

某人防工程地震响应分析与抗震性能评价

李季¹, 王国波¹, 孙明², 刘卫国²

(1. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070; 2. 武汉市城乡建设委员会, 湖北 武汉 430030)

摘要: 目前为止还没有成熟的地下结构抗震性能评价方法。本文结合地下结构地震响应的特点及已有相关规范, 初步建立了地下结构抗震性能评价方法。并以某人防工程为例, 建立三维分析模型, 计算其在两种不同幅值的人工合成波作用下的三维地震响应, 计算了结构的水平横向相对位移, 评价了该人防工程的抗震性能。评价结果表明此人防工程具有良好的抗震性能。本方法可供其它相关地下工程参考应用。

关键词: 地下框架结构; 地震响应; 评价方法; 层间位移角

中图分类号: TU92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2011)03-0271-04

Seismic Response Analysis on a Civil Air Defense Engineering and Evaluation on Its Earthquake Resistant Capability

LI Ji¹, WANG Guo-bo¹, SUN Ming², LIU Wei-guo²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. Wuhan Urban & Rural Construction Committee, Wuhan 430030, China)

Abstract: Up to now there is no standard evaluation method for evaluating seismic behavior of underground structure. In this paper an evaluation method for seismic behavior of underground structure is built based on the characters of seismic response of underground structure and some relative national standards. Taking a civil air defense engineering as example, a three-dimensional analytical model is built, and the three-dimensional seismic responses under two different artificial waves are calculated. The result gives the relative horizontal displacements of the beams, evaluates the earthquake resistant capability of the engineering. The result shows that the civil air defense engineering has a good seismic behavior. The method may provide reference to other relevant underground engineering.

Key words: Underground frame structure; Seismic response; Evaluation method; Story drift angle

0 引言

地下结构是城市生命线工程的重要组成部分。由于早期地下结构数量不多, 重要性不高, 地震引起的地下结构的破坏未能引起人们的重视。但阪神地震对地下结构造成严重破坏的事实, 引起了众多地震工作者的极大重视。阪神地震清楚地表明: 在地层可能发生较大变形和位移的部位, 地下结构可能会出现严重震害。

对于给定的地下结构如何评价其抗震性能, 目

前国内外还没有形成统一的地下结构破坏的评价方法和评判标准。目前关于地下结构评价方法的研究较少, 有代表性的是日本学者 Huo^[1] 和国内学者马险峰^[2]。Huo 针对神户地震中的大开站, 选取了三个破坏程度不一的截面, 采用漂移比(drift ratio), 即结构水平横向相对位移与柱子净高的比值, 评价各个截面的破坏情况。马险峰以大开站的中柱作为研究对象, 对中柱内力状态的时间历程进行分析, 并

收稿日期: 2010-05-20

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(编号: 2010-IV-010); 武汉市城乡建设委员会 2010 年科技项目

作者简介: 李季(1985-), 男(汉族), 湖北武汉人, 硕士研究生, 主要从事结构理论与计算方法的研究。

对中柱的破坏过程进行了模拟,将中柱截面各点的应力状态随时间的变化情况与混凝土的强度进行比较。上述研究分别从结构的变形和结构强度两方面对结构抗震性能进行了评价。由于地下结构地震时的破坏主要是由于周围地层的变形强加给结构,即地下结构的抗震性能应以结构变形为主要控制目标。因此本文从结构变形角度初步建立地下结构的抗震性能评价方法。

1 抗震性能评价方法

由于目前国内外还没有成熟的地下结构抗震性能评价方法,笔者在大量调研和分析的基础上,基于以下因素选取评价方法:

(1) 目前采用的《建筑抗震设计规范》中针对地面框架结构给出了结构的弹性和弹塑性层间位移角限值(分别为 $1/550$ 和 $1/50$);

(2) 《建筑抗震设计规范》(2009 年)增加了第十四章“地下建筑结构”,其中给出了地下钢筋混凝土框架结构在罕遇地震作用下弹塑性层间位移角的限值为 $1/250$;

(3) 震害表明地下结构抗震性能优于地面结构,因此,用地面结构的评价指标偏于安全和保守。

因为柱端与板结合处为地下结构抗震最薄弱部位,因此,结合上述原则本文主要以柱端相对变形作为评价指标:

(a) 若层间位移角小于 $1/550$,则认为结构仍处于弹性阶段;

(b) 若层间位移角大于 $1/550$ 但小于 $1/250$,则认为结构进入塑性变形阶段,但结构仍是安全的;

