的梁、各列柱必须是贯通的, 如不贯通, 须加虚杆补齐 ;
 - 3) 结构的最高层数为 50 层, 每榀类的榀架剪力墙体系的最多跨数为 300 , 柱列数最多为 180 , 梁、柱截面特性的不同种类数均不能超过 40 , 榀类总数不能超过 9 ;
 - 4) 完成结构在静载、活荷载、地震荷载作用下的内力、位移计算和梁、柱、剪力墙的配筋计算 ;

二、计算方法

为了节省内存空间，程序的计算分析基本上按层进行，依据位移法，逐层形成刚度矩阵，逐层迭代求解出位移与内力。

1 坐标系：程序设置三种坐标系，如图 2 所示



(1) 结构总体坐标系：

结构的总信息数据及层数据中的有关几何、水平荷载的数据均依据总体坐标系确定。

(2) 框架坐标系：

每榀框架均有自己的框架局部坐标系，框架数据均是依据本身的框架坐标系确定的。

(3) 杆系坐标系：

每个杆件的受力和几何特性均由自己的杆件坐标系确定。

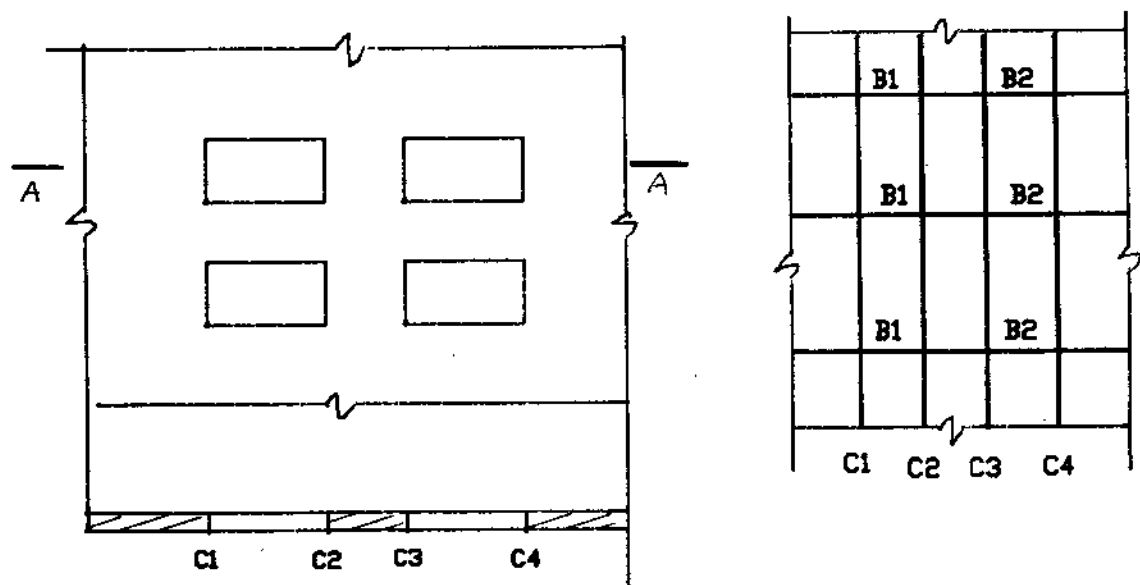
2 动力计算

(1) 由于假定楼面为刚性的，且将各载层的质量集中到各载层的质心处，这样将整个结构简化成曲轴的“框葫芦串”，大大简化了数据和计算的座模。

- (2) 采用平动与转动耦联的振型分解法
- (3) 对于正交及斜交的结构，均可由人工确定任意的地震波方向。
- (4) 各振型采用完全平方（即 CQC）组合，求得位移及内力。
- (5) 对于重要的建筑，也可输入加速度曲线，进行时程分析。

三 程序的内在条件

- 1 由于是按空间层模型进行计算，所以，不能计算错层结构。
- 2 剪力墙按板单元计算，单元内不能开孔，对于工程中经常出现的开孔剪力墙，需在洞口两边加虚柱，洞口间的实墙作为板单元考虑。如下图所示：



