

摩擦摆支座不同步受力对地震响应的影响

胡瑾希

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要:在采用摩擦摆支座桥梁的常规抗震分析中,一般按所有摩擦摆支座同步受力考虑。但实际上,由于活动支座顶面平面滑板具有较大的纵向自由程,摩擦摆支座受力不同步。现以 MIDAS CIVIL 通用有限元软件为例,提出准确模拟摩擦摆支座顶部平面滑动与底部圆弧滑动的方法,并以城市高架桥中(45+70+45)m 连续钢混凝土组合梁为研究对象,在 E2 地震作用下,分析了不同步受力时的地震响应机理,并从减隔震位移、梁端位移、端缝闭合量等多个角度,分析支座同步受力与不同步受力的差异,得出采用非同步受力更符合实际,而同步受力模拟方法,位移响应偏小的结论。

关键词:摩擦摆支座;不同步受力;平面滑板;圆弧滑板;减隔震位移;端缝

中图分类号: U443.36

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)02-0098-03

0 引言

目前在城市高架桥梁的设计中,对于跨越路口、避让管线等特殊节点区域,往往需要采用大跨结构,这其中抗震方式的选择尤为重要。传统的抗震为延性抗震,通过加大立柱截面尺寸,提高自身能力来抵抗地震作用,但自身刚度的提高又将造成地震作用的进一步加大,立柱受力的加大,造成桩基受力同步增大,工程量加大,这种恶性循环导致工程并不经济。而减隔震技术,却与此相反,通过弱化特殊部位使其发生大变形来消耗地震能量,同时结构柔度的增加,使得地震反应也相应降低,从而保证主体结构的安全。而这个特殊的部位,常用的主要就是支座和阻尼器。地震后最多只需要更换支座,甚至可能只是更换支座的某个零件就能满足结构使用要求,使得工程经济性迅速提高。

常用的减隔震支座主要有:高阻尼橡胶支座、铅芯橡胶支座、摩擦摆减隔震支座、拉索减隔震支座等。不同支座均有各自适宜使用的环境。现主要对摩擦摆支座进行研究分析。

1 摩擦摆支座介绍

摩擦摆的活动,主要靠三块滑板:平面滑板、球面滑板、减震(圆弧)滑板,如图 1 所示。其中平面滑板与球面滑板组成了常规的球钢支座,前者负责平

动、后者负责转动;底部圆弧形的减震滑板则是摩擦摆减震的核心。

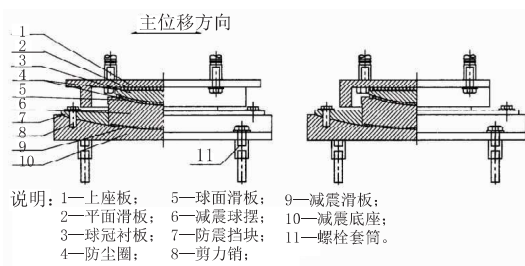


图 1 双向活动摩擦摆支座构成图^[1]

静力工况下,剪力销将底部圆弧滑板锁定,摩擦摆支座与常规球钢支座相同,通过平面滑板与球面滑板满足静力下的位移需求;地震作用下,剪力销剪断,圆弧滑板才参与工作。圆弧滑板的工作原理类似单摆,上部结构的自重分力将成为单摆的回复力,同时摆面的摩擦效应也将消耗地震能量。

2 摩擦摆支座传统模拟方法

摩擦摆支座传统模拟方式均是考虑所有支座同步受力,相当于所有支座均是固定支座,没有自由程。摩擦摆规范^[1]对摩擦摆支座的性能要求也仅是针对底部的圆弧滑板,性能试验采用也是固定支座。

实际上一座桥梁包括了多个类型支座,对于活动支座,不论是否地震,平面滑板均发挥着作用。当地震作用下,底部圆弧滑板发挥作用时,由于不同支座的平面滑板自由程是不相同的,将导致多个支座的减震作用不同步。

