

文章编号:1671-8879(2006)02-0022-05

高填路堤下涵洞病害机理

康 佐, 杨晓华, 谢永利, 刘保健

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘 要:针对某高填路堤涵洞实体工程的病害,采用压力盒、水准仪及沉降观测仪器对其进行了全程监控,依据所测压力、沉降以及裂缝形态阐述了涵洞裂缝的产生机理,并从地基、基础、填土等方面分析了涵洞病害产生的因素,推定了涵洞基础扭转破坏的运动过程。指出在涵洞设计中应综合考虑地形因素,避免产生“扁担效应”,同时在现场施工过程中应采取合理的施工速度。

关键词:道路工程;特高填路堤;涵洞结构;病害机理;处治方案;高压喷射注浆

中图分类号:U417.3 **文献标识码:**A

Disease Mechanism of Culvert under Embankment of Special High-stacked Soil

KANG Zuo, YANG Xiao-hua, XIE Yong-li, LIU Bao-jian

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of
Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the disease evaluation of the culvert under the embankment of the special high-stacked soil, the crevice mechanics of the culvert is expatiated by some datum of pressure, sedimentation and crevice shape, which are acquired with pressure cell, and the instrument of water level and settlement observation. The disease mechanism of the culvert is analyzed according to groundsill, foundation and filling, and the damage process of torsion on the culvert foundation is understood synchronously. The results show that the landform element should be taken into account in the design of culverts in order to avoid the phenomena of shoulder pole, and rational construction rate must be taken on the spot construction. 12 figs, 6 refs.

Key words: road engineering; embankment of the special high-stacked soil; culvert structure; disease mechanism; disposal solution; jet grouting

0 引 言

在高速公路设计中,高填方路堤下设置的涵洞工程越来越多,然而对涵洞的设计与计算理论至今仍不完善,导致计算结果与实际相差很大,致使涵洞病害不断发生。据调查,涵洞设计中因误判导致设

计土压力偏小的情况,在设计时被安全系数所遮蔽,在使用中遭到破坏的高填土涵洞屡见不鲜;而由于设计保守,所取土压力集中系数偏大,导致涵洞设计在拱圈和台身上浪费材料,造成的经济损失也十分巨大。同时,涵洞施工过程中由于施工工艺不当等导致涵洞结构体尚未运营而人为破坏的实体工程亦

收稿日期:2005-01-10

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200231881224)

作者简介:康 佐(1978-),男,安徽广德人,工学博士研究生。

很多^[1]。

本文利用现场所测数据推定了涵洞裂缝扩展的机理,并从地基、基础和填土等方面综合分析了涵洞病害产生的因素,提出了高路堤下管涵结构物在设计中应综合考虑地形影响因素,在施工中应注意填土施工速度。根据病害分析,提出了利用高压喷射注浆定向处理涵洞周围土体的处治方案。

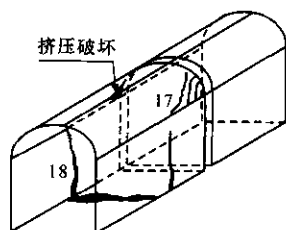
1 工程概况

某公路高填路堤涵洞地处黄河Ⅳ级阶地冲沟底部,其地势低洼。设计路堤最深处填土高达70 m。涵洞是在路堤填土达十几米后开始修筑的,其基础宽7.58 m,涵台高1.73 m,均为片石混凝土。涵洞纵向长度达212 m,涵洞长度之长,填土高度之高,在中国公路建设中极为少见。涵洞基底水稳层下回填黄土采用2 000 (kN·m)级强夯,夯点呈梅花形布置,夯击两遍。强夯分两部分,分别为涵洞基坑底面和山体接合部。水稳层采用水泥稳定砂砾碾压而成,厚度达到3 m,宽度为涵洞轴线两侧各5.9 m。涵洞施工工艺为首先在水稳层以下以涵洞轴线为中线,两侧各强夯12.5 m;然后开始填土3 m,再反开挖水稳层,宽度为12 m;修筑完成后,再做涵洞底板、台身和拱圈。整个涵洞建造周期为90 d,随后涵洞顶以上开始大规模填土施工。

