

带限位钢棒隔震橡胶垫基本特性研究

崔艺斌 张富有

(河海大学岩土工程研究所 ,江苏 南京 210098)

摘要 :介绍了带限位钢棒夹层橡胶支座的工作原理 ,分析了其力学模型 ,提出了“ 三线型 ”恢复力模型 ,并给出了恢复力表达式 .分析结果表明 ,该支座在普通橡胶垫中心位置设置限位软钢棒 ,不但可以解决小震作用下橡胶支座-限位钢棒体系隔震作用不明显的问题 ,而且软钢棒能够限制大震作用下隔震层的水平位移 ,从而可防止上部结构倾覆 ,保证上部结构的安全 .

关键词 :带限位钢棒夹层橡胶支座 ;基础隔震 ;三线型 ;双线性

中图分类号 :TU352.1 文献标识码 :A 文章编号 :1000-198X(2007)03-0302-03

隔震层通常具有较大的竖向刚度和较小的水平向刚度 ,竖向刚度用来支撑上部结构自重 ,由于水平刚度小 ,建筑物自振周期延长 ,避开了地震卓越周期 ,从而可以大大降低结构地震反应^[1-2] .目前应用较为广泛的隔震支座是夹层橡胶隔震支座、铅芯橡胶隔震支座和摩擦滑移隔震支座 .国内外也已建成大量隔震建筑^[3] .但是由这些支座组成的隔震体系在罕遇地震作用下 ,隔震层会产生很大的水平位移 ,而致使上部结构发生倾覆失稳 ,可靠性不高 .本文研究的带限位钢棒的夹层橡胶隔震支座 ,不但在较小地震作用时具有良好的隔震特性 ,而且在罕遇地震作用下由于限位钢棒发挥作用 ,从而能够有效限制隔震层的水平位移 .

隔震层的设计要求是既要使结构在多遇地震作用下减震幅度尽可能大 ,又要使隔震层在罕遇地震作用下的最大侧移尽量小 .对于普通的铅心橡胶隔震垫 ,要减小最大侧移量就会牺牲部分隔震效果 ,而对于纯橡胶隔震支座 ,若要保证在大震时不发生倾覆 ,就要加大橡胶支座截面积 .本文研究的带限位钢棒夹层橡胶隔震垫可以很好地解决上述问题 .对于带限位钢棒的夹层橡胶隔震垫而言 ,在多遇地震作用下 ,摩擦滑移支座屈服而钢棒不起作用 ,在罕遇地震作用下 ,为限制摩擦滑移支座屈服后隔震层位移的增加及减小残留位移 ,钢棒发挥作用 ,达到限位与提供恢复力的作用 .

1 带限位钢棒的夹层橡胶隔震支座构造及工作原理

图 1 为带限位钢棒的夹层橡胶支座示意图^[4] .橡胶隔震垫的内孔壁设置一层缓冲保护橡胶 ,在橡胶隔震垫内孔中插入软钢棒 ,钢棒由下向上做成渐变形式 ,并与橡胶隔震垫的内孔之间留有适度的空间 .钢棒底部直径为 d_1 ,顶部直径为 d_2 ,顶部上端做成球冠状 ,并与顶部钢板留有缝隙 t ,这样做的主要目的是为防止隔震垫受压后产生竖向位移而使隔震垫的顶板接触钢棒 ,以致钢棒不能发挥有效的限位作用 .一般隔震垫在正常使用荷载下的竖向位移为 $2 \sim 3 \text{ mm}$,故取 $t = 5 \text{ mm}$,在钢棒底部支点处 ,钢棒和钢板用套丝连接 ,钢棒旋入钢板后再焊接牢固 .