传统做法均只考虑底部的圆弧滑板的作用,认为

收稿日期: 2021-05-11

作者简介: 胡瑾希(1990—),男,硕士,工程师,从事桥梁工程设计工作。

所有圆弧滑板同时同步发挥作用,忽视了顶部的平面滑板。而这造成了对地震位移估算的不准确。

3 考虑支座不同步受力的精细模拟方式

为评估这一影响,现结合实际工程,采用通用有限元软件 MIDAS CIVIL,精细模拟摩擦摆支座的平面滑板与圆弧滑板。

圆弧滑板的恢复力模型,主要是考虑了摆动面的摩擦和摆动造成的重心上升。两者是并联关系。平面滑板的摩擦作用效应采用双线性理想弹塑性弹簧单元模拟。其恢复力模型如图 2 所示。

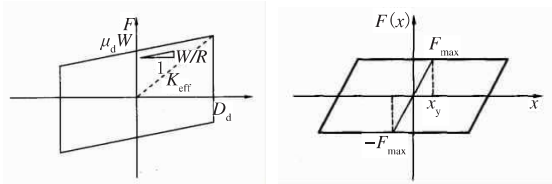


图 2 圆弧滑板(左)与平面滑板(右)恢复力模型^[2]

其中: D_d 为支座的减隔震位移, R 为圆弧曲率半径, W 为竖向力, μ_d 为圆弧面摩阻系数, F_{max} 为平面滑板的临界滑动摩擦力。

同时,平面滑板的自由程有限,超过设定值时,将与支座上钢板下的限位挡板发生碰撞。在 MIDAS CIVIL 将使用勾和间隙两个类型的连接共同模拟平面滑板的自由程。

综合来看,就是平面滑板(双线性弹簧+勾+间隙)与减震(圆弧)滑板的并联。因此,通过建立三个节点以模拟整个支座体系,如图 3 所示。相比传统做法,主要是增加了节点 A 至节点 B 的三个非线性单元。

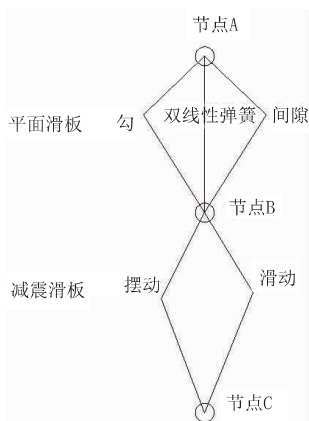


图 3 MIDAS 支座模拟示意图

4 工程算例分析

上海市浦东地区两港大道,节点桥梁(45+70+45)m,为钢混凝土组合结构变高连续梁桥,相邻联为简支变连续小箱梁结构。主桥桥宽 26.1 m,中墩采用 2.2 m×2.8 m 双立柱,中立柱高度约 14 m,双柱顶部

横向向外分开,直接布置支座,双柱顶设置系梁相连;边立柱与小箱梁标准段相同,均为 1.6 m×1.8 m 双立柱,柱顶设置预应力盖梁。主桥中墩采用摩擦摆减隔震设计,边墩采用普通球钢支座,相邻联为延性设计。过渡墩处小箱梁边墩采用球钢支座,其余部位小箱梁支座采用普通板式橡胶支座。主桥中墩摩擦摆支座,圆弧滑板参数均相同。

