

Study on Seismic Damage Forms and Failure Mechanisms of Bridge Pile Foundations

Li Wang

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: With the continuous development of China's economy and technology, the construction of some large cities is also constantly rising, but as the process of urban modernization is accelerating, the destruction of bridges in urban traffic engineering is also increasing, which is a daily trip for our citizens. It also has a greater impact. Since the 20th century, many destructive earthquakes have occurred in many areas of China, such as the Tangshan earthquake, the Wenchuan earthquake, and the Taiwan Chichi earthquake. Most of the bridges in these epicenters have been severely damaged. At the same time, earthquake-induced bridge damage There are various forms, such as pile foundation subsidence caused by soil liquefaction, failure of connection between pile cap and cap, and falling beam caused by lateral movement of pile foundation. This article summarizes the types of earthquake damage to bridge pile foundations, discusses the failure modes of bridge pile foundations under liquefaction sites, and analyzes the damage mechanism of bridge pile foundations.

Keywords: Bridge pile foundation; Seismic damage; Liquefaction; Failure mechanism

桥梁桩基震害形式及其破坏机制的研究

王莉

重庆交通大学, 重庆, 中国, 400074

摘要: 伴随着我国经济技术的不断发展, 一些大城市的建设也在不断的兴起, 但是随着城市现代化进程的日益加快, 城市交通工程中的桥梁破坏情况也在日益加剧, 这对于我国国民的日常出行也造成了较大的影响。自从 20 世纪以来, 国内很多地区发生了多起破坏性较大的地震, 例如唐山大地震、汶川地震、以及台湾地震, 这些震中地区的桥梁大都受到了严重的破坏, 同时地震引发的桥梁破坏形式是多样的, 例如土壤液化引发的桩基下沉、桩帽和承台的连接失效、桩基侧移引发落梁。本文对桥梁桩基震害形式进行了总结概述, 讨论了液化场地地下桥梁桩基的破坏模式, 分析了桥梁桩基的破坏作用机制。

关键词: 桥梁桩基; 震害; 液化; 破坏机制

1 引言

桩基础作为最古老的基础形式之一, 有着悠久的历史, 其能够在多种复杂地质条件以及荷载中有有效应对多种情况, 与此同时, 其和其他的一些基础形式相比教而言, 桩基础的优点不仅包括承载能力好、稳定性好、差异沉降小等方面, 同时桩基础能够提高地基的承载能力, 也是对地基失效进行预防的重要抗震举措, 从以上多种优点来看, 桩基础能够广泛的应用于桥梁结构、高层建筑、港口码头、海洋石油平台以及核电站结构之中。本文结合几次地震中的桩基震害的一些形式类型, 讨论桩基震害的机理问题, 希望能够为日后的桥梁桩基抗震设计做出一定的贡献。

2 桥梁桩基震害的形式类型

引发桥梁桩基震害的原因是多样的, 比如地基裂缝的大小和地震力的大小、土体的性质类别、桩-土相互之间的一种彼此影响、设计桩基础的一些尺寸大小等都与其息息相关。从近几十年来看, 对于国内外的一些地震中所发生的桩基桥梁震害现象研究表明, 桩基的震害机制相对来说比较复杂, 而其中的土体位移和砂土液化这两种情况都对桩基发生的震害的影响尤为严重。以下是把桩基桥梁震害进行简单的一个分类并加以描述。

2.1 地基裂缝引起桩基破坏

地基裂缝的规模、长短、大小以及深浅程度等都

和地震等级、地表情况以及受力特征等因素有着较大的关系。地基裂缝的部位通常都是由于地表受到挤压、伸张和旋扭等力作用而产生的^[1]。在地基裂缝穿过桩基时,就会被剪断,从而使得桩基发生严重的破坏。比如 1999 年的土耳其地震中某体育馆的震害中,因地面的裂缝穿过体育馆的一个角落,从而引起地面的水平向和垂直向两个方向发生了相对移动,同时在建筑物与地面两者之间形成一条条缝隙,使得桩基础被暴露出来,在桩头的位置处,桩基就会发生剪切破坏现象。而从另一方面来看,除 3 根柱子中有发生剪切裂缝现象外,该体育馆的上部结构的其他位置处并没有严重的损坏现象。

2.2 地震力引起桩基破坏

震源岩层通常在地震产生时发生断裂、错动等变化,同时,由于由岩层不断积累的变形能够通过弹性波形式突然释放,进而造成剧烈的振动,这也就是说地震波能够导致地层以及结构物之间发生剧烈的振动。从地震波的作用效果上来说,能够将地震波看作是地震力。而地震力是由于地震波导致的地面大幅度运动而产生的,进而多种结构产生发生较大幅度的运动和惯性力。