在多遇水平地震作用下 ,由于隔震垫的内孔壁和钢棒之间存在间隙 ,隔震层水平位移小于该间隙时钢棒不起作用 ,隔震建

筑可获得相对较大的自振周期 ,从而取得较好的减震效果 .在罕遇水平地震作用下 ,隔震层水平位移大于隔

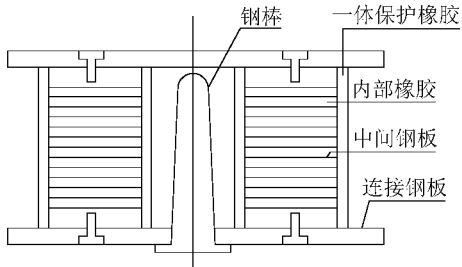


图 1 限位钢棒夹层橡胶支座基本构造

Fig.1 Structure of a rubber bearing with a steel bar

震垫内孔壁和钢棒间的间隙时,钢棒与内孔壁的缓冲保护橡胶层接触,钢棒受力弯曲,成为悬臂弯曲构件并提供阻尼力.隔震垫内孔壁与钢棒间的间隙可根据隔震层在多遇水平地震作用下设计的最大水平位移取值.钢棒做成变截面,有利于分散变形,也有利于在满足一定空隙要求的前提下减小橡胶垫中孔的直径.为减小钢棒与隔震垫碰撞时上部结构的高频反应,在隔震垫内孔壁设置一层缓冲保护橡胶,使钢棒与隔震垫的碰撞类似于软碰撞^[5].

2 恢复力曲线及其力学模型

在多遇地震荷载作用下,其恢复力模型通常为双线性模型^[6],如图 2 所示.而在罕遇地震作用下,当位移大于某一值后,带限位钢棒夹层橡胶支座中的软钢棒发挥作用,此时隔震层恢复力曲线为摩擦滑移隔震支座、阻尼器及钢棒三者作用的和,总体表现为“三线性”,如图 3 所示.

由包括带限位钢棒夹层橡胶支座组成的

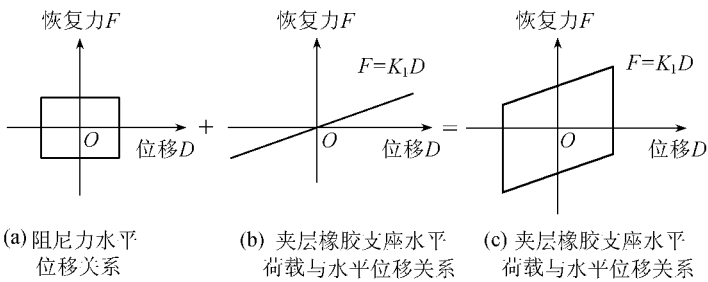


图 2 双线性恢复力曲线

Fig.2 Curve of bilinear restoring force

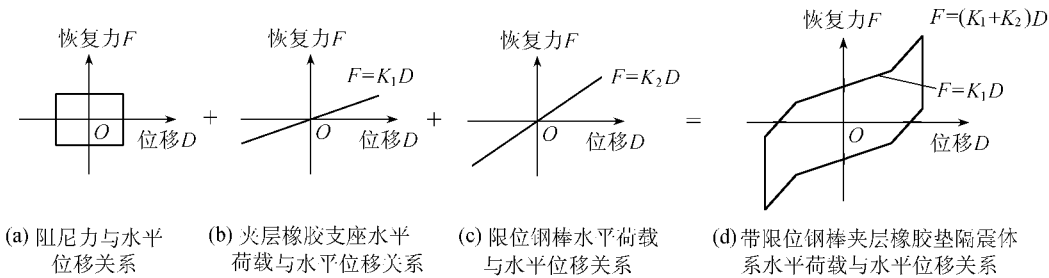


图 3 三线性恢复力曲线

Fig.3 Curve of tri-linear restoring force

并联基础隔震体系在罕遇地震作用下恢复力曲线变化过程为:初始阶段摩擦力没有达到最大静摩擦力前,此时位移 D 很小,约 0.2 mm ,刚度近似为无穷大;当摩擦支座屈服后上下摩擦面发生相对滑动,这时夹层橡胶支座也产生变形,摩擦支座刚度在滑动后视为 0 ,此时水平刚度即为夹层橡胶垫的水平刚度 K_1 ,隔震层变形继续发展,当达到较大变形时,带限位钢棒夹层橡胶支座的内部保护橡胶与支座内部钢棒接触,钢棒产生变形,限制位移的继续发展,此时水平刚度为夹层橡胶垫刚度与限位钢棒刚度之和 $K_1 + K_2$.所以在罕遇地震作用下,基于“三线性”的并联基础隔震参数的计算要比双线性复杂.

三线性恢复力模型恢复力计算公式

$$F = \begin{cases} K_s x_b & (|x_b| \leq 0.2\text{ mm}) \\ Q_s \operatorname{sgn}(\dot{x}_b) + K_1 x_b & (0.2\text{ mm} \leq |x_b| \leq D_l) \\ Q_s \operatorname{sgn}(\dot{x}_b) + K_1 D_l + (K_1 + K_2)(|x_b| - D_l) \operatorname{sgn}(x_b) & (D_l \leq |x_b| \leq D_{\max}) \end{cases}$$

式中: Q_s ——摩擦滑移支座屈服力; x_b ——隔震层水平位移; $\dot{x}_b$ ——隔震层水平速度; D_l ——支座内限位钢棒与内侧橡胶间距; $D_{\max}$ ——隔震层最大水平位移; K_1, K_2 ——夹层橡胶垫水平刚度和限位软钢棒水平刚度; K_s ——摩擦滑移隔震支座的刚度,在摩擦滑移隔震支座未滑动时,可以认为水平刚度 K_s 很大,滑移后水平刚度接近于零.