(c) 若层间位移角大于 $1/250$,认为结构已破坏。

2 计算模型

2.1 计算区域

该人防工程为地下一层框架结构,横向宽 40 m,长 64 m,层高 3 m。根据已有的研究成果^[3-4],横向计算宽度取结构横向宽度的 5 倍时,可消除边界条件的影响。

按照上述计算范围的选取原则,计算范围选取为:200 m(水平横向)×224 m(水平纵向)×50 m(竖向)。计算模型见图 1~3。

2.2 边界条件

静力计算时,模型四个侧面均约束相对应的水平方向位移,底部取为竖向固定、水平自由的边界,

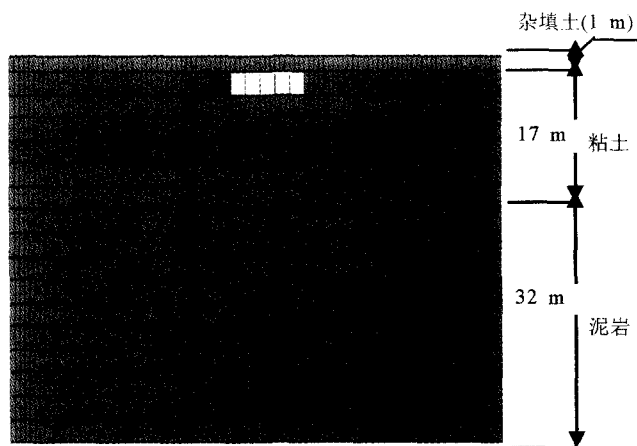


图1 图1 结构在土体中的位置

Fig.1 Structure position in the soil.

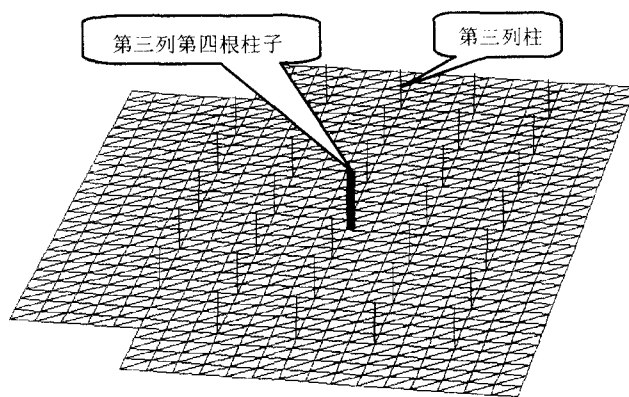


图2 柱排列示意图

Fig.2 Distribution sketch of pillars.

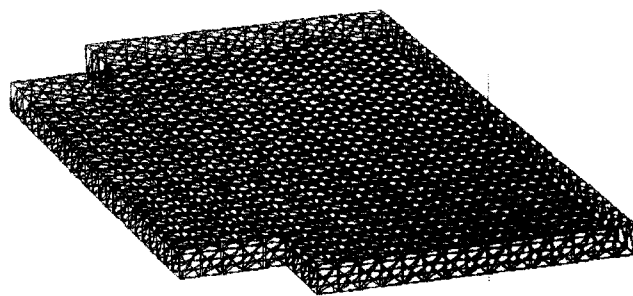


图3 结构模型

Fig.3 Structure model.