在洞口边加虚柱 $C1, C2, C3, C4$ ，虚柱的截面特性号 = $NCP + 1$ （也可以填 0）， NCP 为柱不同特性种数，为了保证位移的协调性，在剪力墙板所在墙内的楼层平面上，必须加解性梁（上图 $C3 - C4$ 墙内楼层处必需加刚性梁 $B1, B2$ ），刚性梁的截面

特性为 -2。

3 为了减少数据输入量，程序要求框架是规则的，不规则框架必需用虚梁、虚柱补齐。

4 柱子的计算长度，程序内定为：

顶层 1.25 H

其它各层 1.0 H

5 梁、柱自重由程序自动加入竖向荷载，剪力墙自重由用户按作用在刚性梁上的均布荷载输入。

6 输入梁上荷载时，所谓两根梁荷载相同，是指梁长相同，荷载的大小及位置都相同。

7 风荷载是作为作用在楼层处的水平集中荷载，组号分别为 4，5，即左风、右风，与楼层总体信息一同输入。

8 在计算楼层质量时，应包括全部自重和折减后的活荷载的重量。

9 计量单位：钢筋面积用 mm^2 ，长度用 M，惯性矩用 M^4 ，重力及集中荷载用 KN，分布荷载用 KN/M ，楼层质量用 KN，输出内力中的轴力、剪力用 KN，弯矩用 $\text{KN} \cdot \text{M}$ ，线位移用 M，角位移为弧度，周期的单位为秒；

四 荷载及内力组合

1 程序中考虑了两组竖向荷载（组号分别为 1，2），两组水平荷载（组号分别为 4，5）楼面活荷载按有关规范和规程采用，在内力计算时，不作最不利分布。

2 抗震设计时，考虑荷载效应与地震作用效应的分项系数按下列规定采用：

a: 进行承载力计算时，分项系数按下表取值：

作用分项系数

所考虑的组合	重力荷载	水平地震作用	竖向地震作用	风荷载	说 明
1 重力荷载	1.25	--	--	--	
2 重力荷载及水平地震作用	1.2	1.3	--	--	
3 重力荷载及竖向地震作用	1.2	--	1.3	--	9度抗震时考虑长悬臂8,9度时考虑
4 重力荷载及两向地震作用	1.2	1.3	0.5	--	同 上
5 重力荷载 水平地震及风	1.2	1.3	--	1.4	60 M 以上高层建筑才考虑
6 重力荷载 两向地震及风	1.2	1.3	0.5	1.4	

注 意：第 6 种组合是在建筑总高度超过 60 M，9 度抗震或长悬臂结构 8，9 度抗震时才考虑。

b: 进行位移计算时，全部分项系数取 1.0

c: 抗震设计时，风荷载组合系数取 0.2

五 程序编制依据

程序中的所有技术条件是按新的建筑结构荷载规范（GBJ 9 - 87），混凝土结构设计规范（GBJ 10 - 89），建筑抗震设计规范（GBJ 11 - 89），高层建筑结构设计与施工规程等有关规定进行编制。

一)、一般原则

内力与位移均按弹性计算，构件的承载力按下列公式计算：

$$\text{非抗震设计时 } \gamma_0 S \leq R$$

$$\text{抗震设计时 } S \leq R / \gamma_{RE}$$

S -- 荷载效应组合的设计值；

R -- 结构构件的承载力设计值；

γ_0 -- 结构构件的重要性系数，对安全等级为

一、二、三级的，分别为 1.1，1.0，0.9

γ_{RE} -- 抗震能力调整系数，取下表数值：

构件类别	梁	轴压比不大于 0.15的柱	轴压比大于 0.15的柱	剪力墙		各类 构件
受力状态	受弯	偏 压	偏 压	偏压	局部 承压	受剪 偏拉
γ_{RE}	0.75	0.75	0.8	0.85	1.0	0.85

