

地震中的 地面运动和土的液化

[美] I.B.希德 I.M.伊德里斯 著



地震出版社

地震中的地面运动和土的液化

[美] H. B. Seed 著
I. M. Idriss

张在明 沈小克 译

地震出版社

1988

GROUND MOTIONS AND SOIL LIQUEFACTION DURING EARTHQUAKES

Earthquake Engineering Research Institute

地震中的地面运动和土的液化

[美] H.B.Seed I.M.Idriss 著

张在明 沈小克 译

责任编辑: 蒋乃芳

地震出版社出版

北京复兴路63号

天津大邱庄印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

787×1092 1/32 4 印张 85千字

1988年3月第一版 1988年3月 第一次印刷

印数: 0001--2100

ISBN 7-5028-0015-8/P.14

(423) 定价: 1.00 元

内 容 提 要

本书体现了Seed教授多年研究的成果、观点和方法，通过诸多工程实例对影响某些震害现象的因素和参数进行提炼简化，提出了便于在工程实际中使用的评价计算方法。

全书共分两章。第一章主要讨论地震中的地面运动特性、影响因素和主要参数的取值方法；第二章针对目前工程界所关心的砂土和粉质砂土液化问题，简要地阐述其机理，并结合震害实例提出了液化势的评价方法，介绍了评价研究和实用的发展现状。

本书可供土木建筑、地震工程、岩土工程等方面的设计、科研和教学人员参考。

序 言

直到六十年代初期,地震时土质条件对于结构反应的影响,尚未引起岩土工程师们足够的重视。然而,一系列灾害性的工程失效,包括1964年阿拉斯加地震中安克雷奇、瓦尔迪兹和苏厄等地的滑坡,1964年日本新潟地震中附近广泛发生的液化,以及1967年委内瑞拉加拉加斯地震中加拉加斯市结构破坏程度与当地土质条件之间的显著关系,引起了人们对于地震土动力学这一总的领域的极大兴趣。由于公众对原子能电站安全问题的关注和近来对坝体安全度的兴趣,特别是国家科学基金会关于减轻地震灾害项目的设立,促使这方面的研究和设计探索迅速开展,并已成为许多岩土工程公司和科研机构业务范围的重要组成部分。随着这类兴趣的增长和有关活动的日益增多,在地震岩土工程中,人们需要一种对于设计实践和问题探讨的简单而直接了当的论述表达。本书的出版即是为了满足这样的需要。本书的作者并不打算对于问题的各个方面进行完整无遗的讨论,而只是希望采用一种使得即便是对于这个专业不甚熟悉的工程师们也能明了的方式,指出某些基本要素。我们希望在这方面能对土木工程界的同行们有所裨益。

H. Bolton Seed

I. M. Idriss



一幢发生倾斜和下沉的建筑物——1964年日本新潟地震时
土层液化的后果之一

引 言

在地震影响区域以内，土的特性可能以若干不同的方式对地震灾害产生影响。在那些破坏与土的整体失稳有关，并造成地面永久性移动的地方，破坏与当地土质条件之间的关系自然是明显的。例如，地震时场地的震动可能促使松散土层的压密，从而造成地面大幅度沉降和差异沉降。由于这方面原因造成破坏的典型实例见图1和图2。图1所示是智利瓦尔迪维亚附近的一个岛屿在1960年智利地震中受构造运动和压密引起的地面沉降的综合作用已局部沉入海中；图2是1964年日本新潟地震时一座桥梁的桥台回填土中的差异沉降。

在一些包含松散粗颗粒土料的实例中，压密的趋势还可能造成足够量级的超静水孔隙水压力，导致土的液化，从而造成如图3所示结构的沉降和倾斜。1964年，由于松散饱和砂层的液化造成了新潟成千幢建筑物的严重破坏（Ohsaki, 1966）。