山肩邦男^[2]认为,桩与承台之间的接合处的不到位,主要就是由地震力所引起的桩基震害的重要原因,其主要表现在:钢筋在承台中埋入桩头的量比较少或者说几乎没有,因而,应该把桩内的钢筋和承台的连接要进行加强处理。图 1 为日本神户地震中西宫桥引起的落梁破坏的一个例子^[3]。



Figure 1 The falling beam of the approach bridge of Nishinomiya Bridge during the Kobe earthquake in Japan
图 1 日本神户地震中西宫桥引桥落梁破

在我国发生的一些大地震中,以唐山大地震为例,唐山大地震产生时,大量的桥梁由于地震力而导

致桩基被破坏。滦县滦河桥是连接天津—秦皇岛公路上的一座公路—输油管道两用桥梁。滦县滦河桥共有 35 跨,桥长 789m。滦县滦河桥上部结构为装配式钢筋混凝土简支 T 梁桥,下部结构为高桩承台桥墩,承台下方基础为 2 根桩直径为 $d=1.25\text{m}$ 的钻孔灌注桩基础。如图 2 所示是唐山地震中运河上的铁路桥示意图。



Figure 2 Torsion deformation of abutment of railway bridge during Tangshan earthquake
图 2 唐山地震中铁路桥的桥台扭转变形

2.3 软土地基上的摩擦桩基础震害

从桩基的受力形式上考虑桩的大体分类的话,能够将桩划分成端承桩、摩擦桩、端承摩擦桩以及摩擦端承桩等。对于端承桩需要需考虑的是在桩端的一个位置处把基岩打入一定的深度,同时该桩主要通过桩端的一个端阻力来进行承担它的上部结构和承台等的荷载。摩擦桩指的是软土层稍厚一些,桩仅打入一定深度但没深入到硬土层中的桩,即也就是说桩底的位置是位于较软的土层内,其轴向所承受的荷载是由桩侧的摩擦阻力和桩底的土反力来进行支承^[4]。因此一般而言,摩擦桩需穿越较厚的土层,所以摩擦桩的桩长比较长一些,且它的长细比也较大,但容易产生一种不稳定的现象。

针对一些相关的研究实验以及经验来说,应考虑把一些受力的结构尽量去选择优化它,以此能够达到一个合理的要求,与此同时也能够避免一些结构或者构件间刚度突变情况的发生,对于刚度变化较大的位置要进行结构优化。对于下部结构来说,下部结构要承受巨大地震力,刚度突变同样会造成很大的威胁。例如,硬场地的一个软弱土层交界位置处刚度所引起的一个突变就会很容易使得桩身的水平方向发生剪切破坏现象,但由于构件与构件之间的刚度的差异,一

些群桩和桩帽之间的连接位置处也会成为群桩基础的一个薄弱的位置。这些部位在地震力的作用下就会产生震害情况，主要表现为桩头从桩帽处脱落或者桩基连接位置处被剪坏。常见的桩基破坏形式如图 3 所示。

