

# 自嵌固生土墙体抗震性能有限元分析

孙烁烁, 李娟娟, 田玉蕊

(商丘工学院土木工程学院, 河南 商丘 476000)

**摘要** 为研究自嵌固生土墙体抗震性能, 本文基于已有试验的基础上, 利用 ABAQUS 有限元模拟软件, 建立与试验试件相对应的有限元模型, 在有限元模型正确有效的基础上, 保持自嵌固生土墙体高度不变的同时改变宽度, 分析了墙体宽度对墙体抗震性能的影响。结果表明: 与墙体宽度为 2400mm 的有限元模型相比, 宽度为 2160mm 时, 极限承载力下降 4.65%; 当宽度为 12mm 时, 极限承载力下降 27.88%。墙体宽度与极限承载力呈正比关系, 墙体宽度越大, 墙体的承载能力就越强。

**关键词** 生土结构; 自嵌固生土墙体; 墙体宽度

**中图分类号:** TU12

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2097-3365(2024)04-0001-03

## 1 前言

生土结构房屋是人类重要的安全庇护场所, 在我国农村地区, 部分居民依然生活在各式生土建筑中<sup>[1]</sup>, 为了改变传统生土结构整体性欠缺、材料性能低劣的缺点, 国内外研究人员提出了一种新型的砌筑方式, 不使用砂浆等砌筑材料, 利用自嵌固生土砌块的凸起和凹陷进行砌筑。自嵌固生土结构的出现, 能够提高生土结构的建筑效率和精度, 符合建筑行业装配式的发展趋势, 应用前景非常广泛。

Safiee 等<sup>[2]</sup> 对自嵌固剪力墙体进行了试验, 研究表明墙体的长细比在一定程度上影响着墙体的各项力学性能。Rogiros Illampas 等<sup>[3]</sup> 对生土结构房屋进行了抗震性能试验和有限元分析, 结果表明砌块本身以及连接方式直接影响房屋的抗震性能。

马宏旺等人设计了一种自嵌固的混凝土砌块, 通过实验和有限元分析可知, 在墙体中设置构造措施, 例如添加上下贯通的芯柱, 能够提高自嵌固墙体的抗震性能<sup>[4]</sup>。王毅红等<sup>[5]</sup> 在自嵌固生土砖中加入适合的麦秸和水泥, 能够有效提高生土砖的抗压、抗拉等性能。杨辉<sup>[6]</sup> 对夯土墙进行了试验和数值分析, 研究了夯土墙的抗剪承载力的计算公式。

本文在已有试验的基础上, 利用 ABAQUS 有限元模拟软件, 建立与试验试件相对应的有限元模型, 研究了墙体不同宽度对抗震承载力的影响, 为自嵌固生土结构的后续研究提供依据。

## 2 试验简介

传统的生土结构, 抗震性能有明显的缺陷, 例如整体性差, 抗震能力弱, 缺乏有效的抗震措施等。为

了提高自嵌固生土墙体的抗震能力, 需要采取有效的加固措施和抗震设计, 因此参考的自嵌固生土墙体试验中, 墙体设置了混凝土构造柱和加强梁, 通过框架整体的约束, 加强墙体的整体性, 能够明显提高墙体的抗震承载能力和变形能力。

根据常见生土结构和村镇房屋墙体的实际尺寸, 结合自嵌固生土砖的尺寸, 设计 1:2 缩尺墙体试验模型, 模型墙体宽度 2400mm, 高度为 1530mm, 厚度为 120mm, 构造柱截面为正方形, 尺寸为 120mm。

通过低周往复荷载对自嵌固生土墙体进行抗震性能试验, 同时考虑上部荷载对墙体的作用, 在试验开始之前, 上部荷载通过加载装置施加到墙体顶面。根据缩尺比例以及实际荷载情况计算, 竖向压应力为 0.219 MPa。试验的加载方式通过位移控制, 位移按照不同级别循环施加, 首先对墙体施加一个推动的位移, 再施加拉动位移。当墙体破坏明显或者荷载下降到极限荷载的 85% 时, 结束试验。加载制度分为两个阶段, 第一阶段荷载每循环一次, 加载位移增加 1mm, 加载 6 次; 第二阶段, 荷载每循环两次, 加载位移增加 2mm, 直到试件满足破坏条件。

