

盾构隧道横向上的地震特性和抗震设计方法的研究岩土工程师考试 PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

https://www.100test.com/kao_ti2020/553/2021_2022__E7_9B_BE_E6_9E_84_E9_9A_A7_E9_c63_553623.htm

摘要：为了研究盾构隧道横向上的地震特性和抗震设计方法，进行了一系列振动台模型试验，并对试验应用了二维有限元动力分析。提出两种基于土体-隧道复合有限元模型和梁-弹簧有限元模型的静力分析方法，这种方法通过振动台模型试验得到验证。这项研究涉及隧道和土体动力反应性质，隧道和土体的相互作用及对不同的抗震设计方法的评价。研究表明：隧道位移及横向动力特性由周边土体决定；作者提出的静力分析方法可以直接用做隧道横向上的抗震设计中。关键词：地震特性；抗震结构设计；盾构隧道，振动台试验；地震变形方法

1.介绍 在日本、中国和许多其它国家的城市地区，生命线建筑中广泛采用盾构隧道。然而，一些地区处于地震高发区，过去曾经发生多次地震活动。从1985年墨西哥地震和1995年八户南部地震，盾构隧道的地震破坏就有报道。如今，抗震设计已经成为盾构隧道建设中一项重要的主题。在盾构隧道抗震设计中---这种设计分析的重点放在隧道的纵向和周边土体上（JSCE1996）---，人们都常认为，这种设计观点适用于中小型外直径的盾构隧道。近年来，具有复杂的横截面和大尺寸横截面的盾构隧道数量增长很快，要求在横截面部位进行抗震设计的情况越来越多。然而，盾构隧道和周边土体之间的动力相互作用相当复杂，适用的盾构隧道横向上抗震设计方法还未形成。在过去十年间，许多工程师和研究人员一直致力于适用的盾构隧道横向抗震设计方法的发展研究。通

常，当研究盾构隧道横向上动力特性时，可以采用土体-隧道复合模型的二维或三维动力分析。但是，在动力分析时，输入和输出的数据庞大，并且分析结果也很复杂，很难理解，还没有得到广泛应用的适用的抗震设计方法。地震变形方法是一种静力分析方法。在此方法中，自由土体反应位移被看作是施加在隧道结构上的地震荷载。PWRI (1997) 和JSCE (1996) 建议，把此方法当作一种盾构隧道纵向抗震设计的适用方法。据建议，地震变形方法的这种概念，其理论解可大致评估价在土体运动下，盾构隧道纵向上的最大截面应力 (SHIBA 1991、PWRI1992)。然而，这种盾构隧道横向上动力特性还未弄清；而且，这种建议的理论解也不能直接用在处于非规则土体中的盾构隧道上。为了充分研究这种地震行为（其中包括盾构隧道和周边土体相互作用，改进的合理适用的盾构隧道横向上的抗震设计方法）进行了一系列振动台试验。另外，在本项研究中，对这些试验应用了静力、动力分析，对不同的抗震方法进行了评价。

2. 振动台模型试验

2.1 隧道土体测试原型和模型

测试原型是外直径为10米的双线地下盾构隧道。盾构隧道为预应力砼扁平箱型截面，1米宽，0.4米厚。假设盾构隧道位于一个冲击层上（标准贯入试验中贯入度小于3）。假设冲击层和盾构隧道埋深分别为30米和14米，土体基础处在一个非常坚硬的洪积层上（标准贯入试验中贯入度大于50），在抗震设计中，可以把它看作为刚性体。在振动台模型试验中，依据相似原理选择土体和隧道材料。引用物理量的比例系数时，是依照如下假设：土体惯性力和弹性力是相互独立的物理量。冲击层和盾构隧道分别用硅胶和聚乙烯模拟。为了方便制造隧道模型，忽略了截面横向和

圆周向的连接点。而且，隧道模型分成7个相互独立的圆环，之间间隔用软的合成橡胶环填充。这样，纵向的地面边界对模型中央截面的影响可尽量减少。土体模型宽900毫米，侧面上看作是自由边界。根据前面基本的动力分析，在土体模型宽度大于900毫米情况下，土体模型中央处的振动特性与侧面半无限体边界时相比，变化很小，甚至是土体模型边界看作是自由边界时也是如此。

