

IV类场地土与结构相互作用的隔震分析

张富有, 贺梦瑶, 王舒珊, 朱俊高
(河海大学土木与交通学院, 江苏南京 210098)

摘要: 以某8层框架结构为例, 使用ETABS软件进行时程反应分析, 可以得到考虑土与结构相互作用时橡胶隔震体系、滑移隔震体系等不同模型在第IV类场地的自振周期、层间剪力、最大位移等情况, 得出不同结构的自振周期都有延长, 各层位移增大, 滑移隔震体系相对于普通结构和橡胶隔震体系而言, 剪力和层间位移都大幅度降低, 因此在第IV类场地使用滑移隔震体系效果更好。

关键词: 土与结构; 相互作用; 时程反应分析; 橡胶隔震体系; 滑移隔震体系

中图分类号: TU352.1

文献标识码: A

Analysis of isolated structure on the fourth site with considering soil - structure interaction

ZHANG Fuyou, HE Mengyao, WANG Shushan, ZHU Jungao

(1.College of Civil Engineering and Transportation, Hohai University, Jiangsu Nanjing, 210098, China)

Abstract: Taking an 8 - story frame structure as an example, using etabs software, the vibration period, interlaminar shear and maximum displacement of different models such as rubber isolation system and sliding isolation system under the interaction between soil and structure can be obtained. the results show that the vibration period of different structures is prolonged, each layer displacement increases, and the sliding isolation system is significantly reduced compared with common structure and rubber isolation system, and the effect of sliding isolation system is better at the class iv site.

Key words: soil structure interaction; seismic response analysis; rubber isolation system; sliding isolation system

土与结构相互作用^[1-2] (soil structure interaction, 简称SSI) 主要是因为地基土与结构基础材料的弹性模量等材料特性的不同使得其变形能力有所不同, 进而在地面土和基础的接触面上产生了相互作用, 再扩展成场地土和结构建筑物的相互作用。目前, 很多研究和试验结果都说明在考虑SSI时结构的动力响应与刚性地基假设下的结果有较为显著的差别, 地基为刚性的假设在某些情况下是偏于保守的, 土与结构的相互作用也不能被忽略, 当其转为不利条件时, 其模拟结果将与实际动力响应有较大偏差, 因此研究结构动力响应时考虑SSI的影响是极其重要的。研究表明, 当考虑土与结构的相互作用时, 橡胶隔震技术的隔震效果会受很大的影响^[3-8]。本文

利用ETABS软件进行时程分析, 可以得到普通结构(CS模型)、橡胶隔震体系(LRB模型)、滑移隔震体系(FSI模型)、考虑SSI效应的普通结构(SSI-CS模型)和考虑SSI效应的摩擦滑移隔震体系(SSI-FSI模型)的自振周期、层间剪力、最大位移等变化情况。

1 建立CS模型、LRB模型和FSI模型

1.1 工程概况

基本建筑为8层框架结构, 建筑平面为矩形, 标准层层高3.6 m, 底层层高4 m, 横向5跨, 跨度为6 m, 纵向为3跨, 跨度为6 m, 框架梁的截面为

收稿日期: 2017-07-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51479052)

作者简介: 张富有(1972-), 男, 河南驻马店人, 博士, 副教授, 从事工程抗震与隔震减震方面的研究。

500 mm×250 mm, 柱截面 400 mm×400 mm, 填充墙厚度为 200 mm, 采用 C30 的混凝土, 现浇板厚度为 160 mm。

1.2 用 ETABS 建模

假定每层楼板为刚性, 各楼层的位移、速度、加速度都可以由该层任意一点的位移、速度、加速度来表示。所建立的普通结构 (CS 模型)、橡胶隔震体系 (LRB 模型, $D=400$ m 的铅芯橡胶支座)、滑移隔震体系 (FSI 模型) 的三维模型, 如图 1 所示。