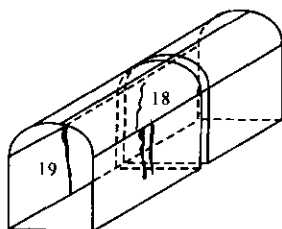
2 涵洞病害状况及变化特征

2.1 涵洞病害概况

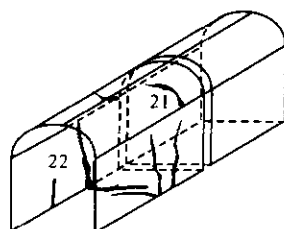
涵洞主体施工完成于2003年7月30日,首次发现裂缝为2003年8月24日,此时涵顶以上填土为10 m。从2003年9月23日起对涵洞裂缝变化进行监控,裂缝变化最大的涵节均位于涵洞中间涵节附近(全涵洞共有37涵节,编号规则为从上游向下游依次编号,第19涵节为中间涵节)。到2004年5月27日,第19涵节与第20涵节沉降缝最大变形达到18.8 cm,第19涵节裂缝变化基本稳定。2004年5月27日以来,涵洞裂缝扩展情况见图1。



(a)第18涵节破坏情况(上游)



(b)第19涵节裂缝变化情况(涵中)



(c)第22涵节破坏情况(下游)

图1 涵洞关键断面裂缝扩展情况

2.2 裂缝监控点布置

为了监控该涵洞的裂缝扩展过程,分别在涵洞各涵节内壁顶部设置水准观测点,在各裂缝处设置裂缝变化监控点,并在涵洞建造前期预埋压力盒,监控涵洞基底纵断面和局部横断面土压力变化运动情况(基底纵断面与涵中4个关键横断面布置见参考文献[2]),利用沉降观测仪器对高路堤填挖交界面沿原始山脊方向沉降变化进行布点监控。与此同时,实录现场施工速度,分析每日填土厚度与涵洞顶部土压力的变化情况。

2.3 关键裂缝扩展趋势

2.3.1 第22涵节裂缝变化情况

裂缝监控点分布见图2(a)。第22涵节东侧台身、底板和西侧台身均有裂缝,其中台身的裂缝形式为正八字形,裂缝扩展的趋势均表现为增大,裂缝最大变化尺寸为0.5 cm,裂缝变化基本呈台阶式扩展(图2(b))。

由图2中可以看到,在下游第22涵节附近(对应第3断面基底位置),涵洞西侧台身和底板的裂缝(标号5和6)扩展速度要快于东侧(标号3和4),但东侧涵台和底板裂缝(标号3和4)的发生时间要早于西侧,表明东侧因沉降量较大首先出现混凝土拉裂破坏,并且该断面向东侧倾斜扭转。由裂缝扩展过程可以推定,下游第22涵节附近的横断面和纵断面均有不均匀沉降发生。

2.3.2 第19涵节裂缝变化情况

裂缝监控点分布见图3(a)。第19涵节位于涵洞的中间(对应第2断面基底位置)。涵洞台身西侧发生了裂缝,裂缝扩展方向由上端向下部延伸,裂缝形式为倒八字形。监控期前50 d,裂缝变化速度较快,变化量达到1 cm;而后在长达200 d的时间里,裂缝只变化了0.1 cm,且基本趋于稳定。推定该断面只发生了纵向不均匀沉降,并未发生横向倾覆现象(图3(b))。