在软粘土和砂层中，动应力和由其产生的孔隙水压力的共同作用，可能产生大的滑坡。1964年3月27日阿拉斯加地震时安克雷奇市特内坚高地（Turnagain Heights）的滑坡即属此例（Seed and Wilson, 1967）。图4是这个滑坡地区的鸟瞰图。震前这个地区的海岸线由大约70英尺高的陡壁构成，以 $1:1\frac{1}{2}$ 的坡度向海湾倾斜。地震触发的滑坡沿海岸线长2英里，向内陆延伸的平均距离约700英尺。这样，滑坡区域的总面积大约为130英亩。在滑坡区域内，原始地面由于滑坡而完全破坏，形成了由隆起和下陷构成的复

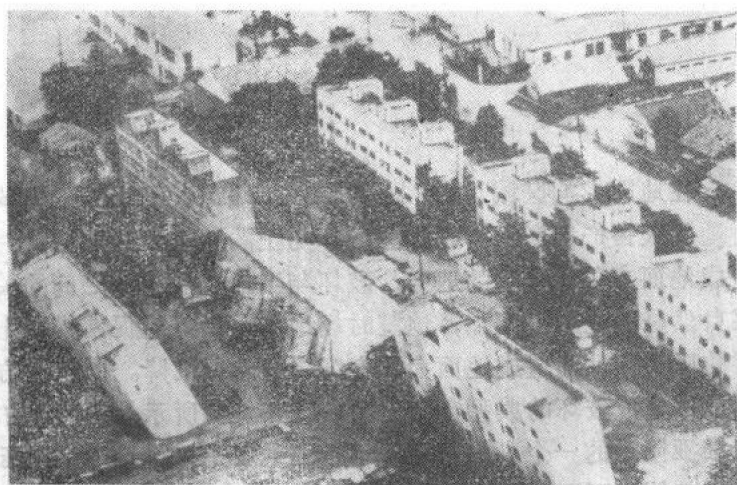


图3 1964年新潟地震中公寓建筑倾斜

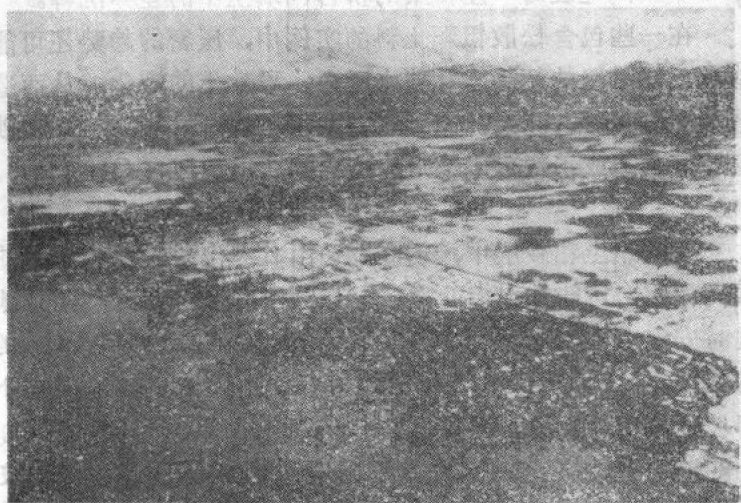


图4 阿拉斯加安克雷奇市特内坚高地的滑坡 (1964)

杂体系。在滑动过程中，下陷地段地面的平均陷落约 35 英尺。这个地段的房屋彻底毁坏，其中有些房屋随滑坡滑移达五百至六百英尺。这种类型的大滑坡，是地震中生命财产遭受损失的重要原因之一。

在如上所述的土体失稳实例中，土质条件所起的作用是十分明显的。但是，土质条件对地震地面运动产生影响从而造成结构破坏这一效应却并不那么明确。这种效应可能在地震时建筑物下土体仍然保持稳定的情况下导致结构破坏。

