

# 不埋板式基础抗震性能的探讨

季进彬

(土木工程系)

## 摘 要

本文概述了不埋板式(浮筏)基础特点,指出由于其抗震性能被怀疑而影响到应用和推广,并从地基刚度、抵抗总水平地震荷载能力和基底滑移减震效应等三方面探讨其抗震性能,说明不埋板式基础的抗震能力可以信赖,并提出增强其抗震性能的建议。

## 一、不埋板式基础概述

不埋板式基础施工程序是建筑场地清理整平、布置排水设施、用压路机碾压地基、预埋上下水管道、浇筑混凝土垫层、布筋、浇筑基础板。具有不开基槽、不挖土方、平地施工、室内地坪与板式基础结合(基础浮置于地表,没有埋置深度)、构造简单、施工方便等特点。与条形基础比较,其基底面积大、平均接触压力小、整体性好、抵抗不均匀沉降能力强。不埋板式基础主要适用于软弱土地基上整体刚度较好的住宅、民用建筑。特别是对于需要处理的“硬壳层”较薄的软土地基更显出节约造价、节约建材和劳力、争取时间的现实意义。10多年来,在南京等地采用较多;近年来,在泉州由省五建首次采用不埋板式基础,已成功设计 and 施工了几幢多层砖混住宅。多层砖房量大面广,软弱土地基分布广泛,不埋板式基础本应具有强大生命力,但在其应用和推广过程中遇到一个急待研究的课题——不埋板式基础的抗震性能如何?

## 二、不埋板式基础抗震性能问题的提出

人们普遍承认,基础的埋深效应能够增加整个结构体系的刚度,使其周期变短、位移减少、震害减轻。多层砖房是由纵、横墙和楼盖构成的空间整体“盒子”型结构,下部联接比较厚实,并有相当埋深的条形基础。然而在国内外历次强烈地震中,其破坏和倒塌的比率仍然非常高。而不埋板式基础浮置在地表,毫无埋深效应可资利用,对其抗震性能提出疑问是可以理解的。如此疑虑和认识不一,严重地影响了这种新型基础在地震区的推广。例如泉州市,软弱土地基上的5、6层砖混住宅普遍采用桩基,有的桩长20多米,直至基岩,浪费惊

本文1987年6月1日收到。

人。所以对于不埋板式基础抗震性能问题的探讨显得十分迫切。

本文以软弱地基上多层砖房下的不埋板式基础为分析对象,主要从地基刚度、抵抗总水平地震荷载能力及基底滑移效应等三个方面初步探讨不埋板式基础的抗震性能。

### 三、不埋板式基础下的地基刚度

首先将不埋板式基础下的地基刚度与条形基础及片筏基础下的地基刚度进行分析 和 比较。

天然地基的抗压、抗弯、抗剪刚度可由下列公式计算<sup>[1]</sup>:

$$K_z = C_z F \quad (1)$$

$$K_\varphi = C_\varphi I \quad (2)$$

$$K_x = C_x F \quad (3)$$

式中,  $K_z$ 、 $K_\varphi$ 、 $K_x$  分别为天然地基的抗压、抗弯、抗剪刚度;  $C_z$ 、 $C_\varphi$ 、 $C_x$  分别为天然地基的抗压、抗弯、抗剪刚度系数;  $F$ 、 $I$  分别为基础底面积、基础底面通过其形心主 轴 的抗弯惯性矩。

相同地基条件、不同基底宽度,地基刚度系数可能会有差异,作 初 步分析比较,可近似视为相同。假设不埋板式基础底面积和形状与片筏基础相同,则两者的天然地基刚度也相同;假设条形基础的底面积和宽度分别为不埋板式基础的1/10和1/5,由式(1)、(2)、(3)可知,不埋板式基础下天然地基的抗压、抗剪刚度为条形基础下的10倍,而抗弯刚度比条形基础下的大100倍以上(若考虑相邻条形基础的影响,条形基础下的天然地基刚度会有所提高)。基础埋深会提高地基刚度,提高后的地基刚度可按下列公式计算<sup>[1]</sup>:

$$K'_z = \alpha_z K_z \quad (4)$$

$$K'_\varphi = \alpha_{\varphi\varphi} K_\varphi \quad (5)$$

$$K'_x = \alpha_{x\varphi} K_x \quad (6)$$

$$\alpha_z = (1 + 0.4\delta_b)^2 \quad (7)$$

$$\alpha_{\varphi\varphi} = (1 + 1.2\delta_b)^2 \quad (8)$$

式中,  $K'_z$ 、 $K'_\varphi$ 、 $K'_x$  分别为考虑基础埋深对地基刚度的提高作用后的抗压、抗弯、抗剪刚度;  $\alpha_z$  为抗压刚度的提高系数;  $\alpha_{\varphi\varphi}$  为抗剪、抗弯刚度的提高系数;  $\delta_b$  为基础埋深比,

