

② 79-82

高速黄土滑坡蠕、滑动液化机理的进一步研究[†]

王家鼎 刘悦

(西北大学城市与资源学系,西安,710069)

P642.22

摘要 基于野外调查、测绘、现场、室内实验及收集大量的滑坡位移观测曲线,结果发现:这些曲线呈振荡状。分析认为这种振荡曲线与地球自身的脉动有关,它是由地球脉动、高渗透水力坡降和大的滑体剪切作用叠加而成的一种呈非平衡态的复杂运动。从理论上分析了黄土遇水后 C 、 ϕ 值降低的原因(即黄土颗粒之间粘键和摩擦力大大降低)。同时,又深入分析了液化的外部影响因素(如脉动的振幅、频率、持续时间、波型和作用方向、渗透水力坡降以及滑体下滑大剪等)。这种大孔隙、疏松的饱和黄土在上述提到的非平衡振荡复杂运动作用下发生蠕动液化,蠕动液化加速了滑坡的滑动,滑动又使液化程度加深而变为滑动液化,滑动液化导致剧滑。

关键词 高速滑坡;脉动;液化;非平衡态

分类号 P319.5 **文献标识码** A **论文编号** 1000-274X(1999)01-0079-82

黄土, 滑坡, 蠕动液化, 地脉动, 滑动液化

近年来,关于高速滑坡机理的问题仍是一个研究热点,但用液化的观点来研究该问题的文献尚不多见。Muller^[1]曾提出滑坡的触变液化的观点,但他研究的是滑体在剧滑时巨大的振动力引起液化,而没有研究滑体开始时的液化情况。Sassa^[2]也曾用此观点对日本的滑坡做过一些分析。笔者曾在现场调查与室内试验的基础上^[3],深入地研究了高速黄土滑坡发生的全过程为蠕动→轻微液化(称蠕动液化)→滑体滑动→液化程度加深(称滑动液化)→剧滑。但饱和土是如何蠕动的?又是怎样引起的轻微液化,尚未做深入的讨论。本文拟以文献3为基础,对此问题进一步研究。

1 地脉动造成滑坡位移曲线呈非平衡态

1.1 地脉动

地脉动(日本学者称为常时微动)的动力源来自地球自身的振动,风、浪的冲击以及机械、车辆、房屋等人为干扰等。各种不同成因、不同强度、不同频率组成的综合振动效应。其最大位移约为1mm左右,有时为1 μ m左右;其振动频率常为0.05~10s;其主要特征是在排除干扰因素(如车辆或机械很近的

地方干扰)之后,看作各态历经平稳的随机过程。它的持续时间可以任意长,次数任意多,没有特定的传播方向,没有特定的震源,可以随时采样。

1.2 滑坡位移曲线呈非平衡态

从大量的仪器(如伸缩仪、应变计、三维剪切位移计、测斜仪等)监测的滑坡位移曲线来看,大都不是光滑的曲线,而是呈振荡型的非平衡态。如美国蒙大拿城西部的fort-benfon滑坡^[4],西雅图高速公路滑坡^[5]等都采用测斜仪观测出的曲线为一振荡状的非平衡态;日本学者Sassa^[6]在中国骊山滑坡上采用伸缩仪、三维剪切位移计、测斜仪等监测的滑坡位移曲线皆为振动状;王恭先、徐峻岭^[7]等在甘肃黄茨大滑坡上利用单点位移计及声发射记录下的滑坡位移曲线仍为非平衡态;甘肃洒勒山滑坡的位移曲线亦是如此。总之,由仪器连续记录的滑坡位移曲线往往呈光滑型、正弦波型、复杂周期型以及随机振荡型等。

1.3 滑坡位移曲线呈非平衡态的原因

滑坡位移是由地脉动、高渗透水力坡降及滑体下滑的剪切力共同叠加作用的结果。我们从复杂动力学的观点分析:地脉动和水渗透作为两个干扰源,使得滑坡系统内部出现了涨落现象,即出现偏离原

