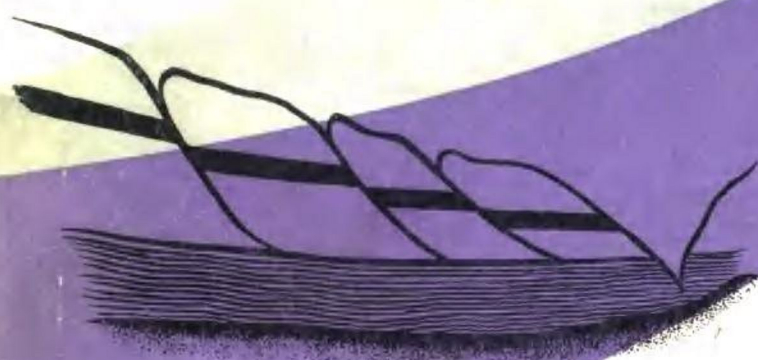


滑坡文集

(第四集)



中国铁道出版社

滑 坡 文 集

(第 四 集)

滑坡文集编委会主编

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 4 年 · 北 京

内 容 简 介

本文集选稿22篇,内容有(1)滑坡地质研究:包括滑坡成因分析、活动规律,滑坡预测及滑动过程的研究;(2)滑坡的力学研究和分析:包括地质力学方法的研究,滑坡测试和力学分析;(3)滑坡整治。本集讨论范围较广泛,在理论研究和勘察方面探索了一些新途径和新方法,能反映出我国滑坡研究工作的特点和趋势,同时在滑坡防治方面也收到了实际效果。

本文集可供工程地质研究及土建工程技术工作参考。

滑坡文集编委会

主任委员:李嘉 副主任委员:徐邦栋

委 员:居恢扬 刘祥海 唐永富

任龙章 刘光代 王恭先 马骥

程鸿寿 王少东 陈自生

滑 坡 文 集

(第四集)

滑坡文集编委会主编

中国铁道出版社出版

责任编辑 施以仁

封面设计 程 达

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

中国铁道出版社印刷厂印

开本:787×1092 $\frac{1}{4}$ 印张:12.75 插页:3 字数:301千

1984年5月第1版 第1次印刷

印数:0001—6,000册 定价:1.40元

前 言

《滑坡文集》第四集共收入文章22篇，主要内容分四个部分：（1）滑坡地质研究，包括破碎岩的分类及变形原因的分析，滑坡预测的探讨，1981年四川雨季滑坡的基本规律，以及昔格达地层滑坡和陕西铜川地区黄土滑坡的研究等；（2）滑坡的测试与分析方法，包括用地质力学方法研究岩石顺层滑坡所取得的效果，实测滑坡推力的效果分析，滑坡稳定性计算和推力计算新方法的研究等；（3）滑坡整治工程，包括近年来滑坡最集中的梅七铁路的滑坡整治经验和教训，以及用石灰砂桩稳定膨胀土路堤滑坡的试验研究结果；（4）书评及其他，对苏联1979年出版的《抗滑支挡结构》一书作了评介，着重介绍了对我国滑坡防治有参考价值的部分。

本集内容比较广泛，除了铁路滑坡，也反映出水电、煤炭等部门以及地方上一些大型滑坡的研究和防治的效果，并在滑坡理论方面进行了探讨。有些观点尽管是初步的，但是一些新的苗头，在这里介绍出来，以便大家讨论，促进我国滑坡防治理论研究和实践的提高。

滑坡文集编委会

1982.8.

目 录

一、滑坡地质研究

1. 黄河小浪底坝段滑塌体成因分析.....许万古 (1)
2. 破碎岩的成因分类及山体变形防治.....王松龄 (7)
3. 滑坡预测的基本内容及途径探索.....卢鑫耀 (13)
4. 我国南方红层滑坡的初步研究.....居恢扬 顾仁杰 (22)
5. 四川雨季滑坡规律的初步探讨.....王少东 (32)
6. 顺层岩石滑坡的滑体厚度与岩体结构的关系.....徐峻龄 (45)
7. 昔格达地层滑坡与滑坡危险性分区探讨.....李沛 卢鑫耀 黄大庭 (53)
8. 铜川黄土滑坡性质的初步探讨.....王泰书 (64)
9. 受活动断层控制的滑坡实例.....卢鑫耀 吴其伟 黄大庭 王录杰 (78)
10. 兰田敬家村滑坡的滑动过程.....韩恒悦 宋立胜 (85)
11. 白鹤岭滑坡工程地质评价.....胡德富 梁敬芳 (90)

二、滑坡的测试与分析方法

12. 地质力学方法在岩石顺层滑坡研究中的应用.....徐邦栋 徐峻龄 (98)
13. 实测滑坡推力及其变化规律.....刘光代 于济民 (105)
14. 折线滑面滑坡检算初步研究.....杨宗玠 (116)
15. 论抗滑工程的设计抗力.....湛壮丽 马骥 (130)
16. 在有软弱滑动带时滑坡推力、桩身应力、桩前抗力的整体分析
 计算法.....高同玠 (138)
17. 勘察分析复杂滑坡区群的方法.....徐邦栋 王恭先 (142)

三、滑坡整治工程

18. 用反压法整治坪石滑坡.....徐志果 刘荣钧 张景荣 (147)
19. 梅七线滑坡类别及其整治.....王崇祥 (152)
20. 梅七线滑坡整治概况.....铁道部第一工程局 (162)
21. 用石灰砂桩稳定阳安线膨胀土路堤滑坡.....计雅筠 舒勇 (168)

