

屈曲约束支撑的原理与应用前景

涂帅

民航机场规划设计研究总院有限公司

摘要: 屈曲约束支撑作为一种新型支撑近年来发展迅速, 技术日趋成熟, 越来越多的应用到实际工程中。本文对屈曲约束支撑的原理进行了简要的介绍与分析, 简述了其基本构造及其性能优良、耗能能力强、施工进度快、质量可靠的特点, 简要介绍了屈曲约束支撑的力学模型以及性能检验要求, 对其在近年来的发展趋势进行了总结。

关键词: 屈曲约束支撑; 力学模型

一、概述

近几十年来我国建筑行业飞速发展, 工程抗震理论日趋完善, 随着国内外研究的推动, 大量新理论新技术越来越多的投入到工程实践中。近年来, 一种新型支撑—屈曲约束支撑, 随着国内外研究的进展已经日趋成熟, 并已经越来越多的应用到实际工程中。

二、屈曲约束支撑的原理与力学模型

(一) 原理

支撑是一种最为经济的抗侧力构件, 它既能提高结构的刚度和承载力, 又不影响建筑采光以及内部空间的分割, 且施工方便。传统的带支撑框架有中心支撑框架CBF (Centrically Braced Frame) 和偏心支撑框架EBF (Eccentrically Braced Frame)。中震和强震时, CBF中的支撑会受压屈曲和受拉屈服, 而屈曲会使受压承载力降低, 从而限制了支撑作为抗侧力构件的耗能能力, 因而大多数抗震规范都对中心支撑的抗震承载力进行调低。EBF通过偏心梁段的屈服, 限制支撑的屈曲, 可是结构具有较好的耗能性能。但是由于偏心梁段屈服, 地震后结构修复较为困难, 且支撑的刚度得不到完全发挥。

由于支撑屈曲不利于能量耗散, 因此相对于传统CBF提出了一种新的可以避免支撑屈曲的体系, 称为屈曲约束支撑钢框架BRBF (Buckling Restrained Braced Frame), 屈曲约束支撑 (Buckling-restrained Brace) 由芯材, 外套筒以及套筒内无粘结材料组成。虽然BRB形式多样, 但原理基本相似, 利用刚度较大的外套筒拟制中心芯板的屈曲。支撑的中心是芯材 (Steel Core), 为避免芯材受压时整体屈曲, 即在受拉和受压时都能达到屈服, 芯材被置于一个钢套管 (Steel Tube) 内, 然后在套管内灌注填充材料, 该填充材料具有一定的强度, 又有较好的密实性, 且耐久性优越。为减小或消除芯材受轴力时传给填充材料的力, 而且由于泊松效应, 芯材在受压情况下会膨胀, 因此在芯材和砂浆之间设有一层无粘结材料或非常狭小的空气层 (Gap)。屈曲约束支撑在日本应用较多, 在美国、加拿大和我国地区也有使用, 我国大陆地区也在推广这种支撑体系, 并且在北京、上海、西安等在建建筑中已经开始使用。

屈曲约束支撑的发明解决了普通钢支撑的失稳破坏的问题, 使钢结构支撑在受拉和受压时候性能一致, 从而大大提高了钢材的利用率。屈曲约束支撑成了结构的耗能元件, 起到结构“保险丝”的作用。屈曲约束支撑结构延性性能好, 耗能能力增强, 且屈曲约束支撑施工方法与普通钢结构支撑相同, 施工进度快, 质量可靠。

当结构采用屈曲约束支撑后, 建筑物经强烈地震后, 主体结构将不会破坏, 从而保护建筑物内人员安全和财产安全。

屈曲约束支撑作为一种耗能支撑, 主要由三部分构成: 芯材、无粘结材料和外围约束机制。屈曲约束支撑通过芯材在轴向力作用下产生的塑性变形来耗散地震能量^[1]。为防止芯材出现受压屈曲失稳现象, 保证受拉和受压时均能实现全截面屈服, 在芯材外围设有屈曲约束机制。由于泊松效应, 芯材受压时膨胀, 需在芯材与约束套管之间留有厚度适中的间隙。通过

芯材外围涂刷的无粘结材料, 不仅可以实现设置间隙的目的, 而且降低芯材与约束套管的摩擦阻力, 保证了芯材的受力均匀。正是基于上述原理, 屈曲约束支撑在轴向拉压力作用下均能实现全截面屈服, 改善了普通支撑受压屈曲的特点, 使得屈曲约束支撑不仅具有普通支撑的优点, 而且具有优异的耗能行为, 改善了传统支撑框架体系的抗震性能。

屈曲约束支撑改善了普通支撑受压屈曲的特点, 在轴向力作用下, 拉压时均能实现全截面屈服。在普通支撑与屈曲约束支撑芯材参数相同的情况下, 有研究结果表明屈曲约束支撑, 拉压对称, 没有出现屈曲现象, 耗能效果好; 普通支撑拉压严重不对称, 受压时屈曲现象严重, 耗能效果差。

(二) 屈曲约束支撑 (BRB) 的力学模型

屈曲约束支撑 (BRB) 为轴心受力构件, 其核心截面在轴向力作用下可全截面屈服, 故其屈服力按下式计算:

屈曲约束支撑 (BRB) 理想弹塑性滞回模型

屈曲约束支撑 (BRB) 变形与楼层位移的关系:

$$F_y = Af_y$$

式中: A 为阻尼器核心钢材面积, f_y 为核心钢材屈服强度。

屈曲约束支撑 (BRB) 的弹性刚度可按下式计算:

$$K_d = \frac{EA}{L_d}$$

式中: E 为钢材弹性模量, L_d 为阻尼器长度。

软钢阻尼器的屈服位移可按下式计算:

$$D_y = \frac{F_y}{K_d}$$

(三) 屈曲约束支撑 (BRB) 的性能检验要求

根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010) (2016年版) 和《建筑消能减震技术规程》(JGJ297-2013) 的要求, 屈曲约束支撑性能检验要求如下:

对屈曲约束支撑 (BRB), 抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的3%, 当同一类型同一规格的消能器数量较少时, 可在同一类的屈曲约束支撑中抽检总数量的3%, 但不应少于2个, 检验支撑的工作性能和拉压反复荷载作用下的滞回性能, 检测合格率为100%, 该批次产品可用于主体结构。检测后的屈曲约束支撑不应用于主体结构。

对位移相关型消能器, 在消能器设计位移幅值下往复循环30圈后, 消能器的主要设计指标误差和衰减量不应超过15%, 且不应有明显的低周疲劳现象。

三、应用前景

屈曲约束支撑近年来发展迅速, 随着学者们的研究日益深入, 目前已发展出多种新型屈曲约束支撑, 如装配式屈曲约束支撑、销钉式防屈曲支撑^[2]、双钢管屈曲约束支撑、三重钢管屈曲约束支撑^[3]、双管式挫屈束制支撑等, 屈曲约束支撑向着材料更轻质高能、安装过程更简便、支撑性能更优越的方向发展, 发展前景广阔。

参考文献

- [1] 王永贵. 《端部加强型屈曲约束支撑抗震性能与设计方法》[M]. 中国建筑工业出版社, 2015.
- [2] 赵莹宇, 闫维明, 贾洪, 等. 销钉式防屈曲支撑性能试验研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2013.
- [3] 周云, 邓雪松, 钱洪涛, 等. 开孔式三重钢管防屈曲耗能支撑性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2010 (9).