例如，人们早已认识到，地震时场地震动强度和与之相关连的建筑的破坏，受当地地质和土质条件的影响。Mac Murdo (1824)，在记述 1819 年印度 Runn of Cutch 附近的地震影响时就曾指出：“总的来说，位于基岩上的建筑物比那些基础没有达到土层底部的建筑物所受的地震影响要小得多”。Wood (1908) 在他研究 1906 年地震时旧金山海湾地区的震害分布和表观烈度的报告中也提出了场地以下土质条件可能对地面运动强度产生强烈影响的推理论证。从那时起，若干调查者都得出了类似的结论。

然而，仅仅是在最近 25 年中，人们才得到了在一个区域内几个部位上的强震观测记录，这些记录说明了土质条件的差异对强震地面运动的重大影响。例如，1957 年旧金山地震中 ($M \approx 5.3$)，在这个城市的几个部位上曾经获得了地面运动记录 (Idriss and Seed, 1968)。在一条通过该市的 4 英里长剖面上，土质条件的变化和相应的地面震动特性变化的记录示于图 5。由图可见，不管是记录得到的运动峰值加速度或者是从反应谱反映出来的频率特性的变化都是十分明显的。用记录得到的运动作为分析的基础，计算表明：在各个记录场地上，具有代表性的十层建筑物的最大基底剪力可能