当仅考虑竖向地震组合时，各类构件的承载力抗震调整系数均取 1.0。

二)、竖向地震作用的标准值按下列公式计算：

$$F_v = \alpha v_{\max} G_{eq}$$

$$F_{vi} = \frac{G_i H_i}{\sum G_j H_j} F_v$$

F_v -- 结构总竖向地震作用

G_{eq} -- 结构等效总重力荷载， $G_{eq} = 0.75 G_e$

G_e -- 计算地震作用时，结构总重力荷载代表值，按下列规定采用：

恒荷载 --- 取 100 %；

雪荷载 --- 取 50 %；

活荷载 按实际情况计算时取 100 %；按等效均布荷载时，书库、档案馆、库房取 80%，一般民用建筑取 50 %；

α_{vmax} -- 竖向地震影响系数的最大值，取 $0.65 \alpha_{max}$ ；

各楼层的竖向地震作用效应按各构件承受的重力荷载代表值比例分配。

三)、 框架柱

1 抗震设计时，框架柱在竖向荷载与地震荷载组合作用下，其轴压比宜满足下表的要求：

抗震等级	一	二	三
轴压比限值	0.7	0.8	0.9

程序运行时，对不满足上述要求的框架柱，给出提示。

2 框架柱的剪力设计值按下列规定计算：

A：非抗震设计剪力设计值取考虑水平荷载组合的剪力设计值；

B：抗震设计

$$\begin{aligned}
 \text{一级} \quad V_c &= 1.1 \frac{M_c^t + M_c^b}{H_{co}} \\
 \text{二级} \quad V_c &= 1.1 \frac{M_c^t + M_c^b}{H_{co}} \\
 \text{三级} \quad V_c &= \frac{M_c^t + M_c^b}{H_{co}}
 \end{aligned}$$

式中 V_c -- 柱的剪力设计值； h_{c0} -- 柱的净高；

M_c^t, M_c^b -- 考虑抗震等级的柱上、下端的弯矩设计值；

M_{cue}^t, M_{cue}^b -- 柱上、下端考虑承载力抗震调整系数的正截面

受弯承载力值，当上端取柱截面一侧钢筋为受拉钢筋时，下端取另一侧钢筋为受拉钢筋计算。对称配筋的矩形框架柱的 M_{cue} 按下式计算：

$$M_{cue} = (F_{cmk} * b_c * X (h_{c0} - 0.5 * X) + F_{yk}' * A_{s'} * (h_{c0} - a_{s'}) - N * (h_c / 2.0 - a_s)) / \gamma_{RE}$$
$$X = N / F_{cmk} / b_c$$

其中 b_c, h_c, h_{c0} --- 柱截面的宽度、高度、有效高度；

$A_s, A_{s'}$ --- 纵向受拉、受压钢筋实际面积；

F_{yk}, F_{yk}' --- 纵向受拉、受压钢筋的强度标准值；

F_{cmk} --- 混凝土弯曲受压强度标准值；

N --- 取重力荷载代表值的柱中轴向压力设计值；

X --- 受压区高度；

M_{cue}^t, M_{cue}^b 之和、 M_c^t, M_c^b 之和均取正反两个方向之和的较大值；

3 矩形截两框架柱，其截面应符合下列要求：

$$\begin{aligned} \text{非抗震设计 } V_c &\leq 0.25 F_c * b_c * h_{c0} \\ \text{抗震设计 } V_c &\leq 0.2 F_c * b_c * h_{c0} / \gamma_{RE} \end{aligned}$$

式中 V_c -- 框架柱剪力设计值；

4 框架柱斜截面受剪承载力按下列公式计算：

$$\text{非抗震设计 } V_c \leq \frac{0.2}{\lambda + 1.5} F_{cb} b_c h_{c0} + 1.25 F_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + 0.07 N$$

$$\text{抗震设计 } V_c \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(\frac{0.16}{\lambda + 1.5} F_{cb} h_{c0} + \right.$$

$$\left. + f_{yv} A_{sv} h_{c0} / s + 0.056 N \right)$$

式中 λ —— 框架柱计算剪跨比，取 $\lambda = H_{c0} / (2 \cdot h_{c0})$

当小于 1 时取 1，大于 3 时取 3；

N —— 考虑地震作用组合时框架柱轴向压力设计值，

当 $N > 0.3 f_c b_c h_{c0}$ 时，取 $N = 0.3 f_c b_c h_{c0}$ ；

当框架柱轴力出现拉力时，其斜截面受剪承载力按下列公式计算：

非抗震设计：

$$V_c \leq 0.2 / (\lambda + 1.5) f_c b_c h_{c0} + 1.25 f_{yv} A_{sv} h_{c0} / s - 0.2 N$$