[†] 收稿日期:1998-06-24

基金来源:陕西省自然科学基金资助项目(97D07)和陕西省教委专项科研基金(96JK029)资助课题

作者简介:王家鼎(1962-),副教授

有平稳状态(在滑体下滑大剪作用下)的非平稳状态(干扰源的叠加)。我们收集了世界各地的很多次滑坡位移曲线,大致把它们分为均匀稳定状、正弦波振荡状、复杂周期振荡状、混沌状和张弛状等。这些曲线足以说明滑坡运动是一复杂运动,其影响因素很多。

复杂动力学的理论表明:当系统内出现涨落加剧,系统由平稳态进入非平稳态时,状态过渡的转折点(即临界点)的相对位置是不受系统性质影响的,它被一些特定的数所控制着,具有一些相对不变的性质,如黄金分割数、普适数、圆周率等。所以,由此观点可以预报滑坡的发生时间,也可以解释滑坡发生的机理。

2 复杂运动引起饱和黄土液化

2.1 液化机理

由于黄土(特别是 Q_3 黄土)具有大孔隙性和疏松,水在其中的渗透速度较快。黄土在未浸水之前具有很弱的粘性,但在浸水后由于浸水前后含水量的变化、孔隙中水分的转移以及黄土结构中可溶盐的软化或溶解等原因,大大削弱了黄土的粘性,亦即颗粒间的连结强度大大降低。这时,饱和黄土主要靠颗粒间的摩擦力和极微弱的粘结力来维持本身的稳定性和承受外力。这种黄土骨架若在剪切力的作用下极易失稳,改变排列状态,并趋于密实。可见,粒间的压力起稳定作用,粒间剪力起破坏作用。

饱和黄土在外动力(复杂振荡运动所产生的剪切力)作用之前,土骨架没有产生滑移,上覆压力 σ 全部由土骨架来承担,水只承受本身的静水压力,即

$$\sigma = \sigma_r + u, \quad (1)$$

$$\tau = C + \sigma \tan \varphi, \quad (2)$$

式中 σ 为上覆总压力, σ_r 为土骨架所承担的有效压力, u 为孔隙水压力, τ 为土体的抗剪强度, C 是土颗粒间的粘聚力。但当饱和黄土受脉动、高渗透水力坡降和滑体大剪等叠加的复杂运动之时,每个颗粒都受到其值等于运动加速度与颗粒质量乘积的动力反复作用。由于颗粒间的粘结力极微弱,惯性力反复作用并持续较长时间,加之水在颗粒间起润滑作用,使颗粒间的摩擦力大大降低。

此时,土各颗粒就都处于运动状态,它们之间的位置发生变化,从而在土颗粒接触点引起新的应力。当这种应力超过一定的数值时,就会破坏土粒间原来的连结强度与结构状态,使土粒彼此脱离接触。此

时,原先由土粒通过它们的接触点所传递的有效压力,就要转嫁给孔隙水来分担,引起孔隙水压力的骤然增高。一方面,孔隙水在一定超静水压力的作用下力图向上排出,另一方面,土颗粒在其重力作用下又力图向下沉落,致使在结构破坏的一定时间内,土粒的向下沉落受到孔隙水向上排出的阻碍,使土粒处于局部或全部悬浮,总压力等于孔隙水压力,抗剪强度局部或全部丧失,土出现不同程度的变形或液化,即液化现象。

2.2 液化的影响因素

2.2.1 黄土的 C, ψ 值 从式(2)的库伦定律可看出, ψ 值是土颗粒之间摩擦力大小的衡量参数, C 值是粒间连结强度的衡量参数。那么黄土在遇水后变为饱和状态, C, ψ 是如何变化的呢?

我们在兰州地区的 4 个滑坡点上采集了大量样品(马兰黄土的扰动样),在环剪仪上进行了一系列实验(固结快剪),求出了黄土的 C, ψ 值(残余值)与黄土饱和度之间的关系散点图,如图 1,图 2。