表面为自由变形边界。

动力计算时在模型的四个侧面上均采用自由场边界条件^[5],底部取为竖向固定、水平自由的边界,顶面为自由变形边界。

2.3 地震荷载的输入

动力计算时,在模型底部基岩面上输入未来 50 年超越概率为 10%(中震)和 2%(大震)的人工合成

波。其中,中震的加速度时程及频谱特征曲线如图4,两种人工合成波的幅值分别为52和96 gal。

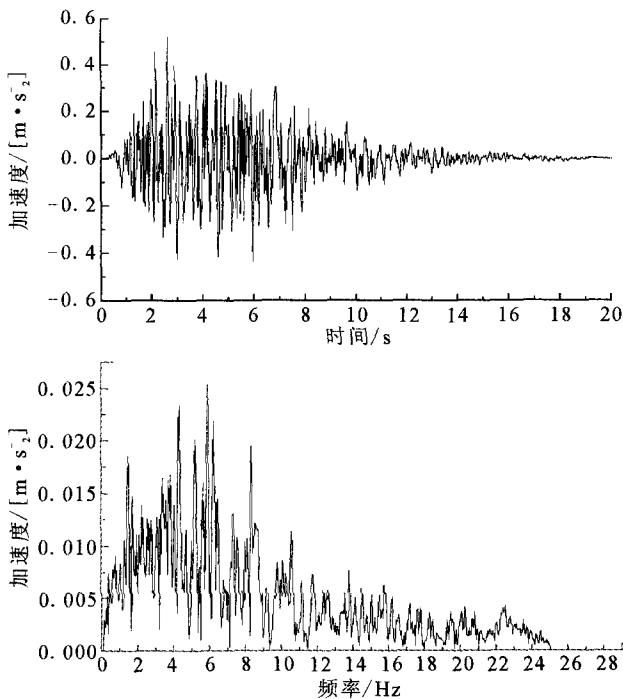


图4 未来50年超越概率10%时地下50m处人工合成波加速度时程及其频谱特征曲线图

Fig. 4 Acceleration time-history and frequency spectrum of artificial wave with 10% exceed probability in 50 years at the depth of 50 m.

2.4 材料本构模型

文献[6]对武汉软土进行了相关实验研究,研究表明可用三参数 Davidenkov 模型的应力—应变关系。Davidenkov 模型可描述为

$$G_d/G_{\max} = 1 - \left[\frac{(\gamma_d/\gamma_r)^{2B}}{1 + (\gamma_d/\gamma_r)^{2B}} \right]^A \quad (1)$$

$$\lambda/\lambda_{\max} = [1 - G_d/G_{\max}] \quad (2)$$

式中 A 、 B 和 γ_r 为拟合常数; γ_r 亦为参考剪应变; γ_d 为瞬时动剪应变; G_d 和 λ 为瞬时的动剪切模量和阻尼比; $G_{\max}$ 和 $\lambda_{\max}$ 为最大动剪切模量和最大阻尼比。当 $A=1$ 且 $B=0.5$ 时, Davidenkov 模型便退化为常见的 Hardin—Drnevich 模型。

计算时采用 Davidenkov 模型描述软土的非线性特性,土层的计算参数见表1。

表1 土层计算参数

土层	密度/[kg·m ⁻³]	剪切波速/[m·s ⁻¹]	阻尼比	泊松比
杂填土	1 700	252	0.015	0.42
粘土	1 900	275	0.020	0.40
泥岩	2 000	582	0.010	0.38

3 动力计算结果

本文评价方法基于结构变形而提出,且计算结果表明第三列柱柱端位移最大,因此本节仅给出了两种人工合成波作用下结构第三列柱柱端的水平横

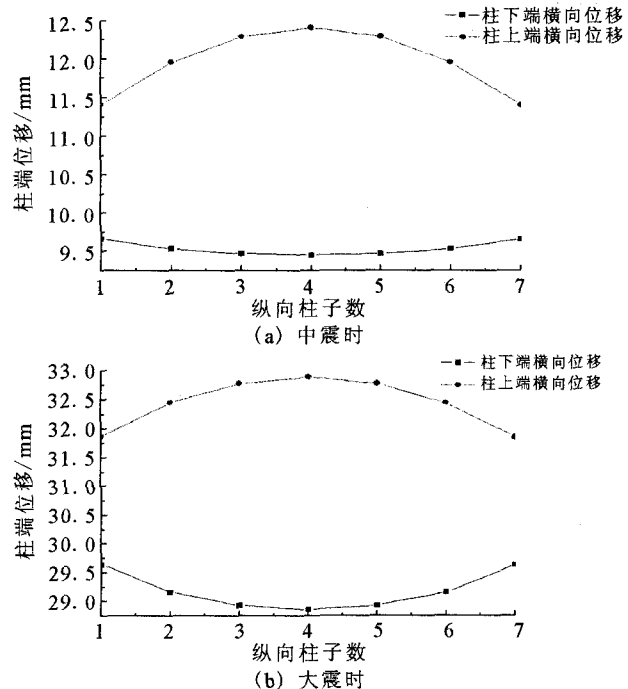


图5 大、中震时第三列柱柱端水平横向位移

Fig. 5 Horizontal displacements of the column pillars in third line under big and middle waves.

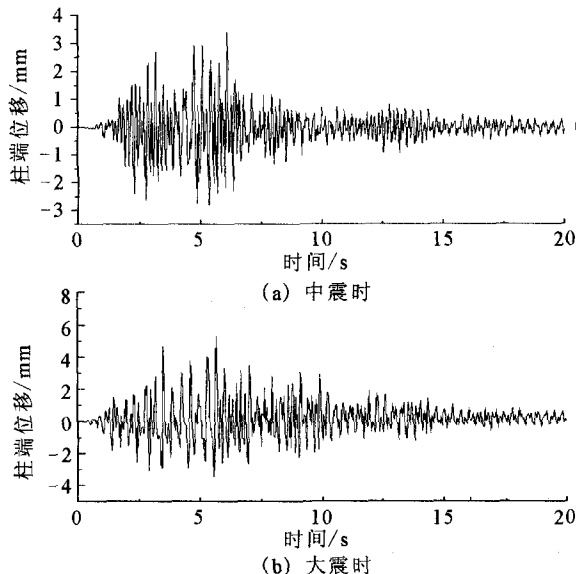


图6 大、中震时第三列第四根柱子柱端水平横向相对位移时程曲线

Fig. 6 Relative horizontal displacement time-histories of the forth pillar in third column line under big and middle waves.