四、书评及其他

22. 《抗滑支挡结构》一书的评介.....王恭先 (181)
23. 滑坡照片..... (191)

Proceedings of Landslides

Volume Four

Contents

I. The Geological Study of the Landslides

1. The origin analysis of the landslides avalanches in Xiaolangdi dam region on the Yellow River bank.....Xu Wangu
2. The origin classification of the fractured rocks and the treatment of the hillslope displacement..... Wang Songling
3. The probing into the basic contents and the ways of the landslide prediction.....Lu Zhongyou
4. The preliminary study of the landslides in the red rock strata in South China.....Ju Huiyung, Gu Renjie
5. The preliminary research on the regulation of the landslides generated in the rainstorm season in Sichuan province.....Wang Shaodong
6. The relation between the depth of slide mass of the bedding rockslide and the structure of the rock masses.....Xu Junling
7. The research into the landslides in Xigeda stratum and the region divisions of the landslide danger.....Li Pei, Lu Zhongyou, Huang Dating
8. The preliminary research into the properties of the loess landslides in Tongchuan regionWang Taishu
9. An example of the landslides formation dominated by an active fault.....Lu Zhongyou, Wu Qiwei, Huang Dating, Wang lujie
10. The process of the great landslide at Jingjia village in Lantian county.....Han Hengyue, Song Lisheng
11. The evaluation of engineering geology at the landslide in Baiheling.....Hu Defu, Liang Jinfang

II. The Instrumentation and the analytical methods of the landslides

12. The application of the method of geomechanics in the rockslides of the bedding slips.....Xu Bangdong, Xu Junling
13. The measurement of the thrust of the landslides

- and its change regularitiesLiu Guangdai, Yu Jimin
14. The preliminary study of the calculation methods of the
broken line slip surfaces of the landslides.....Yang Zongjie
15. The design resisting force of the anti- landsliding
engineeringChen Zhuangli, Ma Ji
16. The general analytical calculation of the resisting force in the front side of
the pile and the pile stress and the landslide thrust during
the sliding along the weak zone.....Gao Tongjie
17. The methods of the prospecting and analysing the
complicated landslide groups.....Xu Bangdong, Wang Gongxian

III. The Treatment Engineering of Landslides

18. The treatment of the landslide in
Pingshi with anti-pressure method.....Xw Zhiguo, Liw Rongjwn, Zhang Jingrong
19. The classification of the landslides and their treatment on
Meijiaping-Qilizheng railway.....Wang Chongqiang
20. The treatment aspects of the landslides
on Meijiaping-Qilizheng railwayThe First Engineering Department
of the First Bureau of Railway construction
21. Using the lime sand pile for stabilizing the embankment slides
of the expansive soil on Yangpingguan-Ankang railwayJi yajun, Shu Yong

IV. Book Review and The Others

22. The review of the book《Retaining Structures of the
Landslides》..... Wang Gongxian
23. The landslide Photographs

黄河小浪底坝段滑塌体成因分析

许 万 古

(黄河规划勘测设计院)

提 要

本文根据现场调查资料,论述了黄河小浪底坝段存在的岩质边坡变形破坏的一种特殊类型——滑塌体产生的基本条件、成因及其生成时期、外貌、分布、内部构造和滑移等主要特征,以便对这种变形形式进行共同探讨。

黄河小浪底坝段沿河20公里范围内,有大量滑塌体分布,其中规模最大者达1100万立方米。因其分布广泛,规模巨大,严重地影响着坝址的选择和工程布置,以致成为坝段区的主要工程地质问题之一。近十几年来,围绕这一问题进行了大量地质勘探和试验研究工作。大量勘测资料表明,这些滑塌岩体是岩质边坡变形破坏的一种特殊的类型。它们具有独特的变形破坏特征和大致相同的生成时期,与典型岩石顺层滑坡或崩塌大不相同,对其成因曾有不少议论,现根据近几年工作成果,谈一谈自己的认识,以资共同探讨。

一、产生滑塌体的基本条件

坝段地区出露的基岩主要为上二迭系及下三迭系陆相碎屑岩。根据地层岩性的不同,上二迭系分为 $P_1^1 \sim P_1^4$ 四个岩组,下三迭系分为 $T_1^1 \sim T_1^7$ 七个岩组。其中 P_1^2 及 T_1^1 岩组为坚硬的厚~巨厚层状砂岩,软弱岩层含量甚少,而且多为薄层状夹于砂岩层间; P_1^1 、 P_1^4 及 T_1^7 岩组之大部以粘土岩为主,软弱易风化,除 P_1^1 岩组外,一般层理不发育,呈块状,节理裂隙多而细小,且不规则,所以具有相对较好的整体性;其余各岩组为软硬相间的不等厚互层状,砂岩约占70%左右。

坝段岩层产状受狂口背斜控制,其轴部在黄河南岸以近东西方向延伸,故河谷两岸附近地层多倾向北东,倾角 $8^\circ \sim 15^\circ$,一般为 $10^\circ \sim 12^\circ$ 。岩层中有四组构造节理,一组走向与岩层走向平行,一组与岩层倾向平行,另两组与之斜交,都为高倾角。节理面与岩层面交角近于90度。

区内断层相当发育,以高角度正断层为主,受构造作用影响,在砂页岩互层中有构造泥化夹层,其展布范围一般不超过100m,少数夹泥层可达300m以上。据历年来调查,夹泥层一般具有组成上不均一、分布上不连续的特点。