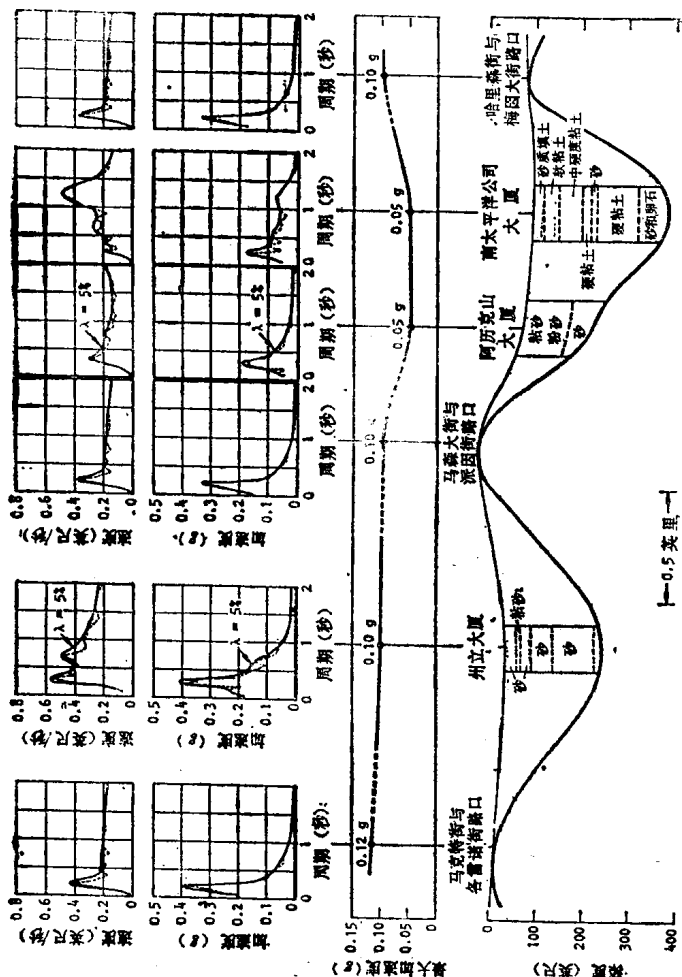


图 5 1957 年旧金山地震中记录的地面运动特性和土质条件

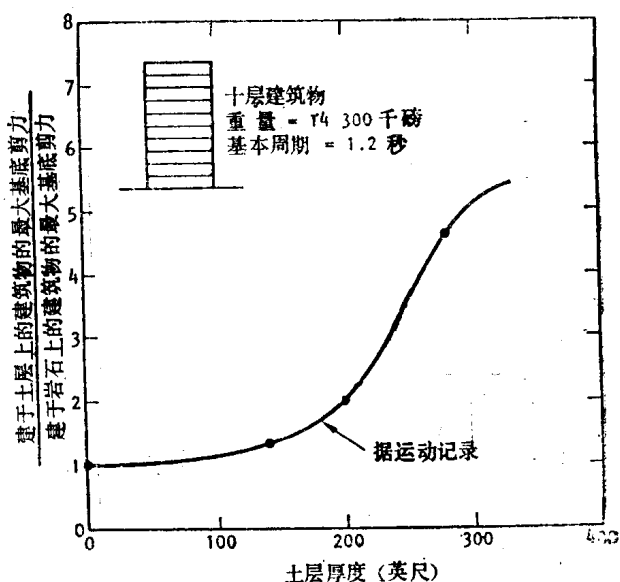


图6 1957年圣费尔南多地震中土层厚度对十层建筑物最大基底剪力的影响

出现相差几倍的变化。当建筑物位于基岩或者薄层土覆盖的场地上时，基底最大剪力值较低；而位于具有大约 300 英尺粘土和砂土覆盖的场地上时，基底最大剪力要高得多，结果如图 6 所示。很明显，我们的希望是在设计阶段就能预估这种变化的数量。

1967年加拉加斯地震后对加拉加斯市所做的调查也许是关于由地面震动造成的建筑物破坏与土质条件之间关系的最详尽的调查。虽然这次地震的强度大约只有6.4级，震中距该市35英里，但震动造成了4幢十至十二层公寓建筑的倒塌，二百多人丧生。还有其它的一些结构遭受了结构上的或装修方

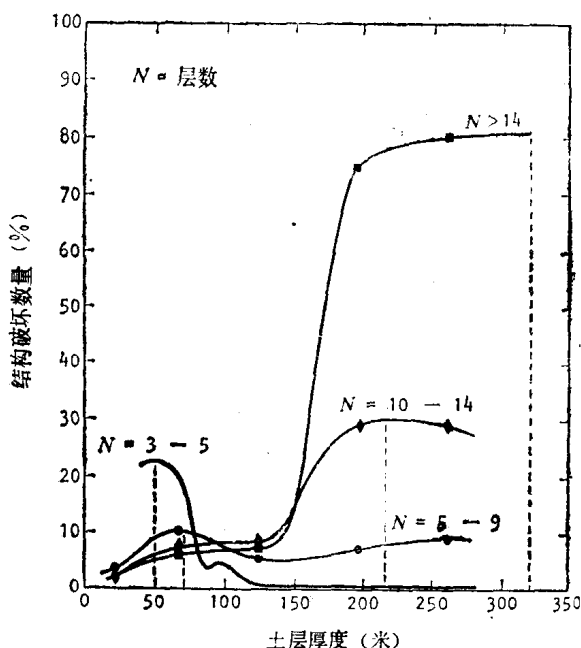


图7 1967年加拉加斯地震中结构破坏程度
与土层厚度的关系

面的破坏。关于建筑结构破坏与其地基下土层厚度之间关系的一项详细研究得出了如图7所示的结果(Seed and Alonso, 1974)。对于其下土层厚度为30—50米的三层到五层建筑物，其破坏程度比土层厚度超过100米的要严重很多倍。对于五层到九层的建筑，其下土层厚度为50—70米的，结构的破坏程度比其他土层厚度的要略重一些。但是对于超过十层的建筑，其下土层厚度超过160米的，结构破坏程度比土层厚度在140米以下者，要严重好几倍。以上现象说明：建筑地基下土层的深度和特性，对于地面运动特性，及由此而造成的建筑破坏有着强烈的影响。当然，在确定破坏类型的时候，我们 also 需在很大程度上同时考虑建筑物的特性。