$\delta_b = \frac{h_i}{\sqrt{F}}$ , 当  $\delta_b > 0.6$  时应取  $\delta_b = 0.6$ ,  $h_i$  为基础的埋置深度。

对于淤泥和淤泥质地基土,应将式(7)、(8)中  $\delta_b$  的系数0.4和1.2分别改用0.2和0.5。

设条形基础的埋深比  $\delta_b = 0.6$ , 片筏基础的埋深比  $\delta_b = 0.1$ , 代入式(7)、(8), 计算后得

条形基础:  $\alpha_z = 1.25-1.54$ ;  $\alpha_{x\varphi} = 1.69-2.96$

片筏基础:  $\alpha_z = 1.01-1.08$ ;  $\alpha_{x\varphi} = 1.10-1.25$

刚度提高系数上限值对应于基础周围的土体和地基土为同一粘土、亚粘土、轻亚粘土或砂土,且地基土的容许承载力  $[R] \leq 35t \cdot m^{-2}$  及基础周围的土与地基土的容重比不小于0.85的情况;刚度提高系数下限值对应于淤泥和淤泥质地基土。

考虑基础埋深对地基刚度的提高作用,条形基础下的地基抗压刚度最多增加50%左右;抗剪、抗弯刚度最多增加两倍以上;当基础埋深比  $\delta_b = 0.1$  时,片筏基础下地基刚度增加量一般不超过25%。

综上所述,尽管不埋板式基础没有埋深效应,但其下的地基刚度还是比条形基础下的地基刚度大,因此,在地震作用下不埋板式基础下的地基强度和稳定性比条形基础下的地基优越。

再就基础本身的刚度而言,可认为不埋板式基础和条形基础较接近,因上述两者地基的差异,使得采用不埋板式基础的整个结构体系(包括上部结构和地基基础)的刚度比采用条形基础的大。

可见关于“不埋板式基础由于浮置在地表,其下的地基刚度比条形基础下的地基刚度低,整个结构体系的刚度遭到削弱,因此会增加震害”的疑虑是没有必要的。

至于不埋板式基础的地基刚度比考虑埋深效应后的片筏基础的地基刚度低,从国内外有关研究成果及一些调研资料分析,可能利多弊少。事实上,在裂损的房屋中,采用片筏基础比条形基础反而更多,其原因尚处研究阶段。美国ACI436委员会在文[2]指出:计算表明,建筑物的基础与上部结构的总刚度与地基的刚度之比 $K_z$ (称为相对刚度)增加时,沉降差将迅速减小;当 $K_z = 0$ 时,沉降差与总沉降之比,对条形基础为0.5,对方形基础为0.35;当 $K_z = 0.5$ 时,沉降差与总沉降之比为0.1。由此可见,片筏基础房屋的裂损原因之一是它的相对刚度不足。因为片筏基础的底面积很大,加上埋深效应,地基刚度很大,使其相对刚度降低。基于这种观点,不埋板式基础由于没有埋深效应,其地基刚度比片筏基础低,而相对刚度可能比片筏基础高,正好弥补片筏基础因相对刚度不足而引起的弊端。

#### 四、不埋板式基础抵抗总水平地震荷载的能力

根据《工业与民用建筑抗震设计规范TJ11-78》<sup>[3]</sup>,多层砖房结构底部剪力(即总水平地震荷载)为

$$Q_0 = C\alpha_1 W \quad (9)$$

式中, $C$ 为结构影响系数,取 $C = 0.45$ ;  $\alpha_1$ 为地震影响系数,取 $\alpha_1 = \alpha_{max}$ ;  $\alpha_{max}$ 为地震影响系数的最大值。当设计烈度为7、8、9度时, $\alpha_{max}$ 分别取0.23、0.45、0.90;相应的 $C\alpha_1$ 值分别为0.1035、0.2025、0.405;  $W$ 为产生地震荷载的建筑物总重量。

地基表层土往往是一般粘性土、房碴填土或素填土,与基础板之间的水平摩擦系数一般均可达0.25。由此而产生的基底摩擦力可抵抗设计烈度为8度的总水平地震荷载(理论上)。一般说来,设计烈度为7度的总水平地震荷载由不埋板式基础底面与地基之间的摩擦力来承担是足够的,用不着靠基础埋深所提供的基础侧面土体的水平抗力和摩擦力来分担总水平地震荷载。

多层砖房由于砌体材料的抗拉、抗剪、抗弯强度低、延性差、自重大等缺点,使得砌体结构不可能产生大变形来减小地震力,也不可能依靠材料的延性吸收已进入结构中的地震内力,并因弹性应变能的积累,使结构具有很大的动能,万一结构的自振周期接近地面的卓越周期,还可能发生“类共振”现象,导致房屋的毁坏。故单纯追求把房屋设计得更刚强,或盲目加大基础埋深,或盲目加大地基基础刚度,是不全面的,也是不经济的,有时甚至适得