坝段位于低山峡谷区,河谷呈“U”型,谷底宽350~600m,河水位高程为135m,两岸谷顶高程为350~400m,有四级河谷阶地,各级相对高差及其基座和阶面高程,如图1-1所示。

由附图可知,河谷岸坡主要是在三级阶地堆积之后,二级阶地堆积之前形成的。在此期

间河流下切深度达200m 以上。不难想像，二级阶地堆积之前的河谷岸坡，比现在陡峻而且高得多。当时在岩层顺坡倾斜的地方，有相当一部分边坡岩体处于断脚临空状态，这是产生岩体变形破坏的有利时机。岩层顺坡缓倾、走向节理裂隙发育并向坡里陡倾，则是滑塌体发生的内在因素。

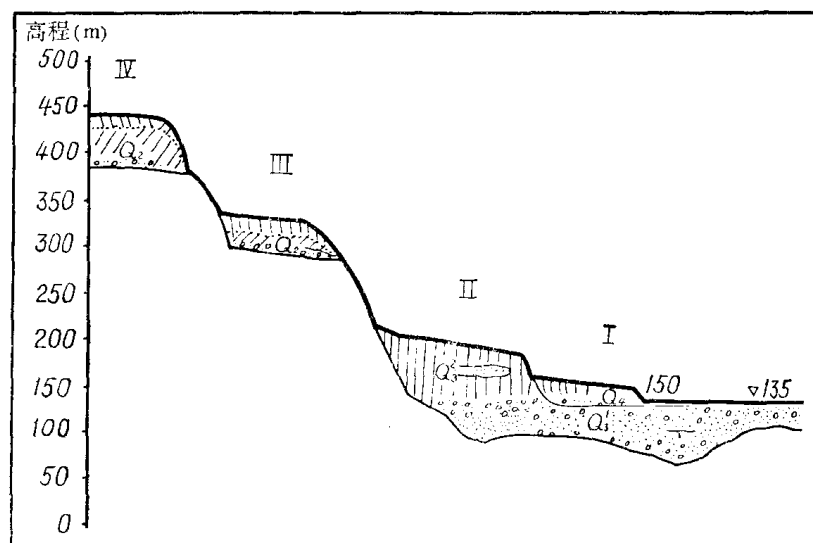


图 1—1 小浪底坝址河谷地貌示意剖面图

二、滑塌体的特征

小浪底坝段滑塌体在生成时期、分布规律、外貌形态和变形破坏特征方面有如下特点：

(一) 生成时期集中。据地层对比可知，大量滑塌体均发生于河流下切之后，二级阶地砂砾石层和黄土堆积之前。约相当于晚更新世早期。

(二) 滑塌体的外貌不甚明显，可以说是“貌不惊人”，所以不像滑坡和崩塌那样易于被人们发现和识别。滑塌体的后部一般都没有明显可见的弧形后壁和月牙形封闭洼地等；在前部也不具垅状或挤压鼓丘，且从未见有岩层被挤压拱起而向反方向倾斜的现象。这是由于滑塌体产生时岩体位移特征是“表层大下部小，前缘大后缘小”的缘故，也是岩体破坏呈“碎裂解体”状而不是呈“整体块状移动”的结果。

(三) 滑塌体成群出现和广泛分布。坝区内凡是具备顺坡向倾斜的地方，都有或大或小的滑塌岩体分布，特别在300m 高程以下是如此，这主要是边坡坡度和高度对滑塌体发育有一定影响的结果。

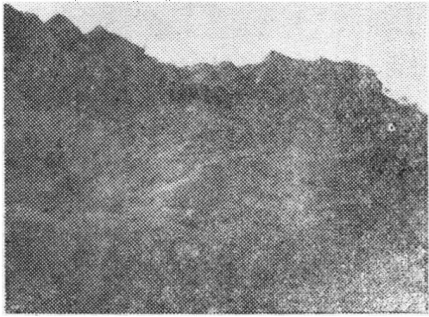
滑塌岩体不仅分布在软硬相间的层状岩层分布区，而且也产生在含软弱岩层极少的厚层块状砂岩分布区，但在厚层粘土岩类分布区则极少，这说明滑塌体的发生主要与岩体结构有关，与岩性软硬无直接关系。

(四) 内部构造特征。滑塌体内部由于变形破坏程度不同大致有两种形态：

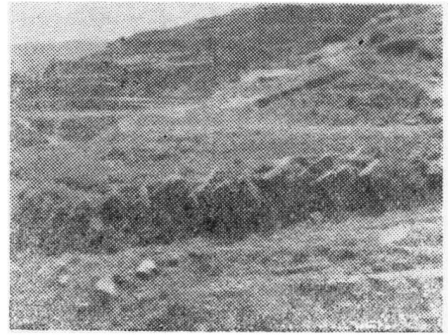
1. 松动拉裂：即原岩体中的节理裂隙（主要是与岩层走向平行的一组裂隙）被拉裂张开，岩层面一般仍保持原有的连续和平直状态，没有错断现象，岩块没有发生明显旋转扭动，破坏仅表现为岩体的松动。裂隙张开宽度由1~2mm到20~100mm，一般具有上宽下

窄并且向深部逐渐尖灭过渡到完整岩体。由于岩体结构特征的不同，松动拉裂带的宽度（或厚度）也不同，在厚层块状砂岩层中松动拉裂带的宽度（或厚度）最大，有时可达 30m 以上，在软硬相间的岩体中则很薄，有时甚至没有松动拉裂带分布。