当地土质条件对于地震地面运动及由此而产生的建筑破坏的影响的量级，在动力设计中是值得仔细考虑的问题。由于本书不可能全面地评述地震中土的反应的所有问题，我们仅将注意力集中在两个大家最关心的题目上：（1）土质条件对地震地面运动特性的影响。（2）评价土层液化势的方法。以下各章将就笔者认为是上述两个问题的最近发展情况加以论述。

目 录

引 言	(Ⅶ)
第一章 土质条件对地震地面运动的影响	(1)
一、地震地面运动的特性	(1)
二、影响地震地面运动的因素	(9)
三、土质条件对地面运动特性的影响	(14)
峰值加速度	(14)
最大地面速度	(19)
反应谱	(21)
四、设计使用的地面运动的选择	(25)
一般原则	(25)
关于设计反应谱的说明	(29)
设计加速度图的说明	(32)
五、结 论	(34)
第二章 土的液化	(35)
一、引 言	(35)
1964年6月16日新潟地震的液化效应	(35)
1964年4月29日阿拉斯加地震的液化效应	(41)
二、土液化的原因	(42)
三、评价液化势的一般方法	(46)
四、地震产生应力的简化评价方法	(49)
五、根据室内试验数据确定产生液化的循 环应力水平	(52)
循环简单剪切试验	(52)

循环三轴压缩试验.....	(55)
土样扰动对循环加荷试验数据的影响.....	(56)
六、循环加荷试验结果在评价土层液化势 中的应用.....	(57)
七、根据对已有地震的观测评价砂层的液 化势.....	(62)
利用现场数据评价循环受力的特性.....	(62)
土层液化特性的指标试验.....	(64)
标准贯入试验.....	(67)
八、现场数据的解释和液化势的评价 方法.....	(69)
近期现场数据.....	(71)
(1) 中国建筑规范(1974)的数据.....	(71)
(2) 中国海城地震(1974)与唐山地震(1976) 的数据.....	(72)
(3) 危地马拉地震(1976)的数据.....	(72)
(4) 阿根廷地震(1977)的数据.....	(72)
(5) 日本宫城Miyagiken- 隐岐Oki地震(1978) 的数据.....	(73)
砂土现场数据综述.....	(75)
粉质砂土的现场数据.....	(76)
对不同震级的修正.....	(80)
粘性土的液化.....	(82)
砂土和粉土内孔隙压力增量的确定.....	(83)
静力触探数据在标准贯入关系图中的应用.....	(84)
依据现场特性的评价方法小结.....	(87)
九、标准贯入数据在液化势评价中的 应用.....	(89)
十、液化势或循环流动势评价的安全系数.....	(92)

十一、结 论.....	(93)
参考文献.....	(95)
主要符号对照表.....	(103)
主要单位换算表.....	(105)

第一章 土质条件对地震 地面运动的影响

一、地震地面运动的特性

有关地震地面运动特性的知识是从过去地震的加速度记录中获得的。一个典型地面运动的加速度记录经过数字化并重绘后示于图8。一般来说，一个这样的记录显示互呈直角的两个水平方向和一个垂直方向的地面加速度时程。

水平运动的每一个分量，可容易地对时间进行积分，首先得到记录地点的地面速度时程曲线，然后得到位移时程曲线。积分过程要十分谨慎，以减少误差来源。这种从已知的加速度时程计算得到的地面运动，示于图9。

从如图8和图9所示的这种经过加工处理的记录，我们可以很容易地看出地面运动的某些主要特征，如：

1. 最大地面加速度
2. 最大地面速度
3. 最大地面位移
4. 显著地震动的持续时间

以上所列举的都是任何一次地面运动的重要特性。但是仅有这些特性还不能描述出地面运动震动影响的强度。强度还取决于运动的频率特性。例如，很高的加速度看来是一个潜在的危害，但是如果只发生在一个很短的时间内，它对很多类型的结构将只造成很轻微的破坏。1966年6月27日一次地震中，加利福尼亚州的帕克菲尔德附近得到的地面运动记