

文章编号: 1005-0523(2005)05-0009-03

平面不对称结构的 Pushover 分析及抗震性能评估

刁现伟, 董 冰

(同济大学 土木工程学院, 上海 200092)

摘要: 用 Pushover 方法对平面不对称钢筋混凝土框架结构进行分析, 以评估结构的抗震性能. 从两个相反方向加载对该结构进行 Pushover 分析时, 得到的结果存在差异, 本文用实例证明了这一点.

关键词: 平面不对称; Pushover 分析; 抗震性能; 循环往复加载

中图分类号: TU311

文献标识码: A

Pushover 分析是一种弹塑性静力分析方法, 它在结构分析模型上施加按某种方式的侧向力, 并逐渐单调增大, 使结构从弹性阶段开始, 经历开裂、屈服, 直至达到某一破坏标志为止. Pushover 分析可用于近似评估结构的抗震性能, 了解结构的弹塑性地震反应, 找出结构的薄弱环节, 采取措施对结构薄弱环节进行加强. 对于不对称的结构来说, 在两个相反方向加载的分析结果也是不同的, 因此在进行 Pushover 分析时还存在一个加载方向的问题.

1 工程概况

本工程为 5 层平面不对称的钢筋混凝土框架结构, 结构的平面布置在 1—4 层呈三角形, 顶层为不规则形状. 结构模型见图 1(为清晰起见, 井字梁未在模型中显示). 抗震烈度 7 度(0.10 g), 场地特征周期 0.65 秒.

考虑结构扭转耦联时的振动, 结构第一振型 X 向为主, 基本周期 1.147 6 秒, 平动系数(X+Y)0.85(0.82+0.03), 扭转系数 0.15.

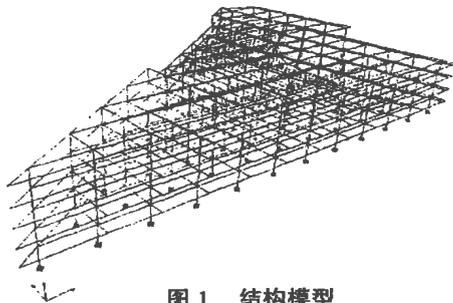


图 1 结构模型

2 Pushover 分析中的几个问题

2.1 塑性铰的定义和设置

ETABS 给框架单元提供了弯矩(M)、剪力(V)、轴力(P)、轴力和弯矩相关(PMM)四种塑性铰, 并且可以在一根构件的任意部位布置一个或多个塑性铰^[1]. 其中混凝土弯矩铰和混凝土轴力和弯矩相关铰本构模型如图 2 所示.

对梁单元, 一般仅考虑弯矩(M)屈服产生塑性铰. 对柱单元, 一般考虑由轴力和双向弯矩相关(PMM)作用产生塑性铰. 对钢筋混凝土结构, 程序根据截面的配筋值, 可自动计算屈服弯矩值和轴力弯矩相关面(由 0 度、22.5 度、45 度、67.5 度、90 度五个方向的曲线形成的包络面)(见图 3).

收稿日期: 2005-06-10

作者简介: 刁现伟(1980-), 男, 河北巨鹿人, 硕士研究生, 结构工程专业.