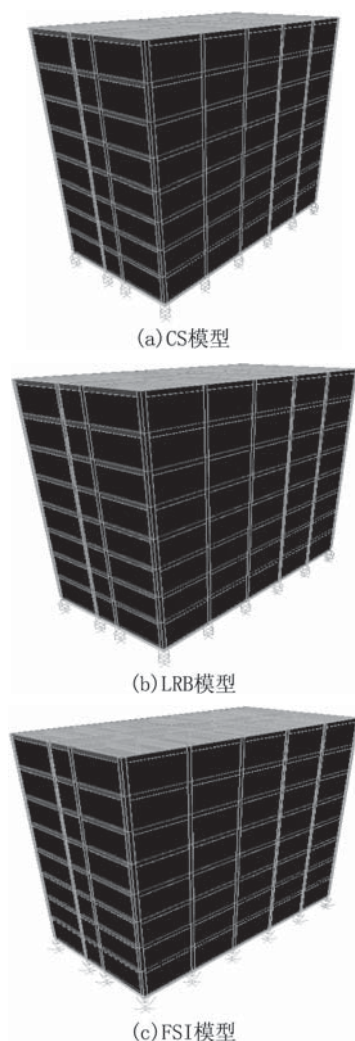


图 1 动力分析模型
Fig.1 Dynamic model

表 1 地震波的选取和调整

Tab.1 The selection and adjustment of seismic wave

地震波	加速度峰值 /($\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$)	比例系数	持续时间 /s
天津波	145.8	2.74	19.2
TRI00 波	112	3.57	40.0
上海人工波	35	11.43	36.9

1.3 地震波的选取

合理地选取地震的时程曲线是非常重要的, 它需要满足地震动的三要素要求, 即频谱特性、有效峰值和持续时间。选取的地震波所适用的设计分组以及场地类别要符合所要研究的隔震体系的场地条件。所以为了能更好体现研究效果, 在上述 3 种模型的基础上, 再加上考虑土与结构相互作用后的 SSI-CS 模型和 SSI-FSI 模型, 对这 5 类模型选取 ETABS 软件自带的适于 IV 类场地分析的三条地震波: 天津波 (南北方向)、上海波和 TRI00 波, 地震波的选取如表 1 所示。

2 隔震分析

2.1 自振周期对比分析

5 种模型的前 6 阶自振周期如图 2 所示。可以看出, 无论是否考虑 SSI 效应, 增加橡胶支座隔震或者滑移隔震体系的结构比普通结构的自振周期有所延长。其中, 滑移隔震体系的自振周期与橡胶隔震体系的自振周期非常接近, 且对前几阶振型的影响较大。由此可知, 两者在不考虑 SSI 效应的时候对结构的自振周期的影响相似。若考虑 SSI 效应的话, 普通结构的自振周期比之前的自振周期有所延长, 增加的最大百分比为 19.1%, 此外, 滑移隔震的自振周期比之前也有所延长, 增加的最大百分比为 19.6%。由此可以得出结论, 考虑 SSI 效应后, 对结构的自振周期是有影响, 即自振周期延长, 且对前几阶振型影响较大。

2.2 层间剪力的分析比较

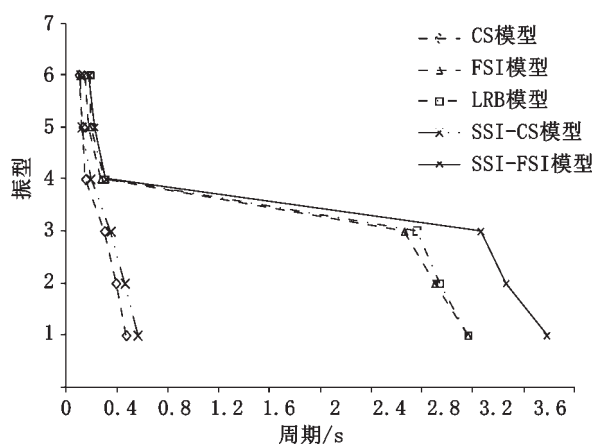


图 2 五种模型的前 6 阶自振周期
Fig.2 The first 6 natural vibration cycles of five models

当考虑 SSI 效应时,结构的自振周期发生了改变,从而使结构的动力特性也发生了改变,若采用基础隔震技术之后,隔震体系的周期将与原结构不同^[9],可以削弱土与结构相互作用这一影响,或者可以认为采用隔震这一措施后,SSI 效应对结构的影响会小一点^[10]。将普通结构模型、滑移隔震模型、橡胶隔震模型以及考虑 SSI 效应后的普通结构和滑移隔震模型所受到天津波、上海人工波、TRI00 波的层间剪力绘制成折线图如图 3 所示。可以看出无论是否考虑 SSI 效应,采用隔震措施后,隔层的剪力值都大幅度降低。具体而言,当忽略 SSI 效应时,采用隔震的结构比普通结构的层间剪力最多减少 22%,当考虑 SSI 效应后,采用隔震的结构比普通结构的层间剪力最多减少 24%。此外,SSI 效应对普通结构的层间剪力影响幅度较为明显,这也证明了 SSI 效应的不可忽略性。当建筑采用滑移隔震体系时,在上海人工波作用下的隔震效果比天津波和 TRI00 波显著。而对于橡胶隔震体系而言,其层间剪力很大,且对于普通结构没有很大的变化,所以橡胶隔震技术在第 IV 类场地并没有起到很好的隔震效果。