## 3 建立有限元模型

### 3.1 模型建立

墙体试件中使用的材料有生土砌块、钢筋和混凝土。其中在软件中, 墙体与混凝土选择为三维实体, 钢筋形状选择为平面线。本文混凝土、墙体均使用 C3D8R 单元, 钢筋均采用 T3D2 单元。经试算, 自嵌固生土墙体与混凝土单元的划分尺寸为 45mm, 钢筋单元的划分尺寸为 50mm。

砌体墙体建模的方法主要有分离式、整体式和组合式,本次有限元模型分析采用整体式模型。在建立模型中,要考虑自嵌固生土墙体的连接方式,包括砌块的互锁结合,构造柱与加强梁的连接,混凝土内部的连接。本次建立模型忽略构造柱和加强梁内部钢筋的相对滑移,生土墙体和加强梁、构造柱之间则采用绑定约束(tie)。采用绑定约束,能够简化模型,在满足实际工程要求的前提下,能够快速得到计算结果。

### 3.2 材料属性

试验中用到的材料属性如下:钢筋HPB300级,屈服强度284MPa,泊松比取为0.2,密度 $7.8\text{t/m}^3$ ;混凝土抗压强度26.4MPa,弹性模量30GPa,泊松比参考规范取0.2,密度 $2.5\text{t/m}^3$ ;自嵌固生土砖砌体抗压强度0.6MPa,弹性模量30MPa,泊松比取0.35,密度 $1.72\text{t/m}^3$ 。

本次建立的模型采用DP破坏准则,在分析中认为由于拉伸开裂和压缩破坏导致材料失效。混凝土材料采用混凝土塑性损伤模型,按照《混凝土结构设计规范》附录C中给出本构关系进行参数设置。钢筋选用规范附录中理想弹塑性双直线模型。本次模拟自嵌固生土墙的本构关系使用长安大学张又超在抗压试验研究中得到的本构关系式<sup>[7]</sup>。

ABAQUS在分析时需要输入混凝土损伤塑性模型,本次模型参数参考上海交通大学马奇<sup>[8]</sup>的设定。相关的塑性参数为:膨胀角为 $10^\circ$ ,流动势偏移值为0.1,双轴及单轴极限抗压强度比为1.16,不变量应力比值为0.667,粘性参数为0.005。