2.3.3 第18涵节沉降变形情况

裂缝监控点分布见图4(a)。第18涵节位于涵

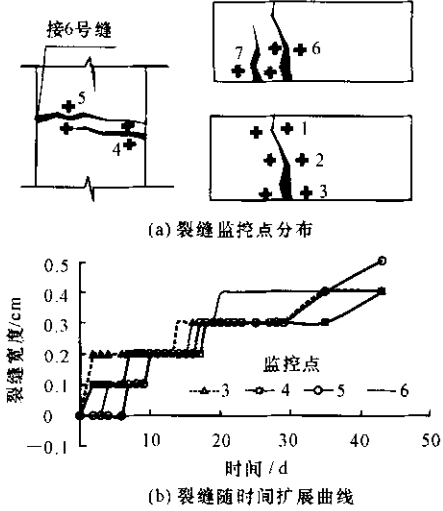


图2 第22涵节测点布置及裂缝扩展情况

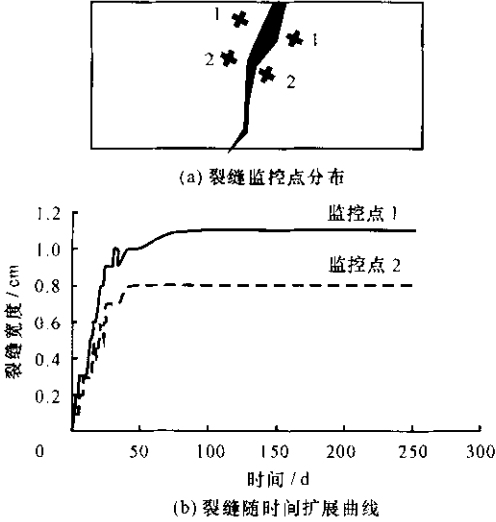


图3 第19涵节测点布置及裂缝扩展情况

洞上游(对应第一断面基底位置)。由图4(b)可以看到,裂缝形式为正八字形,扩展趋势为增大,裂缝最大变化尺寸为1.4 cm。西侧涵台和台身裂缝(标号2和3)的发生时间早于东侧(标号4和6),而东侧台身裂缝(标号7)逐渐减小。由裂缝扩展过程推定该断面前期因纵断面沉降不均匀破坏,而后因横断面沉降不均匀,东侧沉降骤减,导致该断面向西侧倾斜扭转。

2.4 涵洞纵向全断面不均匀沉降变化情况

由图5涵洞内壁顶部标高监控可以看到,涵洞纵向发生了明显的不均匀沉降,涵洞中段的沉降变化量比两侧最大沉降量小40 cm,此处也是涵洞沉降破坏最严重处,所引发的涵节破坏与图3相符。

2.5 涵底纵断面与横断面压力不均匀变化情况

水稳层底部土压力的分布形式呈波浪式分布,在距上游1/3处发生了应力集中现象,参照地形图6,可知该应力集中处以下即为原始山脊,其两侧土

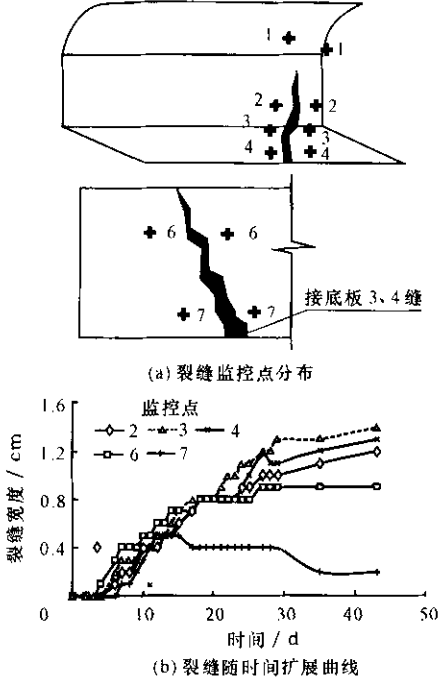


图4 第18涵节测点布置及裂缝扩展情况

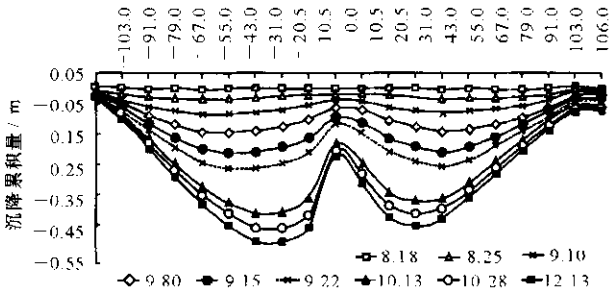


图5 涵洞内壁顶部标高监控

压力回落处均为沉降较大位置。由图7可知,随涵顶填土高度的增加,基底土压力递增速度明显。图8所示涵底横断面土压力分布情况,进一步证实第一断面(上游,对应涵节号为18)与第3断面(下游,对应涵节号为22)均发生了倾斜,扭转方向相反,其裂缝破坏分析与现场实录情况一致。