且公式右端计算值不小于 $1.25 f_{yv} A_{sv} h_{c0} / s$ ；

抗震设计：

$$V_c \leq (0.16 f_c b_c h_{c0} / (\lambda + 0.15) + f_{yv} A_{sv} h_{c0} / s - 0.16 N) / \gamma_{RE}$$

且公式右端计算值不小于 $f_{yv} A_{sv} h_{c0} / s / \gamma_{RE}$ ；

式中 N —— 考虑地震作用组合时框架柱轴向拉力设计值；

四)、 框架梁

1 矩形、T形、工字形截面的框架梁，其截面应符合下列要求：

$$\text{非抗震设计 } V_b \leq 0.25 f_c b_b h_{b0}$$

抗震设计 一、二、三级

$$V_b \leq (0.20 f_c b_b h_{b0}) / \gamma_{RE} ;$$

V_b -- 框架梁的剪力设计值

2 框架梁的剪力设计值，按下列规定计算：

A：非抗震设计时取考虑水平荷载组合的剪力设计值；

B：抗震设计

$$\text{一级 } V_b = 1.05 (M_b^l + M_b^r) / l_n + V_{gb}$$

$$\text{二级 } V_b = 1.05 (M_b^l + M_b^r) / l_n + V_{gb}$$

$$\text{三级 } V_b = (M_b^l + M_b^r) / l_n + V_{gb}$$

式中 M_b^l ， M_b^r --- 框架梁左、右端考虑承载力抗震调整系数的正截面受弯承载力值，当一端取上部纵向钢筋作为受拉钢筋计算时，则另一端应取下部纵向钢筋作为受拉钢筋进行计算。

M_{bue} 按下式计算：

$$M_{bue} = f_{yk} A_s (h_{b0} - a_s') / \gamma_{RE}$$

f_{yk} -- 受拉钢筋强度标准值；

A_s -- 受拉钢筋实际截面面积；

M_b ， M_b -- 考虑地震作用组合时，框架梁左、右端弯矩设计值；

l_n --- 梁的净跨；

V_{gb} -- 在与地震作用组合时的竖向荷载作用下，按简支梁计算的剪力，当考虑竖向地震作用组合时，竖向地震作用产生的剪力应包括在内；

M_b^l ， M_b^r 之和取分别按两个方向计算的最大值；

3 框架梁的混凝土受压区高度应符合下列规定：

非抗震设计 $x \leq \xi_b h_{b0}$ ；

ξ_b 为受拉钢筋和受压区混凝土同时达到其设计强度时的界限

相对受压区高度比；

抗震设计

一级 $x \leq 0.25 h_{bo}$ ；

二级 $x \leq 0.35 h_{bo}$ ；

4 矩形、T型、工字形截面框架梁，其斜截面受剪承载力按下式计算：

非抗震设计

$$V_b \leq 0.07 f_c b_b h_{bo} + 1.5 f_{yv} A_{sv} / s h_{bo}$$

抗震设计

$$V_v \leq (0.056 f_c b_b h_{bo} + 1.2 f_{yv} A_{sv} / s h_{bo}) / \gamma_{RE}$$

5 抗震设计的框架节点，其截面应符合下列要求：

$$V_j \leq (0.3 \eta_j f_c b_j h_j) / \gamma_{RE}$$

式中 b_j ， h_j 分别为框架节点的有效宽度、有效高度，当梁柱轴线重合时，取 $b_j = b_c$ ， $h_j = h_c$ ， b_c ， h_c 分别为框架柱的宽度和高度，当梁柱轴线有偏心距 e_o 时， e_o 不宜大于 $1/4$ 柱宽，此时应符合下列要求：

$$b_j \leq 0.5 b_c + 0.5 B_b + 0.25 h_c - e_o$$

η_j --- 节点约束系数；

V_j --- 节点剪力设计值；

一、二级框架的节点应进行受剪承载力计算，三、四级和非抗震设计的框架节点可不进行承载力计算；

框架节点的受剪承载力按下式进行计算：

$$V_j \leq ((0.1 + 0.1 N / (f_c h_b b_c)) \eta_j f_c b_j h_j + f_{yv} A_{sv} (h_{bo} - a_s') / s) / \gamma_{RE}$$