2. “反叠瓦状构造”：岩体中的岩块发生旋转倾倒，依次叠置，见照片 1—1~5。岩体中原有的层次未乱但层面由于岩块的旋转扭动被错断成为锯齿状，软弱夹层往往被坚硬岩块挤碎或者随之发生倾倒，或者被挤碎充填于岩块间的孔隙中。岩块沿走向节理面的倾斜方向错动，形成一系列小的正断层，从垂向剖面上看类似“反叠瓦状”；从层面或坡面上看，则为一系列与边坡走向大致平行的错断台坎。岩块旋转倾倒的程度表现为同一岩层愈靠近边坡表层旋转倾倒程度愈严重。在同一点上，表层岩层中岩块倾倒较下部为严重。岩块既有顺坡向倾倒旋转，又有顺坡滑移。旋转倾倒的角度由几度到几十度，在滑塌体的表层及前缘，常可见到岩块由原来倾角为 10° 左右旋转至倾角为 90° 。但是却极少见有翻转滚动过的岩块。



照片 1—1 三坝址左岸小南庄滑塌体表层



照片 1—2 三坝址左岸瓦窑沟滑塌体底部

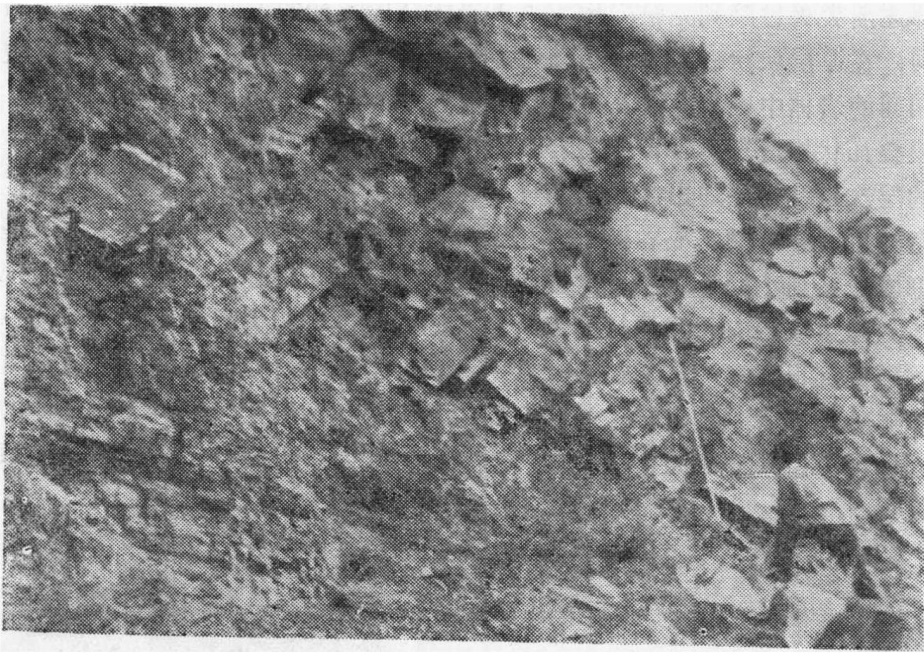


照片 1—3 三坝址下游黄河右岸西苗家滑塌体中部

从照片可以看出，滑塌体内前后岩块间的错动和上下层岩块间的滑移这两种位移量一般是不大的，所以原岩体的层次基本上未受扰乱。整个滑塌体的位移是由所有这些小岩块之间的“小位移”累积而成的。

（五）滑移特征。如上所述原因，滑塌体的位移具有表层大下部小，前缘大后缘小的特征，即具有倾倒式滑移的特征。整个岩体呈“碎裂解体”状破坏，没有统一的或基本上没有统一的滑面，如图 1—2 所示。

综上所述，本区滑塌体有以下基本特点：



照片 1—4 三坝址下游右岸滑塌岩体由表及里变形情况

(1) 所有滑塌体集中发生于同一地质时期，即它们都发生于河谷下切之后，二级阶地黄土和大部砂砾石层堆积之前。

(2) 广泛发育于高程 300m 以下的河谷和冲沟的顺向坡一侧。

(3) 具有基本相同的变形破坏特征。

(4) 岩体的破坏呈“碎裂解体”形式，不是整体滑动或松散崩塌，而且没有统一的滑面或滑带。

(5) 滑塌体的位移量具有表层大下部小，前缘大后缘小的特征，具有倾倒滑移两种运动。

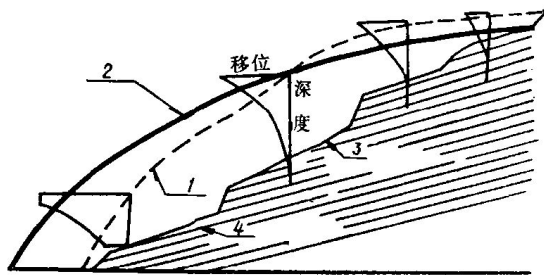


图 1—2 滑塌体各处位移示意图

1——原地面；2——滑塌后地面；3——滑塌体底面；4——岩层面。

(6) 外貌不明显，后缘没有陡壁和洼地，前缘没有挤压鼓丘。

(7) 滑塌体既发育在由软硬相间的岩层组成的顺向坡上，同样也发育在由几乎不含软弱夹层的厚层状砂岩组成的顺向坡上。

三、滑塌体的成因

小浪底滑塌体具有与产生基岩顺层滑坡基本相似的地形地质条件，但滑塌体的特征却与滑坡差别很大，而且有“弯折倾倒”变形或者“弯曲拉裂”变形特征。其原因主要在于岩体结构和强度以及作用力的大小和方式。