全桥模型如图 4 所示,主桥支座布置如图 5 所示。

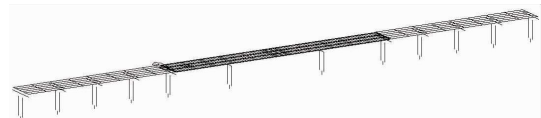


图 4 全桥有限元模型

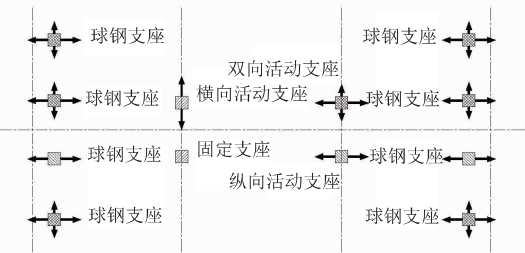


图 5 主桥支座布置示意图

支座活动方向平面滑板自由程,纵向为 150 mm,横向 40 mm。限位方向,自由程为 0。由于横向自由程一般远小于纵向自由程,不失一般性,主要对纵向地震进行分析。

E2 地震下,小箱梁联立柱将发生屈服,采用纤维模型设置塑性铰进行模拟,主桥中墩支座剪力销剪断后,摩擦摆发挥作用。

摩擦摆减隔震体系,E2 地震分析,主要是确定支座的减隔震参数和端缝需求量。减隔震参数影响地震响应,而端缝直接影响的就是伸缩缝型号的选择,过大的端缝将导致伸缩缝型号加大,间接影响行车舒适性。同时,端缝大小还影响支座位置、盖梁宽度、过渡墩的基础偏心设置等。因此,端缝的准确模拟非常重要。同时,梁端设置合理的间隙可以减轻甚至避免梁端碰撞问题,这也是城市抗震规范^[2]的强制性条文要求。