3 病害机理分析

3.1 地基因素

由地形勘察图可以确定在涵洞水稳层底部标高以下靠路中线附近存在原始山脊,与破坏涵节位置基本对应。由“填挖交界面”上的沉降观测结果可知沿山脊方向的沉降变化情况(图9)。

当填土标高达到涵顶标高时,涵洞工作面方出现,开始建造水稳层及涵洞。形象地说,该水稳层及涵体恰好在路中线附近,担在山脊上修筑,其两侧均为回填土。其直接影响是如果在山脊两侧涵洞下部

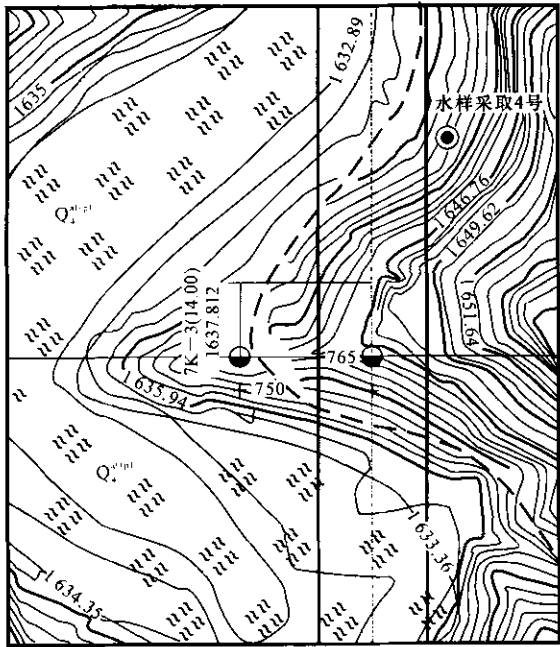


图 6 涵洞地形图

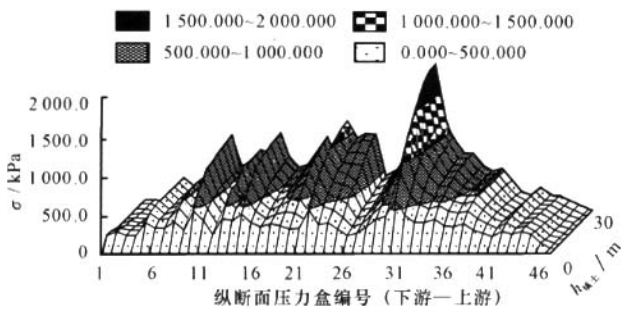


图 7 涵洞纵断面压力不均匀变化情况

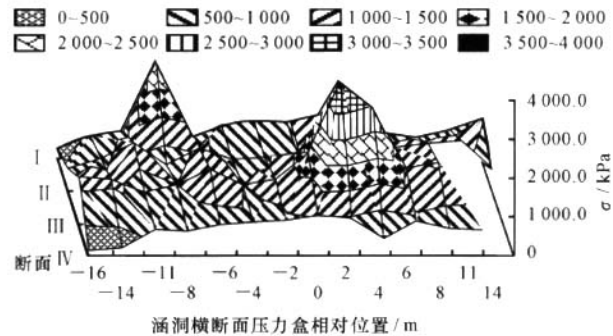


图 8 涵底 4 个横断面压力不均匀变化情况

填土沉降量过大时,涵洞在山脊位置附近可能会产生类似“扁担效应”的不利受力状况。由于水稳层及涵洞整体刚度较大,在该效应作用下,水稳层将首先遭到破坏,直观表现为沉降缝被拉开,裂缝形式呈“倒八字形”;随着涵顶填土继续增加,涵底填土沉降也不断增大,涵体将会出现裂缝。