### 3.3 加载方案

加载时设置两个分析步,分别考虑墙体上部竖向荷载和水平荷载,在施加水平荷载的同时要保持上部

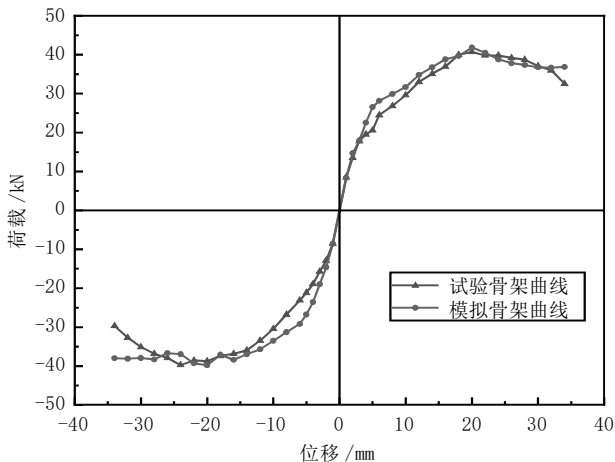


图1 骨架曲线对比图

荷载的稳定,加载制度与试验相同。

### 3.4 有限元分析模型的验证

将模型分析计算得到的结果与试验结果进行处理,得到试验骨架曲线对比如图1所示,刚度退化曲线对比如图2所示。

由模拟的骨架曲线与试验的骨架曲线对比可知,试验中的推方向的极限荷载为40.76kN,模拟分析得到的极限荷载为41.57kN,误差在1.99%;拉方向的极限荷载为39.71kN,模拟分析得到的极限荷载为40.79kN,误差在2.72%。模拟分析得到的承载能力比试验中的数值偏大,且基本没有下降段。刚度退化曲线在后半段基本重合,且模拟分析得到的承载能力大于试验中的数值。造成误差的原因主要有:利用ABAQUS软件建模时对材料进行理想化的处理,整体式建模未充分考虑自嵌固生土砖的相互作用以及自嵌固生土墙的本构关系尚需进一步的细化研究。通过调整,本次模型的误差在工程实际应用的允许范围内,可以作为有效的模型进行后续的分析研究。

## 4 高宽比对墙体抗震性能的影响

在实际生土房屋建造过程中,每层的建筑高度一般是不变的,由于生活方式、使用习惯不同,每个房间的开间和进深也都会发生变化。因此,对于自嵌固生土墙体的抗震性能的分析,墙体的宽度是影响墙体性能的重要因素之一。根据本次试验中民居房屋墙体的例子,建立了5片墙体宽度不同的模型进行对比分析。模型的尺寸分别为:WHG-1为 $2160\text{mm}\times 1530\text{mm}$ 、WHG-2为 $1920\text{mm}\times 1530\text{mm}$ 、WHG-3为 $1680\text{mm}\times 1530\text{mm}$ 、WHG-4为 $1440\text{mm}\times 1530\text{mm}$ 、WHG-5为 $1200\text{mm}\times 1530\text{mm}$ ,墙体厚度均为120mm。

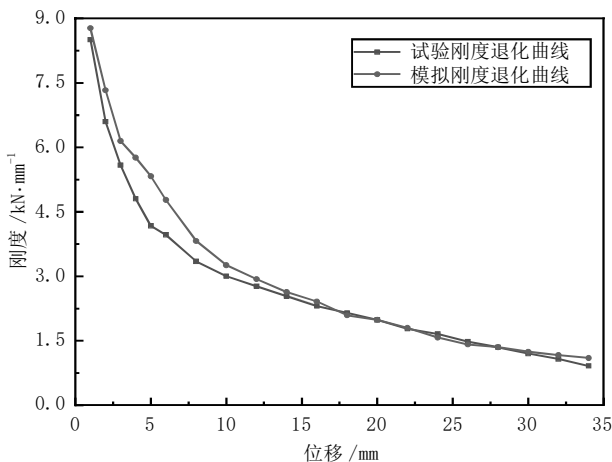


图2 刚度退化曲线对比图

根据计算分析,可以得到各个墙体模型的骨架曲线如图 3 所示。

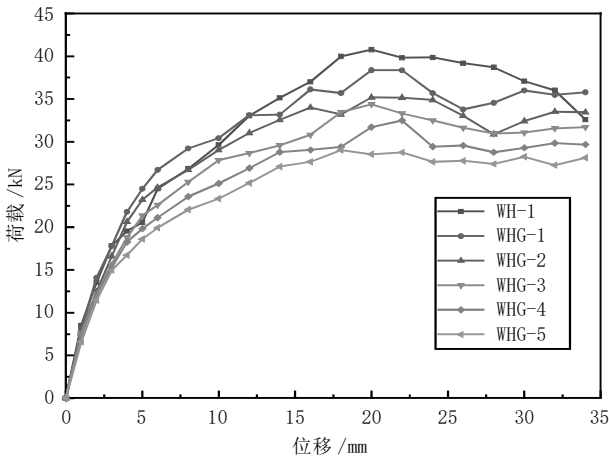


图 3 不同高宽比墙体的骨架曲线对比图

对不同高宽比墙体模型的骨架曲线分析,当墙体宽度为 2160mm、1920mm、1680mm、1440mm、1200mm 时,模型墙体的极限承载力分别为 38.37kN、35.18kN、34.38kN、32.48kN、29.02kN,随着墙体宽度的减小,模型的极限承载力也在不断降低。与试验墙体相比,当宽度为 1200mm 时,极限承载力下降 27.88%。