其反。因为地基基础刚度过大,地震的能量可能会毫无减少地输入上部结构。例如1960年,美国阿拉斯加地震,有的桩基虽未破坏,但其上的建筑物却完全破坏了。因此,以减小地震的作用来防止强烈地震引起结构破坏,成为抗震设计的方法之一。

## 五、不埋板式基础滑动减震效应的初步探讨<sup>[4]</sup>

由于多层砖房的刚度大,可近似地视为刚体,总重量为 $W$ ,基底与地基土之间的摩擦系数为 $f$ ,当地表作水平震动时,地基作用在基底上的水平摩擦力为 $F$ ,按库伦定律:

$$F \leq f \cdot W \quad (10)$$

当地表地震加速度 $a < fg$ 时,房屋将随地面一起运动,这时 $F = Wa/g$ ,且 $F < fW$ ,其中 $g$ 为重力加速度;当 $a = fg$ 时,房屋将对地面发生相对滑动,且 $F = fW$ 。无论遇到多大烈度的地震,通过不埋板式基础底面传到上部结构的水平地震荷载都不会比 $F_{max} = fW$ 更大。只要控制摩擦系数 $f$ 的大小就可限制地面传入房屋的的水平地震力的大小。房屋各层的最大加速度为

$$a_{max} = fm_g/m = fg$$

作用在房屋第 $i$ 载面的水平地震力为

$$Q_i = m_i a_{max} = m_i fg = W_i f$$

其中 $m_i$ 和 $W_i$ 分别为房屋第 $i$ 载面以上部分的总质量和总重量。如果控制 $f$ 值使其远远小于房屋砌体之间的摩擦系数,则第 $i$ 载面的水平抗力大于水平地震力 $Q_i$ 。就是说,不埋板式基础的滑移,可以用来保护或减轻其上部砌体不受过大地震力的破坏。

在房屋的底部和基础间设置减震缝早就有人提出过,但是那种专门设置的水平通缝与不埋板式基础下的滑移面比较有如下几个缺点:基础和上部结构的连接被切断,削弱了结构的整体性;减震缝上下必须设置闭合式钢筋混凝土圈梁和地梁;减震缝以下的基础各边必须按最大滑移值加宽;承重墙接触压力远远大于基底接触压力,对减震缝中的滑动材料的耐压要求较高。利用基底滑移减震会比其它有埋深的基础型式更为有效,这是不埋板式基础抗震性能的特点。

为了发挥其滑移减震效应,笔者建议要做到下述几点:场地须经详细工程地质勘察;地表生活垃圾、排植土等应消除干净,碾压过程中发现弹簧现象时应局部挖除,换以中、粗砂继续碾压,8—12t压路机至少纵横各压三遍,碾压范围应比基础范围扩大2m以上;在压实的地面铺一层粗砂或中砂、厚度大于10cm,碾压几遍、力求砂面水平;混凝土垫层厚度大于10cm,标号高于100号,表面必须水平;在高烈度地震区,在混凝土垫层上铺设滑动材料,应按地震作用下滑移反应分析计算确定的摩擦系数来选用滑动材料;按构造要求设置侧边挡板,外侧宜作排水沟边墙;上下水管道预埋件应注意防止滑移时不被破坏;基底接触压力分布、基础沉降挠曲及内力宜按弹性地基上梁或板的分析方法计算确定;布置沉降和滑移观测设备并注意定期观测记录。

## 六、结 论

软弱地基上多层砖房下的不埋板式基础虽然没有埋深效应,但地基刚度仍然比条形基础大;基底摩擦力可以抵抗设计烈度为7度的总水平地震荷载;利用基础的滑移减震作用,把水平地震力控制在结构强度允许的范围之内,可以大大减轻高烈度地震时的震害。只要精心设计精心施工,不埋板式基础的抗震能力完全可以信赖。

## 参 考 文 献

- 〔1〕第一机械工业部主编,动力机器基础设计规范GBJ 40-79(试行),中国建筑工业出版社,(1980).
- 〔2〕ACI Committee 436, Suggested Design Procedures for Combined Footings and Mats—Journal American Concrete Institute, 63, October, (1966).
- 〔3〕国家建委建筑科学研究院主编,工业与民用建筑抗震设计规范TJ11-78,中国建筑工业出版社,(1979).
- 〔4〕冶金部建筑研究总院等编,地基与工业建筑抗震,地震出版社,(1984).

## The Earthquake Proof Properties of Floating Foundation

Ji Jinbin

### Abstract

This paper makes an approach to the earthquake proof properties of floating foundation. It approaches from various angles: from foundation rigidity; from bearing capacity against total seismic shear; and from foundation base slip damping effect. It is concluded that aseismatic capacity of floating foundation is trusted and merits attention.

Some proposals for strengthening aseismatic capacity of floating foundation are presented.