另外,该坝式路堤沟底地下水较发育,常有地下水渗出,原定处理方案为清淤。由于淤泥深度较厚,实际操作困难,不可能完全清除,然后采用抛石挤淤

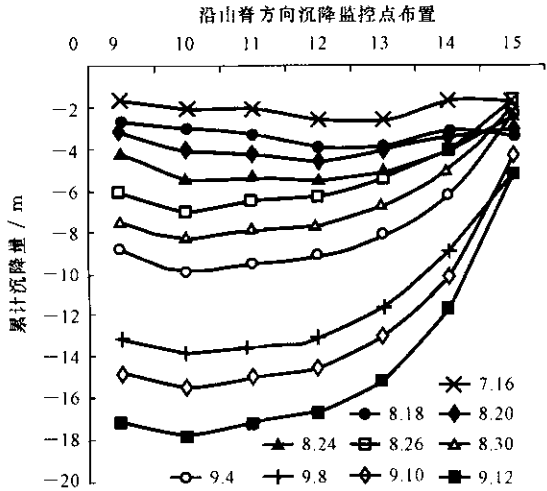


图 9 高填路堤涵洞填挖交界面沿山脊沉降变化情况

方案处理,但处理厚度较薄。路堤填土与沟底接合面未做隔水处理,当地下水位较高时,沟底填土可能会遭到地下水侵蚀,导致路堤填土沉降加大;当地下水位快速回落时,同样也会导致路堤填土整体沉降加大。同时,水的渗流会带走填土中的细小颗粒,也会引起沉降过大。实录现场情况为在裂缝出现前期沟底水位较高,此后水位出现急剧回落。水稳层下强夯影响范围和有效深度有限,也会导致基底不均匀沉降^[3]。

3.2 填土因素

涵洞底部标高以下路堤填土施工在秋冬季进行。由于气温较低,在填土压实过程中可能有结冰现象存在,影响压实质量,沉降量加大,导致后期土体变形无法协调。2003 年 8 月中旬以来,由于工程需要,填土速度加快,使得填土的沉降速率也随之增加,导致土体沉降与涵体沉降在较短时期内变形无法协调,从而产生破坏面。

填土速度对涵洞结构体的受力影响可以通过同期两种工况的不同施工进度对比得出。工况Ⅰ高填涵洞后期填土涵顶以上 34 m,填土时间为 184 d,平均每天 20 cm,属正常填土速度;工况Ⅱ高填涵洞涵顶填土 43 m,填土时间为 86 d,其中后 40 m 填土实用时 63 d,平均每天 64 cm,填土速度较快。两涵洞在未减荷的情况下土压力递增速率见图 10。填土速度快,涵顶土压力则增加明显。两涵洞在达到同一压力时,填土的时间相差 40 d 左右,土体内微单元的应力路径完全不同,进而对涵洞结构的影响也截然不同。未减荷的情况下,工况Ⅱ涵洞结构承载的土压力较理论土压力大许多倍,由此导致涵洞结构局部因沉降不均,产生严重应力集中现象,引起结构病害。因此,在涵洞体上部填土的施工过程中,除了要

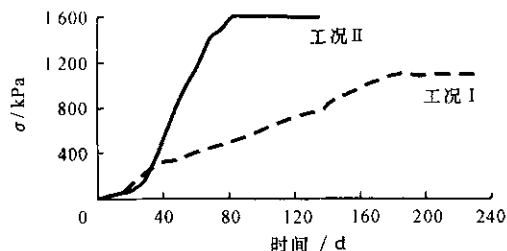


图 10 未减荷情况下填土速度与土压力递增速率

控制结构完成初期的机械碾压问题,还要重视后期的填土速度,过快的填土速度将会很快使上部不断增加的土体发生剪切破坏,进而将全部填土荷载迅速传递到底层涵洞结构体上,致使病害发生。

3.3 涵洞地基破坏成因分析

由于高填路基基底原状土质情况不同,填土和路面自重压密和机械压密固结将产生一定的沉降量,且由于高填路堤底部横断面较长,路堤压实度较高,路堤整体刚度也较大,这对涵洞地基承载力提出较高要求。涵洞基础为整体式,两涵台对涵洞地基的作用相互影响,产生的滑动面交织在一起,使涵洞地基的作用机理与常规的地基有明显区别。在路堤纵断面上,路堤沉降不仅影响涵洞结构的竖向变形,而且因为路堤的大变形发生了体变,使涵洞水平向受到影响。由实际测得的涵洞基底断面的土压力分布和变形可以看出,涵洞发生局部移动的根源是地形引起局部土体垂直运动不协调所致。