N --- 上柱底部考虑地震作用组合时的轴向压力设计值，

当 N 大于 $0.5 f_c b_c h_{c0}$ 时，取 $N = 0.5 f_c b_c h_{c0}$ ；

抗震设计时，框架节点的剪力设计值按下列规定计算：

A 一 级

中柱节点

$$V_j = 1.5 \frac{M_{bue}^l + M_{bue}^r}{h_{b0} - a_s'} \left(1 - \frac{h_{b0} - a_s'}{H_c - h_b} \right)$$

边、角柱节点

$$V_j = 1.05 \frac{M_{bue}}{h_{b0} - a_s'} \left(1 - \frac{h_{b0} - a_s'}{H_c - h_b} \right)$$

顶层中柱节点

$$V_j = 1.05 \frac{M_{bue}^l + M_{bue}^r}{h_{b0} - a_s'}$$

顶层边、角柱节点

$$V_j = 1.05 \frac{M_{bue}}{h_{b0} - a_s'}$$

B 二 级

中柱节点

$$v_j = 1.05 \frac{M_b^l + M_b^r}{h_{b0} - a_s'} \left(1 - \frac{h_{b0} - a_s'}{H_c - h_b} \right)$$

顶层中柱节点

$$V_j = 1.05 \frac{M_b^L + M_b^R}{h_{b0} - a_s'}$$

边、角柱节点计算与一级抗震时相同；

M_b^L , M_b^R --- 分别为节点左、右侧梁端的弯矩设计值；

M_{bue}^L , M_{bue}^R --- 分别为节点两侧梁端考虑承载力抗震

调整系数的正截面受弯承载力；

H_c --- 节点上、下反弯点之间的距离；

h_{b0} , h_b --- 分别为梁截面有效高度和截面宽度，当

节点两侧的梁高不等时，取平均值；

五) 剪力墙设计

1 剪力墙的截面应符合下列要求：

非抗震设计 $V_w \leq 0.25 f_c b_w h_w$ ；

抗震设计 $V_w \leq (0.2 f_c b_w h_w) / \gamma_{RE}$ ；

V_w --- 剪力墙的剪力设计值；

b_w , h_w --- 截面的宽度和高度；

2 剪力墙的剪力设计值按下式计算：

A 底部加强区范围内

非抗震设计时，取考虑水平荷载组合的剪力设计值；

抗震设计：

一级 $V_w = 1.1 M_{wue} / M_w V$

二级 $V_w = 1.1 V$

B 其它部位均取 $V_w = V$

式中 M_{wue} --- 剪力墙考虑承载力抗震调整系数的正截面受弯承载力，
 M_w --- 考虑地震作用组合的剪力墙计算部位的弯矩设计值，
 V --- 考虑地震作用的剪力墙计算部位的剪力值；

3 偏心受压剪力墙，其斜截面受剪承载力按下列公式计算：

非抗震设计

$$V_w \leq \frac{1}{\lambda - 0.5} (0.05 f_c b_w h_{w0} + 0.13 N \frac{A_w}{A}) + f_{yh} A_{sh} / s h_{w0}$$

抗震设计

$$V_w \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(\frac{1}{\lambda - 0.5} (0.04 f_c b_w h_{w0} + 0.1 N \frac{A_w}{A}) + 0.8 f_{yh} A_{sh} h_{w0} / s \right)$$

式中 N -- 考虑地震作用组合时，剪力墙的轴向压力设计值，当 N 大于 $0.2 f_c b_w h_w$ 时，取 $N = 0.2 f_c b_w h_w$ ；

A -- 剪力墙截面面积；

A_w -- T 形或工字形剪力墙腹板的面积，矩形截面时取 $A_w = A$ ；

s -- 剪力墙水平分布钢筋间距；

4 偏心受拉剪力墙，其斜截面受剪承载力按下列公式计算：

非抗震设计

$$V_w \leq \frac{1}{\lambda - 0.5} (0.05 f_c b_w h_{w0} - 0.13 N \frac{A_w}{A} + f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0})$$