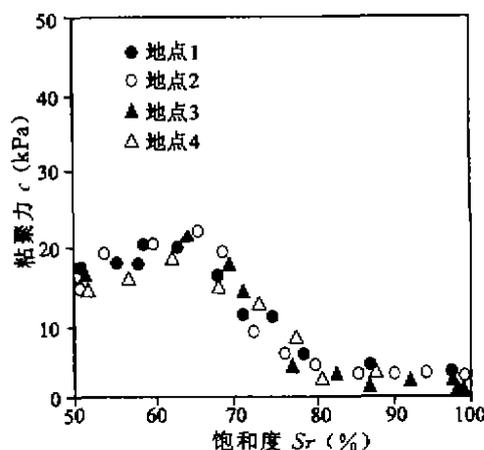


图 1 Q_3 黄土饱和度与粘聚力(残余)关系散点图

Fig. 1 The Relationship between Viscous Drag and Saturated Grade of Q_3 Loess

由图 1 可看出:粘聚力随饱和度的增加而减小,当饱和度为 100% 时, C 几乎降为 0。这是在浸水后由于浸水前后的含水量变化、孔隙中水分的转移以及黄土结构中可溶盐的软化或溶解等原因,大大削弱了土颗粒间的连结强度。

从图 2 可看出,内摩擦角 ψ 随着土的饱和度增大而减小,但程度不明显。这是由于水在土颗粒间起润滑作用而造成的。

由此可见,饱和黄土具有微弱的粘聚力和较低的内摩擦力。在外力作用下,土颗粒很容易相互滑

移,有利于液化的产生。

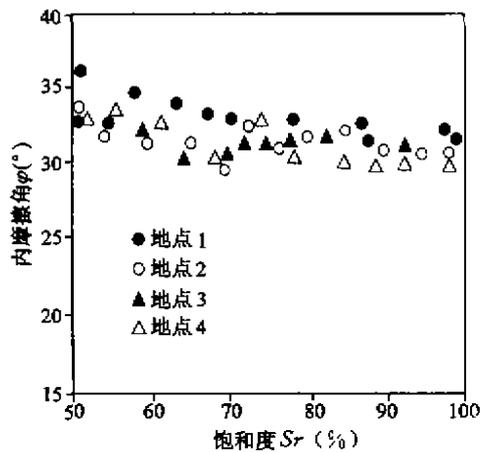


图 2 Q_3 黄土饱和度与内摩擦角关系散点图

Fig. 2 The Relationship between Inner Friction Angle and Saturated Grade of Q_3 Loess

2.2.2 脉动的振幅与频率 由于饱和黄土颗粒间的摩擦力和连结力极小,在较小的外界力作用下就会产生滑移。大量的地震现象及室内试验表明:振动加速度与振幅和频率有极大的关系,一定数值的振动加速度可由振幅和频率的不同组合来获得。如果加速度不变,在低频高幅和高频低幅的不同组合下,土的动力反应没有多大差别。地球脉动正是微幅高

频,有利于液化产生。

2.2.3 脉动的持续时间 动荷载的持续时间,对饱和黄土液化的发展具有极大的影响,这一点也被实践所证实。即使动荷载的幅值不大,且持续时间很长,同样可引起饱和土的液化。当土的饱和度较小时,如果持续时间很长,则表现为土的动力蠕变现象。而地球脉动的持续时间无限长,有利于液化的产生。

2.2.4 脉动波型和作用方向 地脉动的波型和作用方向与地震的波型十分相似,而地震力很容易使可液化土产生液化。

2.2.5 渗透水力坡降和剪切位移 大量的实践证明:饱和土液化现象也可以在高的渗透水力坡降和大的剪切位移作用下发生,分别称为渗透液化和剪切液化^[3]。滑坡上的滑面具有一定的角度,加之黄土孔隙大,垂直节理和落水洞发育。所以,具备较高的渗透水力坡降和大的剪切位移,极有利于液化产生。

从以上分析因素来看,都有利于液化的发生。所以,由地脉动、高渗透水力坡降和大剪切位移等叠加而成的复杂运动易使大孔隙、低粘性的饱和黄土发生液化,液化的结果会造成高速滑坡。