岩层软硬相同，顺坡倾斜，倾角缓于山坡坡度角，有时还有泥化夹层存在，但是却没有典型顺层滑动，其原因在于软弱夹层的强度。据大型原位抗剪试验结果，泥化夹层的摩擦系数为 0.23~0.25。由于其分布上的不连续和组成上的不均一，所以层面间的摩擦系数还要高些。在自然条件下具有一定程度的稳定性。

产生“倾倒”变形的条件则是岩体中发育有一组走向节理（走向与层面走向一致，倾向相反，倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ），向坡里倾斜，这一点与发生“弯折倾倒”或“弯曲拉裂”变形的边坡有些相似。但是节理面一般是不连续贯通的，在软硬相间的岩层中一般不通过软岩层，因此由这组节理切割成的岩块上下叠置互相咬合，在自然条件下不会发生大规模的“倾倒”，据此判断，滑塌体的发生必然有外力作用。

据以上滑塌体的特征分析，滑塌体很可能是强烈地震时产生的，因为：

1. 强烈地震活动有时会在时间上和空间上密集发生，这是本区滑塌体生成时期集中的根本原因。

2. 强烈地震必然在一定范围内造成严重破坏，这正是该区产生滑塌体广泛分布的原因。

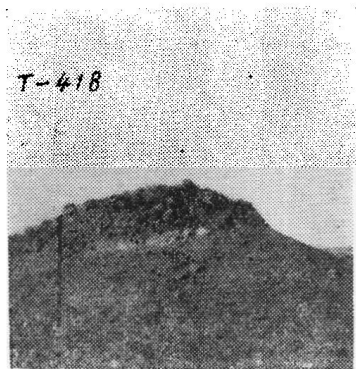
3. 只有强烈地震时的惯性力，才能使所有滑塌体具有大体相同的变形破坏特征。

当然，由于边坡高度、坡度和形态的不同，组成边坡的岩体结构和强度的差异，滑塌体的规模和形态也将不同，并可能有类似滑坡和崩塌的过渡类型。但是它们的基本特点相似，成因和机理相同。

在强烈地震发生之前，随着河流的下切，边坡所处条件不断改变，同时亦必然遭到卸荷和各种风化作用的影响，边坡表层岩体裂隙发育，强度也随之降低，为滑塌体的发生创造了条件。在强烈地震时，边坡岩体首先松动拉裂，裂隙变宽加深，岩块在弯矩或旋转力矩及下滑分力作用下发生倾倒和滑移。地震之后的降水浸润，将使变形进一步发展和加剧。

关于本区有无强震活动问题，过去据历史记载资料认为不致大于七度，因而认为滑塌体与地震无关。但滑塌体发生在晚更新世早期，不可能也不应该依据现有历史记载去决定古地震活动的强度。据豫西北地区晚近期断裂活动和邻近地区（陆浑水库区）第四纪火山活动判断，本区晚更新世早期强地震活动的发生是完全可能的。

此外，在三坝址11号探洞中，据声坡测试结果，岸边有60余米厚的岩体声波速度为 $1200\sim 2000\text{m/s}$ 。而岩石新鲜，可能是受地震活动影响的结果。三坝址右岸东坡村南山梁上及二坝址河床深槽中的块石堆积，也可能是地震造成的崩塌堆积物。在坚硬的硅质砂岩节理面上，有时可以见到大量摩擦斑痕，显然是岩块互相撞击形成的。所有这些都可能是古地震的遗迹（见照片1—5、1—6，图1—3）。



照片1—5 块石堆积（图1—3 T-418处）



照片1—6 B处可见节理面上的斑痕

据成都地质学院资料介绍，拉德布鲁克—霍尔较详细地描述了高山高应力区伴随地震而在斜坡上出现反坡台坎和沟槽的现象。被陡倾坡内的一系列裂面分割的岩体于地震后其上部向坡前倾倒，形成一系列的反坡台坎和串珠状凹地，台坎最高达3.8m。产生小浪底滑塌体