下面主要从支座变形、梁端位移、端缝三个角度进行对比分析。

工况一:所有支座同步受力。不考虑平面副作用,仅考虑底部圆弧面作用。

由于不考虑平面滑板的作用,此时各个中支座抗震情况均相同。提取固定支座结果如图 6 所示。

工况二:同时考虑平面副与圆弧副作用(中墩四个摩擦摆受力不同步)。下面主要对双向活动支座与固定支座进行对比。提取主要结果如图 7~图 10 所示。

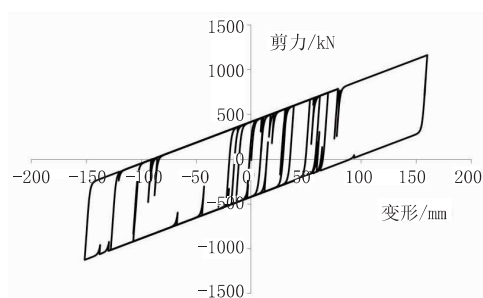


图6 固定支座 剪力-变形曲线图

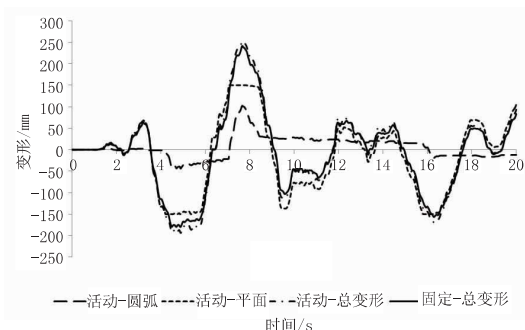


图7 双向活动支座与固定支座 变形-时间曲线图

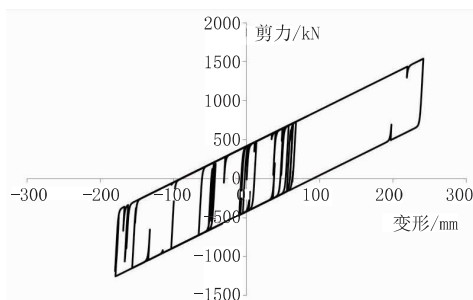


图8 固定支座 剪力-变形图

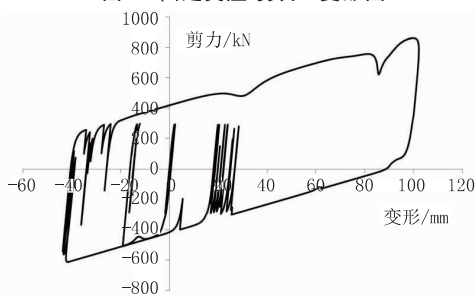


图9 活动支座(圆弧) 剪力-变形曲线图

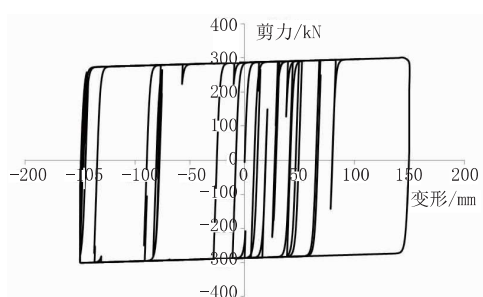


图10 活动支座(平面) 剪力-变形曲线图

表1为主要结果汇总表。

表1 主要结果汇总表

对比项目	工况1	工况2	
	固定支座	固定支座	活动圆弧 活动平面
减隔震位移/mm	160	241	99 150
支座剪力/kN	1 162	1 540	860 300
梁端位移/mm	178		263
端缝闭合量/mm	198		277

后,基本在平面行程达到150 mm才开始起作用,之后再于150 mm位置维持一段时间,这期间圆弧面只变形了约50 mm,随后反向地震作用,圆弧面基本维持在原位置,只有当平面反向运行到150 mm位置之后才开始运动,如此反复。

在地震作用下,固定支座是直接圆弧面上运动,而活动支座,由于平面滑动的阻力远小于圆弧面上的滑动加摆动,故非制动中墩,将优先发生平面滑动,将平面自由程消耗完毕后,与顶板限位板碰撞后,平面上不再滑动,然后其底部的圆弧面才发挥作用。最终不同步受力时,制动墩与非制动墩的摩擦摆支座减隔震位移差异较大,从表1数值上可以看出,差异约为支座的纵向自由程。

虽然圆弧面减隔震位移差异较大,但是固定支座与活动支座的总变形基本一致,主要是平面滑板的作用,图10显示平面滑板的滞回曲线也是非常饱满。

(2)同步受力工况,固定支座的减隔震位移小于不同步工况下的减隔震位移。

从表1数值上,可以看出同步受力时,支座减隔震位移近似为不同步受力固定支座和活动支座减隔震位移的平均值。

(3)从表1的数值上,可知固定支座减隔震位移的差值 $241-160=81$ mm,梁端最大变形的差值 $263-178=85$ mm,端缝最大闭合量的差值 $277-198=79$ mm,差值均与平面滑板纵向自由程的一半 $150/2=75$ mm较为接近。且均为不同步受力时变形更大。

(4)支座最大剪力与减隔震位移存在对应关系,同时剪力的差异也将造成桥墩内力的差异,传统做法下中墩受力均相同,而考虑不同步的实际情况仍然是制动墩受力远大于非制动中墩,且不同步受力时,制动墩受力比同步受力时大了32%。

6 结 语

本文分析了摩擦摆支座同步受力与不同步受力

(下转第121页)