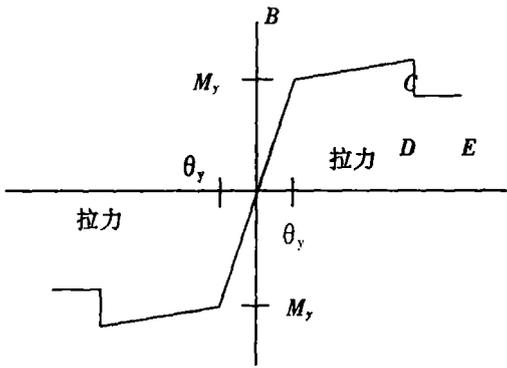


图2 塑性铰的本构模型

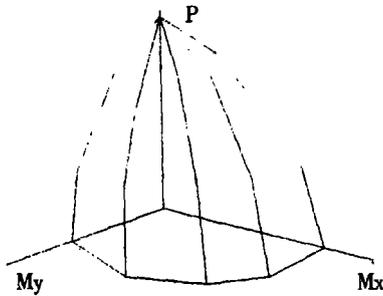


图3 柱屈服面

塑性铰的位置，应设置在弹性阶段内力最大处，因为这个位置最先达到屈服。对梁、柱单元，一般情况是两端弯矩最大，弯曲塑性铰和压弯铰应设置在两端。

本文首先对结构进行分析计算配筋，然后由程序自动计算来确定塑性铰的本构关系。

2.2 侧向力加载模式和 Pushover 工况

侧向力的分布方式，既应反映出地震作用下各结构层惯性力的分布特征，又应使所求得位移能大体真实地反映地震作用下结构的位移状况。由于任何一种荷载分布方式都不可能反映结构全部的变形及受力要求，因为不论用何种分布方式，都将使得和该加载方式相似的振型作用得到加强，而其他振型的作用则被削弱。而且在强地震作用下，结构进入弹塑性状态，结构的自振周期和惯性力大小及分布方式也因之变化，楼层惯性力的分布不可能用一种分布方式来反映。因此，最少用两种以上的荷载分布方式进行 Pushover 分析^[2]。

ETABS 程序提供了自定义分布、均匀加速度分布和振型荷载分布三种加载方式^[1]。均匀加速度分布提供的侧向力是用均一的加速度和相应质量分布的乘积获得的；振型荷载分布提供的侧向力是用给定的振型和该振型下的圆频率的平方(ω^2)及相应质量分布的乘积获得的。可以取任何一个振型。其中，均匀加速度方法相当于均匀分布，振型荷载分

布方法，当取第一振型时相当于倒三角分布。用户也可以自定义水平力分布情况，也可以把三者按一定系数组合。

在定义 Pushover 分析工况时，除了按上述方法考虑各种水平荷载及组合外，应首先定义重力荷载作用作为 Pushover 分析第一工况，各种水平力及其组合作为其它工况，计算时首先计算第一工况下的内力和变形，其它工况下的计算是在第一工况下内力和变形基础上施加水平荷载。

为了对相反两个方向的加载进行对比，本文只采用均匀加速度分布方式的侧向力。其工况为：重力+(±)X向加速度。

2.3 ETABS 中地震系数的选取

对于7度多遇地震和罕遇地震，根据我国现行抗震规范的地震反应谱^[3]与ATC-40反应谱^[4]的对比，可以确定地震系数Ca和Cv。

7度多遇地震：Ca=0.032, Cv=0.052

7度罕遇地震：Ca=0.2, Cv=0.325

3 计算结果分析

对于规则结构 Pushover 分析时每层各点的位移相同，而对于不规则结构各点的位移是不相同的。本文中取顶层刚度中心的位移作为结构的顶部位移。

在-X向和+X向加速度的侧向力加载模式下的基底剪力—顶部位移结果见图4。

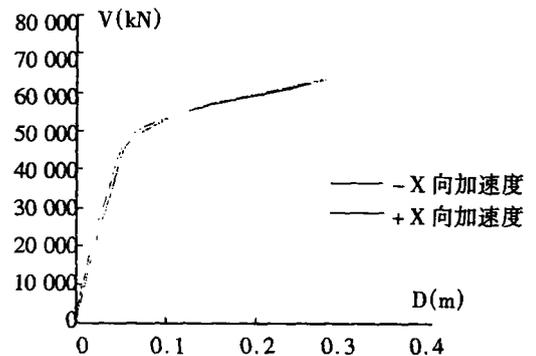


图4 基底剪力—顶部位移曲线

将其转换为谱加速度—谱位移曲线见图5。

由图4可知：在相反的侧向力加载模式下，基底剪力—顶部位移曲线基本重合。也就是说，当侧向力大小相同方向相反时，所产生的顶部位移绝对值相差不大。

由图5可知：在相反的侧向力加载模式下相反

方向的侧向力时,谱加速度—谱位移曲线有很大的差别.产生差别的原因,应该是由于在加载的过程中各构件的受力状况、应力应变发展情况以及塑性铰出现的位置、顺序和时刻不相同,变形后结构周期、振型产生差别,因此转换为谱加速度—谱位移曲线后两条曲线有较大的差别.