331755

的岩体结构面的条件与其基本相似，只是陡倾坡内的软弱结构面不是层面而是一组节理面，也许正因为如此，滑塌体的变形才不仅具有“倾倒弯曲”而且具有顺层滑移这两种位移。

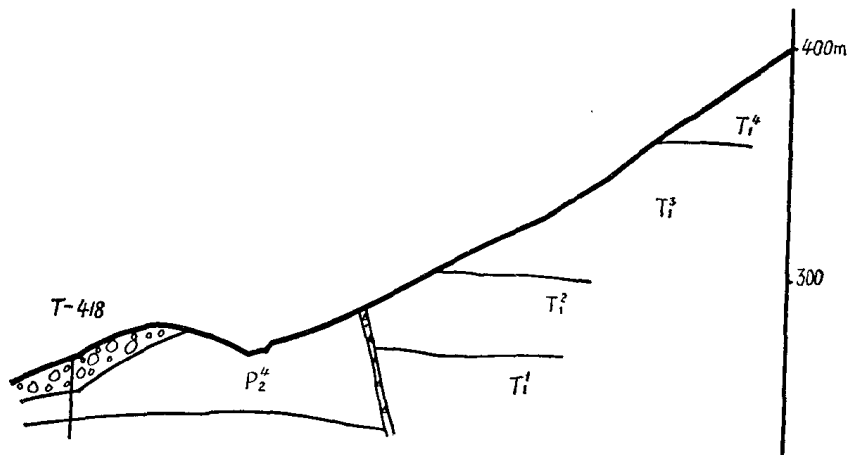


图 1—3 东坡山梁地质剖面图

关于岩体变形破坏的过程，据国外对地震时土体边坡稳定性的研究结果说明，地震时土堤某些部位的惯性力可以多次地大到足以使其安全系数降低到小于 1，但这只是很短时间内发生的，在这短时间内将产生永久变形，但当加速度值减小或方向反过来时，变形就会停止。一系列幅值大而时间短的惯性力的全部效应，是形成土堤断面积累位移，但产生惯性力的地面运动一旦停止，就不会产生更大的变形，除非土已经严重丧失它所具有强度。小浪底滑塌体形成过程很可能就如同上述。惯性力可以使岩体沿两组软弱结构面产生永久变形，并逐步积累和发展，但尚未达到使岩体严重丧失其强度的程度，故滑塌体的形成是逐步发展的。所以其变形具有缓慢连续发展的特征，具有类似蠕变的特点。

结 语

关于滑塌体的成因，不仅对滑塌体的稳定分析和评价具有十分重要的意义，而且对研究岩质边坡在动力条件下的破坏形式，改进岩质边坡设计也具有一定价值。因此，对这一客观事物的正确了解也是必要的。

破碎岩的成因分类及山体变形防治

王 松 龄

(铁道部第三勘测设计院)

提 要

本文试将华北地区铁路沿线出现的破碎岩按成因划分为四类，并分类论述了它们的力学特性、变形情况和整治的效果，均附有实例。

在山区铁路选线中，经常遇到一些被裂隙纵横切割、块体大小不一的破碎岩体，统称破碎岩。此类岩体大都系断裂构造、山体滑移或风化作用的产物，由于未经明显的搬运过程，部分岩体仍保留原有的结构和构造特征（如层理、片理等），因而它与一般的山麓堆积物有原则的区别。

破碎岩体的稳定性问题，是山区铁路工程中经常遇到的工程地质问题之一，在处理这一地质问题时将直接影响工程进度，并增加大量的工程投资。作者根据华北地区铁路勘测设计和施工实践的体会，认为不同成因、不同结构的破碎岩，对工程稳定性的影响有明显的差异。因此，以岩体的成因、分类和演化过程的研究为基础，考察破碎岩受力后的变形破坏机理，综合评价岩体的稳定性，从而提出可行的工程措施，这是破碎岩地区铁路工程地质工作的主要任务。

一、破碎岩的成因分类及对工程稳定性的影响

华北地区，铁路沿线常见的破碎岩，按其成因可概括为：构造破碎岩、蠕变破碎岩、块体滑移破碎岩和风化破碎岩等四类（见表2—1）。各类破碎岩的分布规律及对工程的影响表现为：

华北地区常见破碎岩分类表

表 2—1

类 型	成 因	岩 体 结 构	岩 性 特 征
构造破碎岩	断裂构造	碎裂结构、散体结构	角砾、糜棱岩、断层泥、破碎岩体
蠕变破碎岩	岩体蠕动	层状、块状结构碎裂结构	孤石、块石和多裂隙岩体
块体滑移破碎岩	古滑坡和古错落体	块状、碎裂结构、散体结构	块石、碎石、粘土
风化破碎岩	风化作用	碎裂结构、散体结构	碎石、砾砂、粘土

（一）构造破碎岩大多呈带状展布，带宽从数米以至数百米不等。由于岩体破碎，常为地下水的通道和富水带，是控制山体变形分布格局和形成其他各类破碎岩的基础。位于构造破碎岩带附近的地下洞室开挖中常造成坍方（如太焦线石会一号隧道，见图2—5），路堑边

坡易于产生滑坡、错落和崩坍现象。

(二) 蠕变破碎岩主要指陡峻山坡上的陡倾岩体的顺层蠕动 (图 2—1b) 和弯曲变形 (图 2—1a)。其形成过程是在重力作用下, 岩体顺原生节理面拉开, 使裂隙扩大贯通, 并产生一些新的裂隙。此类破碎岩主要分布于傍河陡山坡地段, 形成过程是缓慢的、不断发展的。常造成边坡崩塌和地下洞室由于严重偏压而破损, 如京通线潮河关地区 (图 2—1b)。

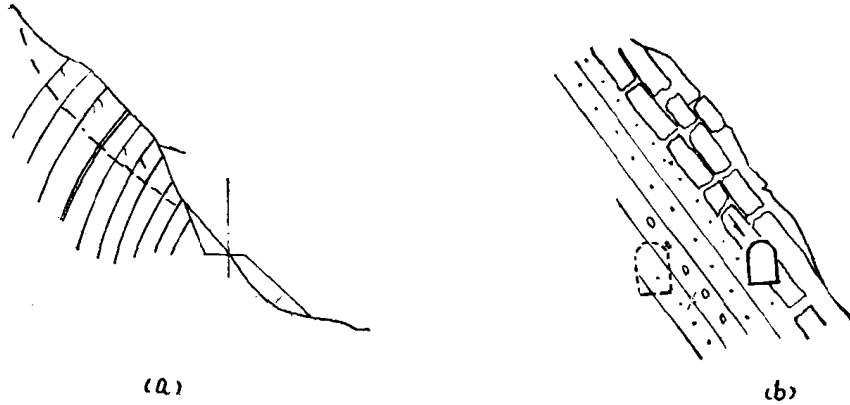


图 2—1 岩体蠕变机制

(三) 块体滑移破碎岩的主要特点是: 块体大小相差悬殊, 大者成层延伸数十米以至数百米, 小者则成碎屑状, 裂隙张开或被黄土充填。其底部顺层面都有一层以紫红色粘土为主的泥化夹层, 层厚由数厘米至数米, 均系早期滑动带演化而成。