向位移(图 5),其中第四根柱柱端位移最大,其相对水平横向位移见图 6。由图 5、6 可见:

(1) 在横向剪切地震波作用下,结构顶板的横向变形最大,底板次之,表明浅埋不利于地下结构的抗震;

(2) 中震时,第三列第四根柱子顶端与柱子底端相对位移最大,其大小为 3.6 mm;

(3) 大震时,第三列第四根柱子顶端与柱子底端相对位移最大,其大小为 5.8 mm。

4 抗震性能评价结果

表 2 为中震、大震时该人防工程的层间位移角值。由表 2 可见:

(1) 在中震水平的地震作用下,该人防工程的变形均处于弹性阶段(层间位移角小于 1/550),表明该结构在中震水平下具有良好的抗震性能;

(2) 在大震水平的地震作用下,该人防工程的变形(1/517)进入了塑性变形阶段,但小于 1/250,即结构的安全仍有保障。

由此可见,该人防工程具有良好的抗震性能。

表 2 最大层间位移角

层高/m	中震		大震	
	柱端相对位移/mm	层间位移角	柱端相对位移/mm	层间位移角
3	3.6	1/833	5.8	1/517

(上接 264 页)

5 结语

本文基于 ABAQUS 软件模拟了一个二维的钢管水泥土围护墙支护下基坑开挖引起墙体变形的有限元计算模型,对比了是否插有钢管情况下墙体的水平变形值并计算了钢管水泥土墙体的等效弹性模量。计算结果表明水泥土墙体中插钢管或其它型钢,有助于减少位移,但效果有限,相比之下适当地加长钢管以及将钢管的插入位置尽量靠近墙体的两侧能更明显地控制基坑的变形。

[参考文献]

5 结语

本文基于地下结构地震响应的特点及已有相关规范,建立了以结构变形为评价指标的地下结构抗震性能评价方法。然后以某人防工程作为研究对象,建立了其三维计算模型,分析了其地震响应特点,并采用本评价方法对其抗震性能进行了评价,评价结果表明:该人防工程具有良好的抗震性能。本文的评价方法可供其它相关地下工程参考应用。

[参考文献]

- [1] Huo H, Bobet A, Fernández G, et al. Load transfer mechanisms between underground structure and surrounding ground: evaluation of the failure of the Daikai station[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2005, 131(12): 1522-1533.
- [2] 马险峰. 地下结构的震害研究[D]. 上海: 同济大学, 2000.
- [3] 王国波. 软土地铁车站结构三维地震响应计算理论与方法的研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [4] 王国波. 上海软土地震响应的振动台模型试验及其三维数值拟合分析[J]. 西北地震学报, 2008, 30(1): 27-30.
- [5] Itasca Consulting Group. Fast lagrangian analysis of continua in 3 dimensions[M]. Minneapolis: Itasca Consulting Group, Inc., 2002.
- [6] 孔戈. 盾构隧道地震响应分析及抗减震措施研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.

- [1] 上海市勘察设计行业协会, 上海现代设计(集团)有限公司, 上海建工(集团)总公司. DG/TJ08-61-2010 基坑工程技术规范[S]. 上海: 上海建筑建材业市场管理总站, 2010.
- [2] 董平, 陈征宙, 秦然. 砼芯水泥土搅拌桩在软土地基中的应用[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(2): 204-207.
- [3] 李希元. 水泥土钢管组合桩的设计、试验及应用[J]. 港工技术与管理, 1993, (1): 48-57.
- [4] 张胜利. 构造应力场模拟——有限元理论、方法和研究进展[J]. 西北地震学报, 2010, 32(4): 405-410.
- [5] 张学东, 言志信, 张森. ANSYS 在岩质边坡动力响应分析中的应用[J]. 西北地震学报, 2010, 32(2): 117-121.
- [6] R A DAY. Modelling sheet pile retaining walls[J]. Computers and Geotechnics, 1993, 15: 125-143.