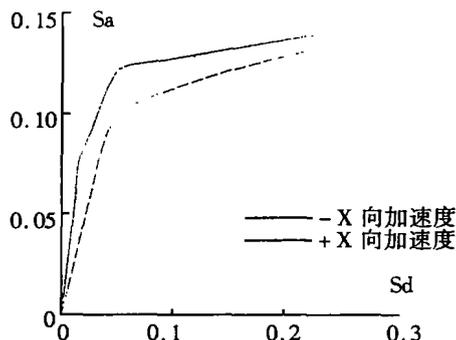


图5 谱加速度—谱位移曲线

将能力谱曲线和某一水准地震的需求谱画在同一坐标系中,两曲线的交点称为性能点,性能点所对应的位移即为等效单自由度体系在该地震作用下的谱位移,可将谱位移转换为原结构的顶点位移.

7度多遇和7度罕遇地震水准下,相反方向的侧向力加载模式对应的计算结果见表1.

表1 不同加载方向的结果比较

地震水准	加载方式	性能点		转换后结果		顶层位移差距 D(m)
		Sa(g)	Sd	V(kN)	D(m)	
7度多遇	-X向	0.060	0.011	9412	0.008	63
	+X向	0.039	0.017	22556	0.022	
7度罕遇	-X向	0.125	0.074	53384	0.088	26
	+X向	0.112	0.094	56816	0.119	

7度多遇地震水准时,两种加载方模式下结构各杆件没有产生塑性铰,结构保持在弹性阶段,满足弹性层间位移角限值.7度罕遇地震水准时,两种加载方式下结构部分构件进入塑性阶段,满足弹塑性层间位移角限值.

由表1可知:采用不同加载方向对结构进行分析,结果会有较大的差别,尤其在7度多遇地震水准下,不同方向的加载方式结构响应差距达到63%.但是在7度罕遇地震水准下差距为26%.因此对非对称结构应进行两个相反方向的 Pushover 分析,而采用其中较不利方向的结果作为计算依据.本文中在7度多遇和7度罕遇地震作用下,均应取+X向加速度的加载方式所得到的计算结果作为进一步分析的依据.

4 结论

1) 对不对称结构进行 Pushover 分析时,从两个相反方向加载得到的分析结果有较大的差别,应该对非对称结构进行两个相反方向的 Pushover 分析,而采用其中较不利方向的结果作为依据.

2) 有学者对不对称结构进行 Pushover 分析时,提出了循环往复加载方式^{[5][6]}.该种方式可以更加真实地模拟地震反应,但该方面的研究还不够深入和全面,应该进行进一步深入的研究.

参考文献:

- [1] ETABS 帮助[R]. Computers and Structures, Inc., 1998.
- [2] 汪大绥,贺军利,张凤新.静力弹塑性分析(Pushover Analysis)的基本原理和计算实例[J].世界地震工程, 2004, 20(1):45—53.
- [3] 建筑抗震设计规范(GB50011—2001),北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [4] ATC, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings [R]. Report No. ATC—40. Applied Technology Council, Redwood City, California, 1996.
- [5] 叶献国,种迅,李康宁,周锡元.Pushover 方法与循环往复加载分析的研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版), 2001, 24(6):1019—1024.
- [6] 侯爱波,汪甫甫.循环往复加载的 pushover 分析方法及其应用[J].湖南大学学报(自然科学版), 2003, 30(3):145—152.

Pushover Analysis of Planar Unsymmetrical Structure and Estimation of the Aseismic Capability

DIAO Xian-wei, DONG Bing

(College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Pushover analysis was used to analyse a planar unsymmetrical reinforced concrete structure and estimate its aseismic capability. The results were different if the loads applied on the structure in opposite directions. It was attested by the example.

中国知网 <https://www.cnki.net>

Key words: planar unsymmetrical; Pushover analysis; aseismic capability; cyclic load