此类破碎岩厚者可达数十米, 表面常为马兰期黄土所覆盖。黄土层厚不一, 一般后缘及两侧厚, 前缘很薄。有些破碎岩前缘伸入河床中, 超覆于近代河流沉积物之上 (图 2—2)。以上特征表明此类破碎岩形成时代较早 (上更新世之前), 并曾经历过复杂的变形演化过程。太焦线北段遇到数十处此类破碎岩, 施工过程有十多处产生了破碎岩滑坡, 分布于隧道洞口、桥头和车站上, 体积大者达 500 多万立方米, 全线为整治此类滑坡增加工程费用一千多万元。

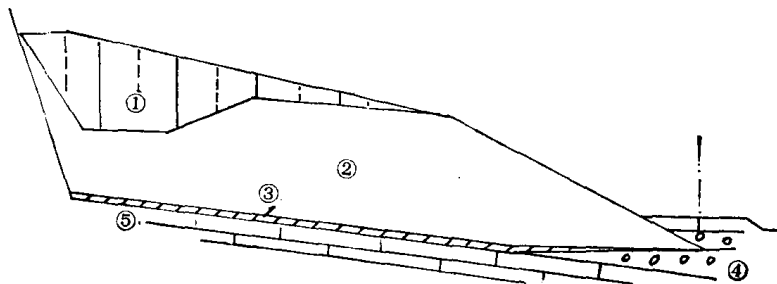


图 2—2 破碎岩前缘超覆于卵石层上

①——黄土; ②——破碎岩; ③——软弱夹层; ④——卵石层; ⑤——灰岩。

(四) 风化破碎岩, 指山坡表层岩体由于气温、湿度和水的作用, 在原有软弱结构面和隐蔽微裂隙的基础上, 逐步张开、散裂而成的破碎岩体。其分布厚度和岩体结构随岩性和风化程度而异, 一般结晶火成岩地区和部分变质岩地区较为发育, 如花岗岩、片麻岩和片岩等, 有时厚度可达数十米, 如京原线的平型关地区。此类破碎岩对堑坡的坡率、基底强度和围岩稳定均有影响。

二、破碎岩及软弱夹层的力学特性

经过变形改造而松动碎裂的破碎岩体，大多属块裂介质和碎裂介质的弹塑性体。此类岩体与完整基岩比较，强度已明显降低，尤其抗拉强度接近于零。因而岩体受力后其应力、应变和时间效应均成非线性关系。破碎岩体的变形一般可分成：压密滑移变形、松弛坍塌变形和蠕变稳定变形三类（图 2—3）。其变形或破坏通常是沿某些软弱结构面或软弱夹层首先产生应力集中，使岩体内部的结构和应力条件改变，而导致其他软弱部位出现应力达到和超过其强度，随后产生整体变形和破坏。因此，破碎岩的强度大多受软弱结构面或软弱夹层所控制。后者在斜坡稳定中尤为重要。如华北地区一些破碎岩滑坡基本都是沿某些软弱夹层产生顺层滑动的。这种软弱层，一般厚数厘米至数米不等，其间常夹数层由细腻软粘土组成的泥化带，这种泥化带由于经过多次剪切破坏和地下水的长期浸泡，抗剪强度很低，接近于残余强度。

对泥化带残余强度的确定，一般可采取土样在室内进行多次剪切试验，或者根据应力平衡理论反求抗剪强度。但这两种方法各有利弊，室内试验方法简单，但模拟性差；而反求 c 、 φ 值，因两个未知量同时出现于一方程式中，非假设一未知量无法求解，因此，如果采用试验的 c 值反求 φ 值，或利用试验的 φ 值，反求 c 值，则可得到较合理的抗剪强度指标。如太焦线牛品坪滑坡（体积 400 多万立方米）即利用试验的 c 值（ c 平均 = 1.6 tf/m^2 ），反求 φ 值，提供抗滑桩的设计指标（表 2—2）。该工点已施工完成，并经过四年的运营检验，效果良好。南同蒲线冷泉滑坡（体积 500 多万立方米），曾根据 18 组不同含水状态的多次剪试验资料，进行回归分析，求取 c 、 φ 值与天然含水量（ w ）， c 、 φ 值与液性指数（ I_L ）的回归方程（图 2—4），再根据滑床各段的稠度状态，分别采用不同的 φ 值（如前缘有水地段 $w > 20\%$ ， $\varphi_{\text{残}} = 10^\circ$ ，后缘无水地段 $w < 15\%$ ， $\varphi_{\text{残}} = 27^\circ$ ），反求综合的 c 值。显然这种综合利用试验和计算而提供的抗剪强度指标，随意性小，比较稳妥合理，不会出现大的误差。