参 考 文 献

- 1 Muller L. New consideration on the vaiont slide. *Felsmechanik and Ingenieur Gedogie*, 1968(6):105~112
- 2 Sassa K. The mechanism starting liquefied landslides and debris flows. *Proc. 4th International Symposium on Landslides*, Toronto, 1984
- 3 王家鼎. 高速黄土滑坡的一种机理——饱和黄土蠕动液化. *地质论评*, 1992, 38(6):532~539
- 4 Wilson S D, Hilts D E. Application of Instrumentation to Highway Stability Problems. *Proc. Joint ASCE-ASME National Transportation Engineering Meeting*, New York, 1971
- 5 Wilson S D. Landslide instrumentation for the Minneapolis freeway. *Transportation Research*, 1974(1):30~42
- 6 Sassa K. Landslide hazard assessment in cultural heritage, Lish an Xi'an. In: Sassa K. *Proc. International Symposium on Landslide Hazard Assessment*, Tyoto: Tyoto University Press, 1997, 1~24
- 7 Wang Gongxian. Sliding mechanism and prediction of critical sliding of Huangci Landslide. In: Sassa K. *Proc. International Symposium on Landslide Hazards Assessment*. Tyoto: Tyoto University Press, 1997, 261~270
- 8 谢定义. *土动力学*. 西安:西安交通大学出版社, 1988. 46~76

(编辑 徐象平)

A Further Study on the Mechanism of Highspeed Loess Landslide in State of Creeping and Sliding Liquefaction

WANG Jiading LIU Yue

(Department of Urban and Resource, Northwest University, Xi'an, 710069)

Abstract The mechansim of high-speed loess landslides; saturated loess creeping liquefaction is presented. Based on the reference 3, continue to study the problem. It is found have found the curve of the landslide

displacements is random wave related to earth microtremors. The loess landslide movement is a non-stationary complex one combined with earth microtremors, the hydraulic gradient of high osmosis and strong shear force of landslide mass. The reasons decreased in C and ϕ values are analysed from the loess fabric, mineral material and response mixed with water, that is decreasing of viscous bond and friction resistance. On the other hand, the influential elements of loess liquefaction are discussed, such as the amplitude, frequency, duration, wave type of microtremors, the hydraulic gradient of high osmosis and strong shear force of landslide mass. Finally, it is proposed that the following process of high-speed landslide was triggered by saturated loess creeping and sliding liquefaction; irrigation or heavy raining \rightarrow formation of saturated loess belt \rightarrow decrease in C and ϕ values of soil and formation of slip surface in loess bed creeping of slide body \rightarrow Light Liquefaction \rightarrow sliding \rightarrow high-grade liquefaction to complete liquefaction \rightarrow high-speed landslide.

Keywords high-speed landslide; microtremors; liquefaction; non-stationary state

• 学术动态 •

我校进入 1997 年各项基金资助产生的科技论文数前 50 名高校之列

根据科学技术部计划发展司委托项目——中国科技信息研究所《1997 中国科技论文统计与分析》年度研究报告,以及根据对 1997 年 1 214 种中国科技期刊(含本刊)的统计,我校进入各项基金资助产生的科技论文数前 50 名高校之列。其具体排序如下表:

表 1 1997 年度各项基金资助产生的科技论文数前 50 名高校排序

名次	高校名称	论文数(篇)	名次	高校名称	论文数(篇)
1	清华大学	949	26	中国农业大学	227
2	浙江大学	614	28	国防科技大学	221
3	华中理工大学	602	29	浙江农业大学	216
4	北京大学	556	30	北京航空航天大学	213
5	南京大学	518	31	北京科技大学	198
6	上海交通大学	482	32	吉林工业大学	191
7	中国科技大学	471	33	第四军医大学	190
8	西安交通大学	443	33	兰州大学	190
9	华南理工大学	428	33	中南工业大学	190
10	武汉大学	412	36	西安电子科技大学	189
11	天津大学	384	37	华西医科大学	187
12	复旦大学	376	38	第二军医大学	180
12	南开大学	376	38	同济大学	180
14	西北工业大学	353	38	中山医科大学	180
15	四川联合大学	347	41	同济医科大学	175
16	东北大学	329	42	电子科技大学	174
16	厦门大学	329	43	南京理工大学	171
18	东南大学	325	44	石油大学	169
19	中山大学	316	45	湖南大学	168
20	哈尔滨工业大学	312	45	华东理工大学	168
21	北京医科大学	297	47	中国矿业大学	164
22	北京师范大学	279	48	山东大学	163
23	中国地质大学	261	49	上海第二医科大学	160
24	大连理工大学	248	50	第三军医大学	159
25	吉林大学	246	50	西北大学	159
26	上海医科大学	227			