3 对比分析

带限位钢棒橡胶隔震支座与普通的夹层橡胶支座-限位钢棒隔震体系^[7]相比,有着共同的设计思想:夹层橡胶垫具有较小的水平刚度,能够起到隔绝地震动向上部结构传播的作用,钢棒的作用主要是限制隔震层的水平位移,钢棒通过塑性变形还可以起到阻尼器的作用.

对于普通的夹层橡胶支座-限位钢棒隔震体系^[8],由于钢棒的刚度较大,在较大水平力作用下才能达到

屈服,故在小震作用下会对隔震效果有较大的影响,但若将钢棒刚度减小,则在大震作用下就不能起到限位的作用,甚至会因为位移过大而发生断裂破坏,使上部结构完全失去保护.而在带限位钢棒夹层橡胶垫构成的隔震体系中,环状橡胶支座的独特构造使得在一般情况下橡胶与钢棒脱离,在小震作用下钢棒不起作用,水平刚度就是夹层橡胶垫的水平刚度,由于夹层橡胶垫水平刚度小,从而起到了在小震作用下较好的隔震效果.在罕遇地震作用下,由于位移较大,钢棒与橡胶垫接触,限制了水平位移的发展.此时所起的作用与普通橡胶-限位钢棒隔震体系相同.带限位钢棒夹层橡胶垫隔震支座能够有效地隔绝微小震动向上部结构的传播,隔震范围较宽.

4 结 论

- a. 采用带限位钢棒夹层橡胶垫组成的并联基础隔震体系,可以对小型地震或罕遇地震起到较好的隔震作用.
- b. 支座内侧设缓冲保护橡胶,钢棒采用软钢棒能够有效降低钢棒和橡胶碰撞时引起上部结构的高频反应.
- c. 在进行带限位钢棒夹层橡胶支座所组成的并联基础隔震体系地震反应分析时,隔震层可采用“三线性”恢复力模型.

参考文献:

[1] 张富有.基础隔震的可靠度及串、并联隔震的研究[D].南京:东南大学,2003.
[2] 唐家祥,刘再华.建筑结构基础隔震[M].武汉:华中理工大学出版社,1993:2-6.
[3] 王亚勇,戴国莹.建筑抗震设计规范算例[M].北京:中国建筑工业出版社,2006:245-262.
[4] 韩森,周锡元.基础隔震建筑软碰撞保护分析[J].建筑科学,1999,15(1):14-20.
[5] 张富有,程文灏.带限位钢棒夹层橡胶隔震垫的特征与工程应用[J].特种结构,2003,18(4):18-19.
[6] 毛利军,李爱群.建筑结构双线性基础隔震体系地震反应的参数研究[J].建筑结构学报,2004,25(3):63-68.
[7] 朱玉华,吕西林.组合基础隔震系统地震反应分析[J].土木工程学报,2004,37(4):76-81.
[8] 日本免震构造协会.图解隔震结构入门[M].叶列平,译.北京:科学出版社,1998:22-35.

Study on fundamental characteristics of rubber insulation bearing with a steel bar inside

CUI Yi-bin , ZHANG Fu-you

(Geotechnical Research Institute of Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract:To reduce the horizontal displacement of the insulation layer in base insulation structure under rare earthquakes , the rubber bearing with a steel bar inside was introduced. The steel bar improved the horizontal stiffness of insulation layer and effectively controlled the increases of horizontal displacement , thus the safety of buildings was ensured. In this paper , the principle of rubber bearing with a steel bar inside was expounded and its mechanical model was analyzed. Furthermore , a tri-linear restoring force model was introduced and an expression for restoring force was given. As compared with the common rubber bearing , the rubber bearing with a soft steel bar installed at its center can not only improve the insulating effect of the system under frequent earthquakes , but also limit the horizontal displacement of insulation layers under strong earthquakes , and thus , it can prevent the overturn of the upper structure and further ensure its safety.

Key words :rubber bearing with a steel bar ; base isolation ; tri-linearity ; bilinearity