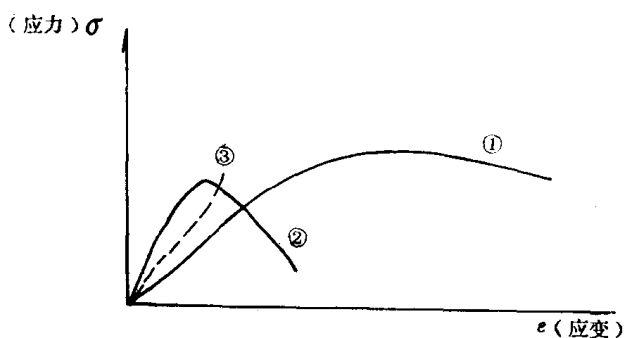


图 2—3 破碎岩变形过程示意图
①——压密滑移变形； ②——松弛坍塌变形；
③——蠕变稳定变形。

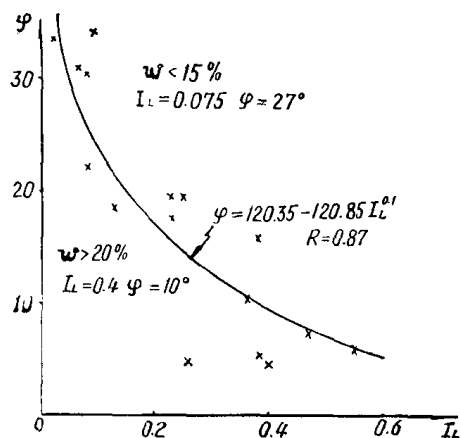


图 2—4
 w ——天然含水量； φ ——内摩擦角（残值）；
 I_L ——液性指数； R ——相关系数。

软弱夹层抗剪强度对比表

表 2—2

试验峰值		试验残值		计 算 残 值			采 用 值	
c	φ	c	φ	c	φ	m	c	φ
4.3	$7^{\circ}12'$	1.6	$4^{\circ}06'$	1.6	$4^{\circ}24'$	$5^{\circ}35'$	1.6	$4^{\circ}24'$

注: c 单位为 tf/m^2 , m 为夹层坡度。

三、破碎岩山体变形及防治实例

实践证明,不同成因类型的破碎岩,对工程产生不同的影响,同类破碎岩,由于变形原因不同,所应采取的工程对策也不一样。因此,对山体变形的防治,首先应查清破碎岩的成因类型和造成山体变形的主要原因,从而采取针对性的措施,才能收到预期的效果。现用以下数例加以说明:

(一) 构造破碎岩主要易产生不均匀沉陷和地下洞室坍塌。前者可采用灌浆加固,后者则需加强支撑和衬砌,有时甚至要采取较复杂的支撑措施,才能保证施工安全。如太焦线石会一号隧道横穿散体结构的破碎岩,由于地表水由破碎带渗入地下,施工中造成严重的坍方和涌水,虽然长度仅20多米,工期延长数月,最后采用插钢钎支护(图2—5)和铺砌洞顶自然沟的办法才将隧道打通。

(二) 蠕变破碎岩主要造成傍山隧道严重偏压,使衬砌开裂。因此,遇到此类破碎岩应尽可能绕避,无法绕避时,可采取上部减载并加强支撑、衬砌和支挡措施,如:

1. 京通线潮河关地区傍山线路,正位于侏罗系砂页岩层中,岩层倾角达 40° ,节理发育,由于岩体产生顺层蠕动,有些节理张开达十多厘米,1974年海城地震时又产生新的裂缝。在隧道施工过程中,由于严重偏压,衬砌开裂,最后只好将线路往山里改移(图2—1b)。

2. 北京321线2号隧道亦位于陡倾结构面蠕变的破碎岩带中(图2—6),原右侧专用线开挖路堑时,曾产生边坡变形,以后修建明洞,洞身仍然开裂。2号隧道出口施工过程中,山体又产生蠕动,山坡上出现许多断续裂缝,洞内坍方严重,隧道衬砌多处开裂,因此不得不将右侧明洞填塞,并采取坡脚设支撑反压土等措施整治之。

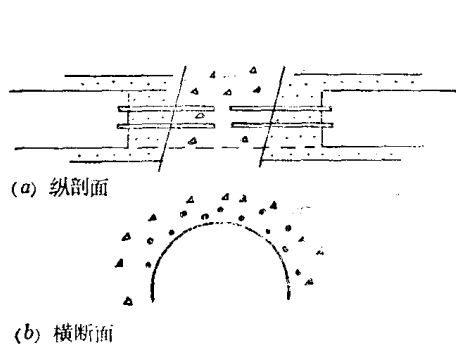


图 2—5 构造破碎岩坍方处理

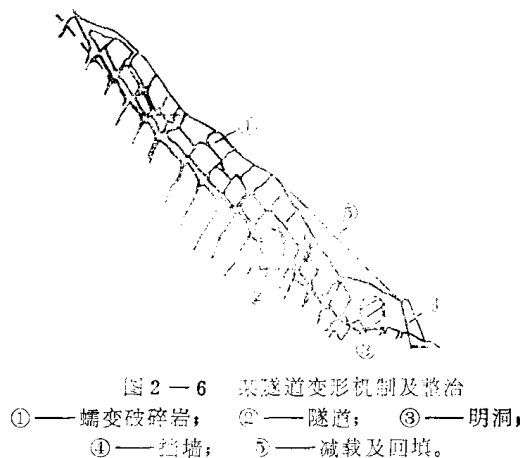


图 2—6 某隧道变形机制及整治

①——蠕变破碎岩; ②——隧道; ③——明洞;
④——挡墙; ⑤——减载及回填。

由此看来,位于高陡山坡的傍山隧道,要重视陡倾岩层和陡倾结构面的稳定性,尽可能