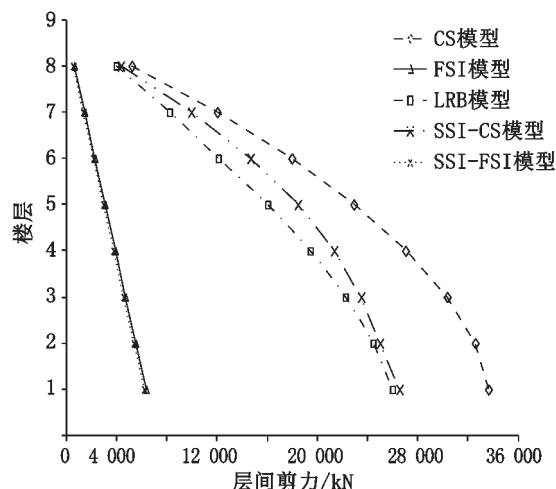
2.3 最大位移的分析比较

上述五种模型在天津波、上海人工波和 TRI00 波作用下的最大位移折线图如图 4 所示。

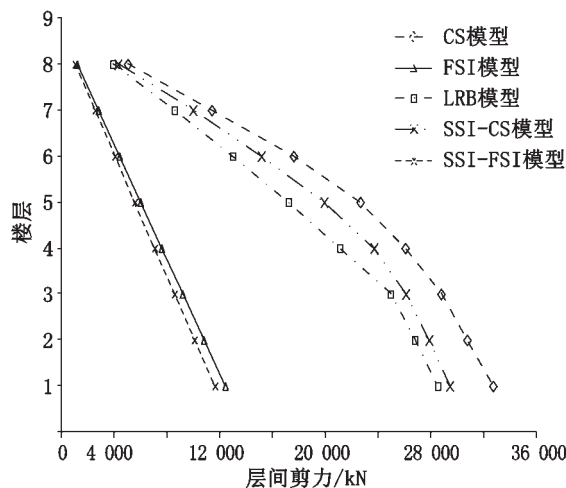
由图 4 可以看出,无论是否考虑土与结构的相互作用,结构采用隔震措施后,上部结构的位移都比普通结构大得多。此外,滑移隔震体系的位移曲线的斜率比普通结构的曲线斜率大,由此可知,滑移隔震体系的隔层间位移值减小,滑移量主要集中在滑移支座部分,而上部结构的位移几乎呈平动变化,这也正好可以说明滑移隔震体系具有良好的隔震效果。但是对于橡胶隔震而言,虽然相对于滑移隔震来说,其位移较小,但层间位移的变化很大,所以橡胶隔震并没有发挥很好的隔震效果。当考虑土与结构相互作用时,各个结构的位移都明显增大,尤其对于普通结构来说更为显著。而滑移隔震的位移虽然有所增加,但变化并不是非常明显,再一次说明了在第 IV 类场地上使用滑移隔震体系是可行的。