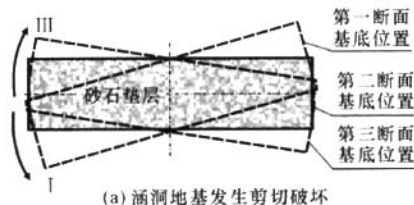
图 11(a)反映了涵洞因局部应力集中导致地基发生剪切破坏,引起涵洞纵向发生扭转破坏。涵洞地基因承载力不足而引起的破坏是基础持力层土的剪切破坏所致,发生剪切破坏滑动面并不同于浅基础情况下的整体剪切破坏模式,而是在基底发生了变形协调,协调的结果导致地基在两较大沉降处发生错动。涵洞基础、水稳层及地基示意如图 11(b)所示,根据压力和沉降变形数据图表,可以显示出地基发生剪切滑动的着力破坏点和被动影响力。

4 建议处治措施

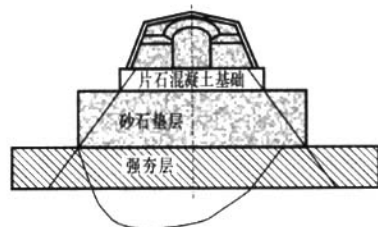
由于涵洞上下游均发生了扭转破坏,随着高填路堤沉降的逐步稳定,不均匀沉降主要是涵洞台身两侧土体所致。鉴于该涵洞顶部填土高达 47 m,处理过程中需充分考虑土体的自重压力,建议采用高压喷射注浆法来调节涵洞台身两侧土体的密实度。

根据实际情况,该涵洞的病害处治可以采用定喷与摆喷结合方式。

该病害涵洞的处治目标是通过高压喷射注浆法缓解不均匀沉降,尤其是由于不均匀沉降引起的涵洞



(a) 涵洞地基发生剪切破坏



(b) 涵洞地基、水稳层及地基示意图

图 11 涵洞基底地基受力工作机理

扭转倾斜结构破坏。在涵洞第二变坡处(标高为 1 680.0),针对相应涵节破坏严重横断面处进行处治,注浆管钻至涵洞水稳层附近(标高为 1 654.0),开始注浆。在该涵洞横断面的涵台两侧分别注浆,以便起到阻止该处横断面继续发生扭转。然后,对发生倾斜扭转的涵洞台身进行高压喷浆处理。在发生倾斜的一侧,利用钻机穿透涵体或利用沉降缝导入压浆管,以达到压浆密实涵台背填土的作用。通过采用以上内、外部分别高压喷浆的方法,可以控制扭转破坏的涵节继续变形。涵洞处治横断面示意图见图 12^[5-6]。

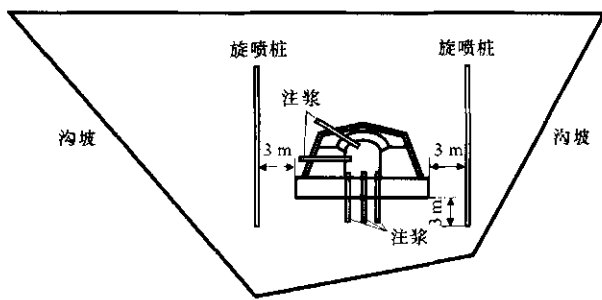


图 12 涵洞处理横断面示意图

5 结 语

(1) 针对某涵洞发生的病害,根据所监控土压力和沉降变化情况以及通过对裂缝发展趋势的分析,阐述了涵洞发生病害的运动过程,分析了涵洞裂缝形态产生的机理。

(2) 剖析了涵洞在设计中可能由于未注意地形情况,对地基处理不当以及施工中过快的填土速度都将引起涵洞的病害。从地基、基础和填土土体三者相互作用上分析了涵洞产生病害的机理,并提出了因基底局部应力集中所引起的“扁担效应”对涵洞结构体破坏的概念。

(下转 30 页)

(3)边坡水毁等级的划分标准不同于地质灾害的等级划分,公路边坡水毁灾害以 5 000 m³ 以下为主。

(4)公路边坡灾害的地区发生频次与暴雨的时间、空间分布规律是一致的,等级划分还可用于灾害预测、预警及应对方案的制定。建议通过暴雨预测、预警,结合公路边坡工况进行公路边坡的灾害预测和预警。

参考文献:

References:

[1] 胡厚田,韩会增,吕小平,等. 边坡地质灾害的预测预报[M]. 成都:西南交通大学出版社, 2001.
HU Hou-tian, HAN Hui-zeng, LÜ Xiao-ping, et al. The Estimate Forecast of the Side Sloping Geological Disaster[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2001.