由此可知,当墙体高度保持不变时,随着墙体宽度的减小,墙体的极限承载力下降幅度比较明显。本质上来说,墙体宽度的减小,就是承担地震剪力的横截面积减小。

自嵌固生土墙体的刚度,主要由墙体、混凝土梁和构造柱三者刚度构成。对不同宽度墙体的数值模拟结果进行处理,能够得到墙体模型刚度退化曲线如图 4 所示,整个加载过程中模型的刚度均匀退化,没有出现明显的突变。当墙体宽度为 2160mm、1920mm、1680mm、

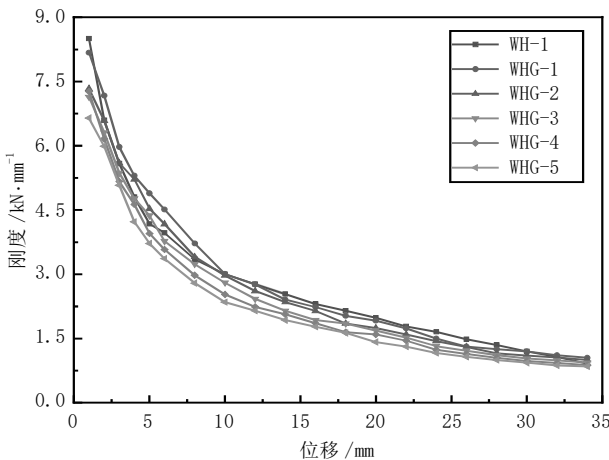


图 4 不同高宽比墙体刚度退化曲线

1440mm、1200mm 时,模型墙体的初始刚度分别为 8.17kN/mm、7.33kN/mm、7.13kN/mm、7.27kN/mm、6.65kN/mm。随着墙体宽度的减小,模型的初始刚度也在不断降低,当墙体宽度为 1200mm 时,初始刚度下降 21.76%。刚度退化曲线在前半段没有明显的重叠部分,由此可知,当墙体高度保持不变时,随着墙体宽度的减小,对墙体在低周往复作用下刚度的影响比较明显。

### 5 结语

1. 通过建立自嵌固生土墙体模型,并将数值计算结果与试验结果进行对比,发现墙体骨架曲线、刚度变化等结果吻合较好,验证了有限元建模方法和计算的准确性,能够使用此模型对该类自嵌固生土墙体进行后续分析。

2. 当墙体高度不变时,改变墙体的宽度,能够明显影响墙体的承载能力和刚度。与试验墙体相比,当保持墙体高度不变,宽度减小至 1200mm 时,墙体极限承载力和初始刚度分别下降了 27.88% 和 21.76%。因此,当墙体高度固定时,在一定合理范围内增大墙体宽度,能够有效提高墙体的抗震能力。

### 参考文献:

- [1] 王毅红,梁捷,张项英,等.我国生土结构研究综述[J].土木工程学报,2015,48(05):98-107.
- [2] Safiee N A, Jaafar M S, Alwathaf A H, et al. Structural Behavior of Mortarless Interlocking Load Bearing Hollow Block Wall Panel under Out-of-Plane Loading[J]. Advances in Structural Engineering, 2011,14(06):1185-1196.
- [3] Illampas R, Charmpis D C, Ioannou I. Laboratory testing and finite element simulation of the structural response of an adobe masonry building under horizontal loading[J]. Engineering Structures, 2014(80):362-376.
- [4] 马宏旺,张冬冬,马泽,等.无砂浆自嵌固砌体结构体系及抗震性能分析[J].地震工程与工程振动,2014(34):453-459.
- [5] 王毅红,闫刘学,兰官奇,等.麦秸与水泥复合掺料对生土自嵌固空心砖力学性能的影响[J].硅酸盐通报,2018,37(08):2569-2575.
- [6] 杨辉.承重夯土墙体抗剪承载力分析[D].西安:西安建筑科技大学,2012.
- [7] 张又超.生土混合结构墙体抗震性能试验和理论研究[D].西安:长安大学,2017.
- [8] 马奇.新型生土砌体强度试验及抗震性能研究[D].上海:上海交通大学,2017.