3 结论

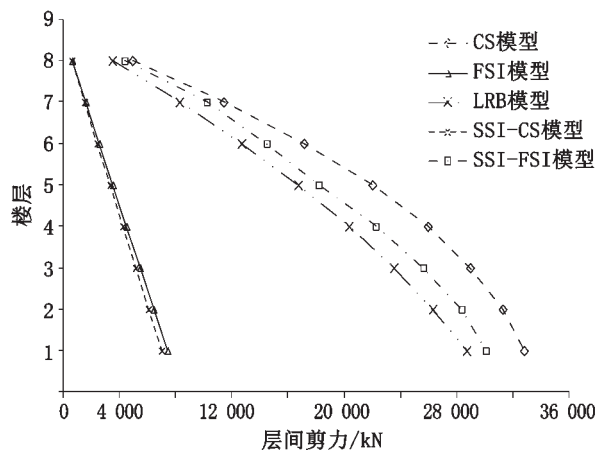
1) 考虑 SSI 效应后,无论是否采用隔震技术,



(a) 天津波作用下层间剪力



(b) 上海人工波作用下层间剪力



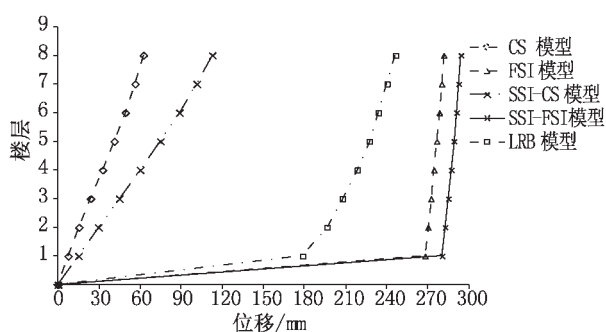
(c) TRI00波作用下层间剪力

图 3 五种模型的层间剪力

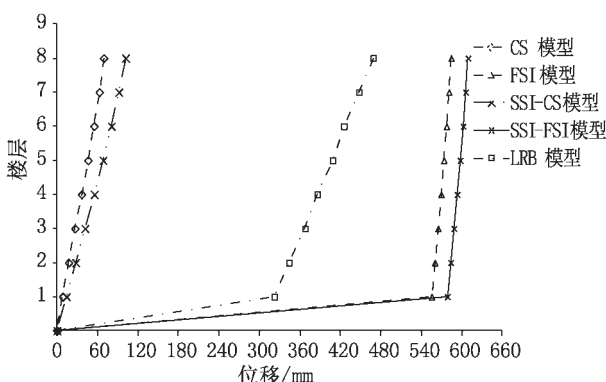
Fig.3 Interlayer shear of the five models

结构的自振周期都有所延长,各层位移都有所增大。

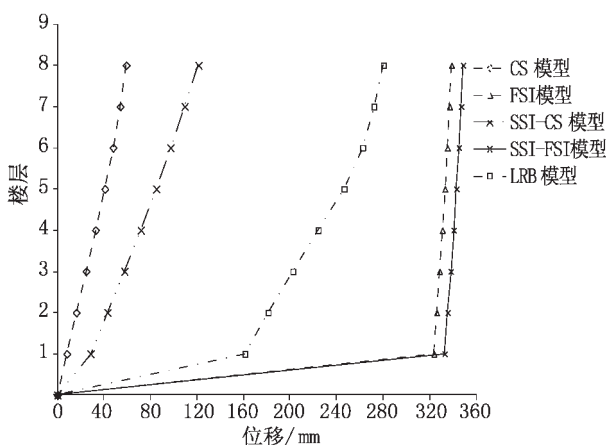
2) 对于橡胶隔震来说,当考虑 SSI 效应后,其动力反应异常剧烈,层间位移变化较大,可知,在第 IV 类场地上使用橡胶隔震技术并不能发挥很好的



(a) 天津波最大位移对比图



(b) 上海人工波最大位移对比图



(c) TRI00波最大位移对比图

图4 五种模型的最大位移对比图

Fig.4 Comparison of maximum displacement of five models

隔震效果。

3) 无论是否考虑 SSI 效应, 滑移隔震体系都相

对于普通结构而言, 其层间剪力和层间位移都大幅度降低, 在第IV类场地上使用滑移隔震体系能够发挥很好的隔震效果。

4) 当考虑 SSI 效应后, 结构体系变得更柔, 动力特性也将随之变化, 但对于普通结构来说, 这种影响最为显著。

参考文献:

- [1] PARMELEE R A. Building-foundation interaction effects during earthquakes[J]. Journal of the Engineering Mechanics Division, 1967, 93: 131-152.
- [2] NOVAK M, HENDRESON P. Base-isolated building with soil-structure interaction[J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1989, 18(6): 751-765.
- [3] 李忠献, 李延涛, 王健. 土与结构相互作用对基础隔震的影响[J]. 地震工程与工程振动, 2003, 3(5): 180-186.
- [4] 王开顺, 王有为, 李林友. 土与结构相互作用地震反应研究及实用计算[J]. 建筑结构学报, 1986, 7(2): 64-76.
- [5] 施玉群, 段克让, 彭华. 高层建筑-地基动力相互作用半解析法的研究[J]. 工程力学, 1997, 14(3): 124-131.
- [6] 李辉, 李英明, 赖明. 考虑土-结构动力相互作用后水平地震作用折减问题的研究[J]. 世界地震工程, 2000, 1: 9.
- [7] 余俊, 尚守平, 王海东, 等. 大比例模型稳态激振试验研究[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2007, 33(6): 11-15.
- [8] 杜东升, 刘伟庆, 王曙光, 等. SSI效应对隔震结构的地震响应及损伤影响分析[J]. 土木工程学报, 2012(5): 18-25.
- [9] 杨帆. 考虑土-结构动力相互作用的隔震结构分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- [10] 鲍华, 徐礼华, 周友. 考虑土-结构相互作用的基础隔震体系动力特性分析[J]. 工程抗震与加固改造, 2005, 27(4): 40-45.