[2] 张列锐,候建忠,王 川,等. 陕西大暴雨时空分布特征及减灾对策[J]. 灾害学, 1999,14(2):38 - 42.
ZHANG Lie-rui, HOU Jian-zhong, WANG Chuan, et al. The Space-time Distribution of Torrential Rain and

Prevention Measures in Shaanxi Province[J]. The Disaste, 1999,14(2):38 - 42.

[3] 黄朝迎,张 清. 暴雨洪水灾害对公路交通的影响[J]. 气象, 2000,26(9):12 - 15.
HUANG Chao-ying, ZHANG Qing. Impact of Flood on Highway[J]. Weather, 2000,26(9):12 - 15.

[4] 汤爱平,谢礼立,陶夏新,等. 自然灾害的概念、等级[J]. 自然灾害学报,1999,8(3):61 - 65.
TANG Ai-ping, XIE Li-li, TAO Xia-xin, et al. The Definition of Natural Disaster and Disaster Grade Scale [J]. Journal of Natural Disasters, 1999,8(3):61 - 65.

[5] 张 梁,张业成,罗元华. 地质灾害灾情评估理论与实践[M]. 北京:地质出版社,1998.
ZHANG Liang, ZHANG Ye-cheng, LUO Yuan-hua. The Geology Disaster Evaluation Theories and Fulfillment[M]. Beijing: Geology Press, 1998.

[6] 向缉熙. 地质灾害经济评价系统[M]. 北京:地质出版社,1998.
XIANG Ji-xi. The Geology Disaster Economy Evaluation System[M]. Beijing: Geology Press, 1996.

~~~~~  
(上接 26 页)

(3)针对某涵洞已经发生扭转破坏,建议采用高压喷射注浆的方法,在涵洞内外侧同时注浆,定向固化涵洞周围土体,处治涵洞因为扭转倾斜而引起的结构体破坏。

参考文献:

References:

[1] 顾安全. 上埋式管道及洞室垂直土压力研究[J]. 岩土工程学报,1981,3(1):1 - 17.  
GU An-quan. Investigation of the Vertical Earth Pressure on Projecting Conduit and Underground Chamber under a High Embankment [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,1981,3(1):1 - 17.

[2] 康 佐. 特高填土路堤下涵洞受力与减荷性状研究[D]. 西安:长安大学,2004.  
KANG Zuo. The Character Research for Stress and Load-shedding Measurement of Culverts under the Embankment of the Special High-Stacked Soil[D]. Xi'an Chang'an University,2004.

[3] 杨晓华,谢永利. 公路隧道塌方综合处治技术[J]. 长安

大学学报:自然科学版, 2004,24(1): 61 - 64.  
YANG Xiao-hua, XIE Yong-li. Synthetical Treatment Technique for Highway Tunnel Collapse[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24 (1):61 - 64.

[4] 牛志荣. 地基处理技术及工程应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.  
NIU Zhi-rong. The Disposal Technique of Ground Base and its Project Applications[M]. Beijing: China Architecture and Building Press,2004.

[5] 杨晓华,俞永华. 水泥-水玻璃双液注浆在黄土隧道施工中的应用[J]. 中国公路学报,2004,17(2):68 - 72.  
YANG Xiao-hua, YU Yong-hua. Application of Cement-silicate Double Solution Grouting in Loess Tunnel Construction [J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(2):68 - 72.

[6] 景宏君,张 斌. 黄土路基强度规律[J]. 交通运输工程学报, 2004,4(2):14 - 18.  
JING Hong-jun, ZHANG Bin. Loess Subgrade Strength Law[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(2):14 - 18.