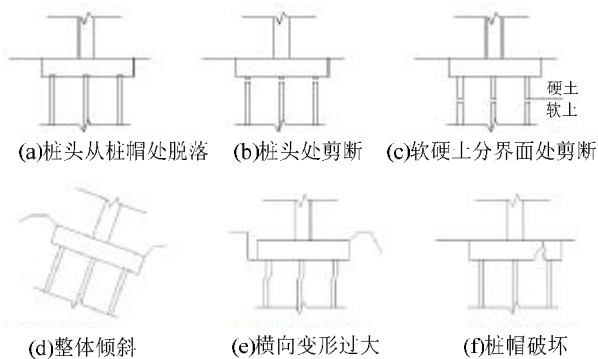


Figure 3 Failure of pile foundation under earthquake
图 3 地震作用下桩基的破坏形式

2.4 软土地基上的摩擦桩基础震害

从桩基震害实例以及破坏原因分析中能够得到，

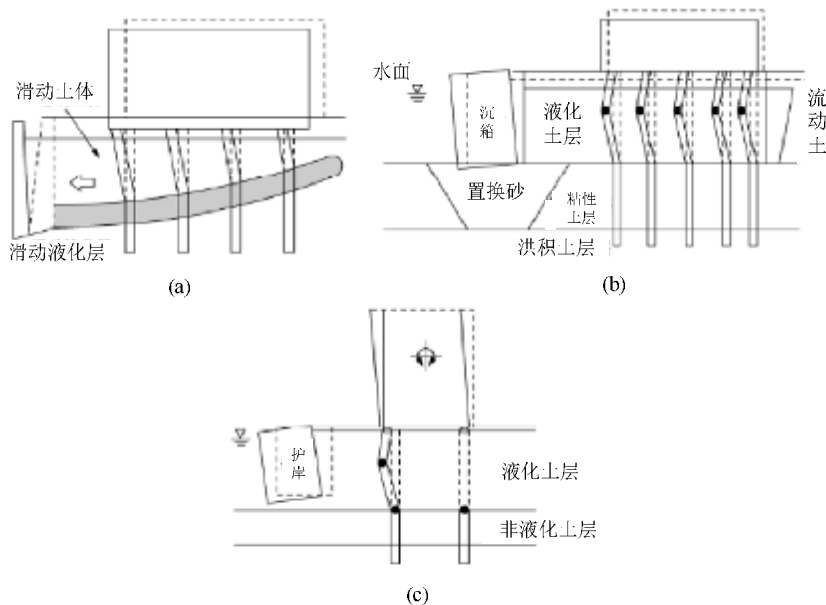


Figure 4 Seismic damage model of pile foundation on liquefied laterally expanded foundation
图 4 液化侧向扩展地基上的桩基震害模式

3 桥梁桩基抗震设计措施

对于非液化地基中的桩基破坏问题，可以采用桩基优化设计和桩基安全性评价等方法进行解决^[5]，而由于液化原因所造成的一些桩基的破坏现象更加的严重。对于我国发生的一些地震中，比如我国的唐山大地震，同样也是由于砂土液化和土体间的侧向水平位移导致的；滦县滦河桩基桥梁的破坏，还有胜利桥、越河桥桩基的破坏等等都是因为地震发生后，砂土产生液化从而引起土体和桥梁之间发生相对位移和错动现象。

液化侧扩地基中桩基的震害的主要表现形式如下图 4 所示^[6]。

考虑到流动的土体会对桩的侧向压力有影响，进而也会导致桩身在液化的底层和中部会发生一些剪切破坏和弯曲破坏的现象。

在桩顶的位置处进行牢牢的加以嵌固，在地震的一个惯性力的推动下发生了弯剪破坏。

由于桩身折断，桩基上部结构会有不同程度的不均匀沉降，对高层建筑来说，水平位移在其重心处比较大，因此会产生较大的附加弯矩，使的内侧的边桩受到拉应力。

通常在选择何种土层作为持力层时，要排除可液

化土层。但是在可液化地基中，假如使用打入式的预制桩，砂层处不但能够得到加密，同时还能穿过液化土层，进而使得预制桩支承能够处在稳定的下卧土层上。通过大量的震害调查得到，桩基是一种非常适合液化地基上的基础形式。在地震液化区中，桩的端阻力、侧阻力以及水平抗力都非常小。假如在可液化地基中使用打入式预制桩，那么要达到以下几个条件^[7]：

桩的端部深入稳定土层的深度（不包括桩尖部分）要通过计算来确定，通常要 $\geq 4.0/\alpha$ （ α 为桩的相对柔度系数），中等直径的桩，深度要 ≥ 7 至 14 倍的桩径（硬土取低值，软土取高值）；对于可液化土层，假如其他的稳定土层为碎石土，砂砾、粗中砂或者是坚硬粘土的话，桩端深入进可液化土层的深度要 $\geq 0.5\text{m}$ ，而针对其他土层来说，要满足 $\geq 2.0\text{m}$ 。

通过把桩头的嵌固程度进行改进。从一些大量的震害调查结果显示数据来看，无论是液化或者非液化土中的桩基，桩基桩头部位会由于弯矩及剪力达到最大的一种情况，进而就会很容易产生一些错位、拔出和钢筋断裂等破坏的现象。因而改进桩头嵌固程度，能够有效的降低桥梁桩基震害。

桩台下铺设 200 至 300mm 厚的、经过夯实的碎

石或砂垫层。

当考虑到土层会有侧向扩展的这种状况下，当进行桩的抗剪设计时，需要我们特别注意它的一个设计要求。

4 结语

桩基震害及破坏机制的研究是一个复杂的问题，本文通过对桩基震害的几种破坏机制进行介绍和总结，同时提出一些桩基抗震设计方法，为以后学者提供更为可靠的参考资料。

参考文献

- [1] 叶爱君. 桥梁抗震. 北京人民交通出版社. 2002, 100-125.
- [2] 山肩邦男. 兵庫县南部地震にお为建筑物基础の被害の特征と今後の対策. 基础工程. 1996, 150-178.
- [3] 杨克己. 实用桩基工程. 北京人民交通出版社. 2004, 140-147.
- [4] 李雨润, 袁晓铭. 液化场地上土体侧向变形对桩基影响研究评述. 世界地震工程. 2004, 20(2), 17-22.
- [5] 张会荣, 刘松玉. 地震液化引起的地面大变形对桥梁桩基的影响研究综述. 防灾减灾工程. 2004, 24(2), 350-354.
- [6] 杨克己等著. 实用桩基工程. 北京人民交通出版社. 2004, 149-157.
- [7] 刘义怀. 地震液化大变形对桥梁桩基影响评价理论与应用研究. 东南大学博士学位论文. 2005, 144-155.