5 计算结果分析

(1)从图7可以看出,支座的圆弧面反应比较滞

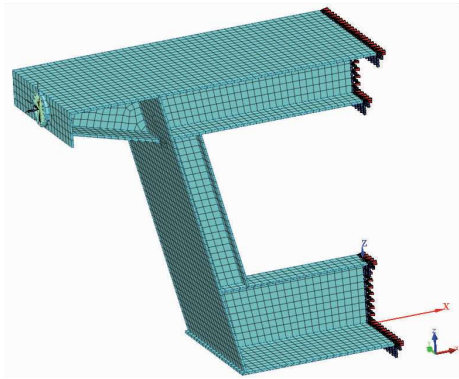


图 10 节段有限元模型

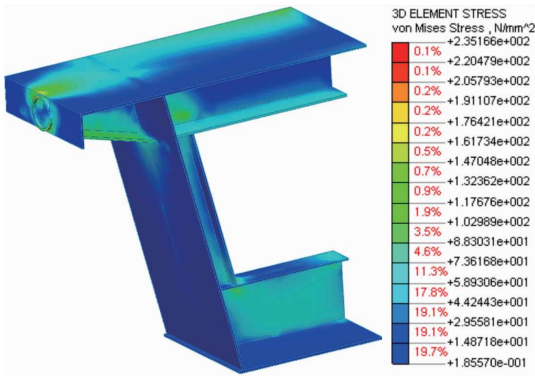


图 11 节段 Von-Mises 应力(单位:MPa)

V 型墩,支座置于墩顶,支座横向间距 3.5 m。抗倾覆验算的轴线为外侧纵向支座连线,重心在倾覆轴线以内的恒载抗倾覆弯矩计入 ΣSbk ,反之计入倾覆弯矩 ΣSsk ;人群活载按倾覆线以外 0.25 m 区域布载、风荷载按桥面以上竖向投影面积计算,两种倾覆弯矩计入 ΣSsk ^[6]。

整理得: $k = \Sigma Sbk / \Sigma Ssk$
 $= 4\,828.6 / 628.2 = 7.69 > 2.5$
其中: $\Sigma Sbk = 689.8 \times 4 \times 1.75 = 4\,828.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$\Sigma Ssk = 4.15 \times 0.25 \times 40.4 \times 0.125 + 1.3 \times 1.13 \times 0.45 \times 4.8 \times 40.9 \times 4.8 = 628.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$

5 结 语

(1)本工程在挖掘地域特色文化,并将其融入天桥建筑方案中做了一些探索,取得了一定的成果。桥梁整体造型新颖雅致,让人耳目一新,给类似景观人行桥的创作提供了一种思路。

(2)景观人行桥的建造是一把“双刃剑”,景观效果越优,通常工程造价越高,施工越困难,需要在功能性、施工便利性与景观特色中找到均衡点。本工程主梁采用工厂预制吊装以便利施工,造型顶棚现场焊接利于造型效果。

(3)经过全桥的静力与动力分析以及节点的局部分析表明:结构有足够的强度、刚度、抗倾覆稳定性;成桥状态后顶棚结构在一定程度上对桥梁整体刚度有贡献,全桥基频 4.85 Hz,超出规范限值较大范围;悬臂连接节点是传力关键点,类似桥梁需加强该类型节点的分析。

参考文献:

[1] 陈正斌.城市人行天桥美学造型简析[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2007(4):120-123.
[2] 李敏玉.人行天桥在城市景观中的应用研究[D].山东济南:山东建筑大学,2012.
[3] 杨士金,唐虎翔.景观桥梁设计[M].上海:同济大学出版社,2003.
[4] GB 50009—2012,建筑结构荷载规范[S].
[5] CJ69-95,城市人行天桥与地道技术规范[S].
[6] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].

(上接第 100 页)

在地震响应上的差异,得出不同步受力时,结构的地震响应更大的结论,传统的支座同步受力分析模式在位移估算上偏不保守,对制动墩的内力计算亦偏小。但从数值上,两种方法的位移地震响应与活动支座的纵向自由程存在内在的关联。

虽然不同步受力模式模拟实际情况更真实,但是该方法也有不足之处,由于非线性单元较多,有限元计算的速度大大降低,相比同步受力分析模式,所花费的时间需多数倍甚至数十倍。在工程设计中仍

需根据设计的不同阶段采取合理的计算假定,不宜盲目精细化。

了解了支座不同步受力时的地震响应机理和同步受力与不同步受力的差异,对工程设计时地震变形的估算可以进行更有效的预判,可为以后类似工程提供借鉴。

参考文献:

[1] JTT 852—2013,公路桥梁摩擦摆式减隔震支座[S].
[2] CJJ 166—2011,城市桥梁抗震设计规范[S].