2.2 试验概要

所有的度量传感器均安置在试验模型的中央截面。记录绝对加速度时程的加速度计分别放在振动台上；并且，分别量测每个截面上的弯曲应变和轴向应变。记录水平位移时程的激光位移计放在土体一侧。分别进行了单一土体模型和土体-隧道复合模型振动台模型试验。试验模型底部固定在振动台上，在振动台上输入单向水平激振波。试验按如下步骤进行：首先，用正弦波激振模型，加速度设为80gal，频率从2HZ变到50HZ，然后，来自Tokachi-Oki地震、Ei-Centro地震及Hyogo-Ken地震的地震记录分别用做激振波，它们的时间基数缩短至实际时间的十分之一，最大加速度设为300gal。所有的试验均在弹性范围内进行，隧道和土体之间没有出现滑动位移。

3. 数值分析方法

3.1 动力有限元分析

为了解释试验现象，证明动力分析在抗震设计中的适用性，在振动台模型试验中采用了二维动力有限元分析（单一土体和土体-隧道复合模型）。可以把试验模型的中央全截面看作平面应变状态，并作为分析的目标截面。土体和隧道分别用等参固体单元和梁柱单元来模拟。假设隧道和土体之间未发生滑动位移。为了模拟试验模型的边界条件，基础可看作刚体，土体侧面看作是自由边界。分析中应用了时程综合反应方法（TSCE1989）。在数值模型中。土体

的阻尼衰减常数通过试验中测得的土体加速度谐振曲线来计算。由于隧道重量比挖去了的土体重量小得多，隧道的阻尼在分析中忽略不计。从土体底面输入试验中从振动台上量测得到的加速度时程

3.2 基于地震变形方法的静力分析

3.2.1 应用土体-隧道复合有限元模型的静力分析

基于地震变形方法的概念，采用了土体-隧道复合有限元模型的二维静力分析法。在这个分析中，土体和隧道的模型制作与动力分析中的是一样的，不过只需要全测试断面的一部分；而且水平滚动支撑安在土体侧面边界上。所应用的单一土体相对位移作为地震荷载（这个相对位移可以应用上述单一土体二维动力分析和土体侧面被看作是半无限体边界的一维近似动力分析法轻易计算出来），通过土体边界侧面结点按照静力输入。因为从设计的观点来看，隧道最大的截面应力是很明显的，故分析中只设置了当隧道顶部和底部最大位移差出现时的时间。

3.2.2 应用弹性梁有限元模型的静力分析

用梁单元估计隧道，用土体线弹性单元和正切的土体弹性单元估计土体-隧道。分析中采用了因单一土体相对位移和剪切应变引起的地震力，上述相对位移和剪切应变可用单一土体时一维或二维动力分析来计算。单一土体的位移通过土体弹簧静态输入。同时，土体剪应变直接通过梁结点静态输入。正如上述静力的土体-隧道复合有限元分析那样，在分析只设置当隧道顶部和底部最大位移差出现时的时间。

4. 隧道和土体在地震动下的动力特性

基于振动台试验结果和试验的动力分析，所得到的隧道和土体在地震动下的动力特性如下：土体加速度共振曲线和土体相对位移谐振曲线。在正弦波激振下的土体加速度和相对位移的振动。从这些数字中可以得出：土体加速度共振曲

线和土体相对位移谐振曲线和振动模型变化很少或根本不变，即使是土体中修建了一个盾构隧道。而且，隧道变形和轴向应变的谐振曲线中可以看出，隧道的谐振频率与土体的加速度和相对位移谐振曲线相同。可以确认，在地震动下并不发生盾构隧道的自振，盾构隧道在动力特性上完全遵循周边土体。隧道弯曲应变波形和地面加速度波形之间的比较；隧道弯曲应变波形和土体相对位移波形之间的比较（仅以tokach-oki地震波激振、隧道二截面为例）可以看出，隧道弯曲应变波形同土体相对位移波形相比，比土体加速度波形要相似得多。因此，可以确认，盾构隧道的变形性质由其周围土体控制。

5.数值分析方法的评价

5.1应用土体-隧道复合有限元的模型的动力分析

在正弦波激振下，具有单一土体谐振频率的隧道截面应力测试和动力分析结果如。在地震力激振下，隧道截面应力的动力分析结果和试验。在正弦力和地震力激振下，上述动力分析结果与试验数据接近。二维动态有限元分析的实用性得到证实，然而，对于这种分析，输入和输出数据很多也很复杂，尤其是进行实际隧道抗震设计的时候，分析要花很长时间，所以，有必要提高分析的效率。基于来自庞大结构的动力分析知识，即地震波高频成分在时程综合反应分析中只对结构的反应产生较小影响，通过降低分析频率的上限，进行了结构在地震力激振下的研究。因此，即使分析频率上限降至20HZ，分析结果，变化很少或一点儿也不变。而且，当采用20HZ上限分析频率时，分析所用的时间只是100HZ时的四分之一。

5.2应用土体-隧道复合有限元之模型的静力分析

以单一土体的谐振频率，正弦激振下的测试情况为例，采取了应用土体-隧道复杂有限元模型的静力分

析。在分析中发现，隧道截面的分析结果与隧道刚度（ EI ， EA ）及隧道与土体边界之间的宽度 L 有关。在分析中，通过改变宽度值 L 和隧道结构的弹性模量 E ，进行了单一土体谐振频率正弦波激振下的情况研究，当隧道外直径尺寸 D 的一倍的时候，以这种方法为基础的截面内力分析与试验结果接近。而且，当采取上述情况的试验时（一倍直径），基于此方法的最大弯矩和最大轴力相对于动力分析结果来说小于5%。可以确认，当 L 是隧道外直径尺寸一倍时，隧道截面内力分析结果几乎与隧道刚度不相关。土体-隧道复合有限元模型的静力分析作为一种抗震设计方法，其有效性得到证实。应注意，在这个模型中，土体基础看作是一个固定的边界。因此，如果土体底部情况与本研究的原型不同，推荐的分析模型应该做响应的修正

5.3 梁-弹簧模型静力分析

以在正弦波激振具有谐振频率的测试情况为例，运用了梁-弹簧模型的静力分析。隧道截面内力分析结果，可以看出，应用这种分析方法的分析经过与试验经过一致，基于土体位移的截面内力比例与基于土体剪应变的值大致相同，作为一种抗震设计方法，梁-弹簧模型静力分析的有效性得到证实，因为这种方法与隧道刚度和土体边界无关，所以此方法可以直接用于任何形式的土体情况。

6. 结论

从本研究中得到的结论如下：即使修建了盾构隧道，其周围土体的动力特性也基本不变，在地震动下，盾构隧道变形受周边土体的限制，从这些结果中可以证实，静力变形方法适用于盾构隧道横向抗震设计。二维动力分析的适用性得到证实，尤其是在获取土体、隧道动力特性上，这种分析方法效果显著。然而，作为一种抗震设计方法，有必要改进分析效率。对于应用土体-隧道复合有限元

模型静力分析，当是一倍隧道外直径宽度时，与本研究相似的土体情况时，这个方法可建议用做盾构隧道横向抗震设计的一种方法。对于应用梁-弹簧静力分析模型，因为这种方法与隧道刚度无关，可以作为盾构隧道横向抗震设计方法，而直接应用于任何土体情况。最后，在本次研究中，所有的振动台试验和数值分析都是在弹性范围内进行的，隧道和土体之间没有发生滑移。因此，在低水平的地震动下，所推荐的这两种静力分析方法可直接用于盾构隧道横截面抗震设计。然而，即使在相对较高水平的地震动下，考虑土体-隧道之间接触条件和土体非线性弹性，所推荐的静力分析方法也可应用。把岩土师站点加入收藏夹 100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 www.100test.com