

2007年日本群马县南牧村泥石流成灾特点与启示

苏志满¹, 徐林荣¹, 鵜飼恵三², 杨情情^{1, 2}, 蔡飞²

(1. 中南大学土木建筑学院, 湖南 长沙 410075 中国; 2. 群马大学土木与环境工学系, 群马, 桐生 3768515 日本)

摘要: 2007年日本群马县南牧村在“植被覆盖良好, 且实施了泥石流工程防护”的情况下, 依然发生泥石流灾害, 究其原因, 与南牧村大量培育的“浅根型杉木人工纯林”关系密切。研究表明, 南牧村的高大浅根杉木纯林具有典型的抑灾、致灾双向影响作用, 其中“致灾影响”使得持续强降雨过程中斜坡林地大量破坏, 结果(1)出现多条新发育的泥石流沟, 泥石流暴发规模超过防护设计标准; (2)产生的漂木堵塞透水型拦挡坝, 实际防护效能下降; (3)有的泥石流沿公路输移并破坏沿线经济体, 泥石流危害范围扩大。据此, 探讨了浅根型人工乔木纯林斜坡林地的稳定性问题、漂木拦挡问题、良好植被覆盖区泥石流灾害防治对策问题, 建议探索浅根型乔木林人工培育及良好植被覆盖区泥石流危险区辨识等工作的减灾途径, 重视斜坡林地稳定性的动态评价、泥石流危害路径的探查及良好植被覆盖区低频泥石流灾害隐患的揭示。

关键词: 泥石流; 灾害调查; 良好植被覆盖区; 透水型拦挡坝; 既有防护; 杉木纯林; 日本

中图分类号: P642.23 X43

文献标识码: A

2007年, 第9号台风袭击了日本群马县西南山区的南牧村, 降雨从9月5日持续到9月7日, 大部分地区总降雨量超过500 mm, 个别达到597 mm^[1]。长历时强降雨造成境内河流量暴增, 河岸崩坏, 滑坡、泥石流到处发生。本次泥石流活动共造成1名人员轻伤, 房屋1栋全毁, 11栋局部毁坏, 19栋屋内淹水, 另有75栋地基受到不同程度的浸泡^[2]。

群马县作为日本“水土保持机能样板林综合事业”的四大试验地之一, 开展了泥石流危险区辨识与警示、河道整治、滑坡与泥石流工程治理、植树造林等工作, 近几年来较少发生滑坡、泥石流灾害。然而, 2007年的这场强暴雨给当地造成严重的泥石流灾害, 令人防不胜防。通过对2007年日本群马县南牧村泥石流灾点的调查与分析, 探讨南牧村泥石流成灾模式及其特点, 以期对泥石流灾害研究与防治工作抛砖引玉, 避免类似问题的再次发生。

1 泥石流成灾模式及其特点

泥石流研究工作者历来重视对成灾泥石流活动的调查与分析^[3-7], 希望从中总结泥石流成灾模式, 为泥石流的研究与防治工作提供依据。

泥石流成灾模式大体可分为两种: ①泥石流启动后, 直接侵入人类活动区, 造成经济损失或人员伤亡, 即未防护而成灾; ②泥石流启动后, 虽有人工介入式调控, 仍然造成破坏, 即实施防护依然成灾。对于模式①, 灾害的发生是由于承灾体暴露于致灾体泥石流的危害路径上; 模式②则可能由于致灾体规模超过防护标准, 或防护措施未达设计标准, 或防护范围未涵盖所有危害路径。南牧村实施了泥石流防护, 但依然成灾, 属于模式②。调查结果表明, 南牧村泥石流成灾过程具有如下特点:

收稿日期 (Received date): 2009-09-11; 改回日期 (Accepted): 2009-12-28.

基金项目 (Foundation item): 交通部西部交通建设科技项目“活动断裂区高速公路泥石流灾害防治技术与推广应用研究” (200831800087); 四川省交通厅科技项目“活动断裂区公路沿线泥石流启动机理与灾害防治对策研究” (2006A024-582). [Supported by the West Traffic Construction Science and Technology Project of Chinese Communications Ministry (200831800087) and the Science and Technology Project of Sichuan Communications department (2006A024-582).]

作者简介 (Biography): 苏志满 (1982-) 男, 福建晋江人, 博士生, 从事泥石流灾变控制理论与方法研究。 [Su Zhiman (1982-), male born in Jinjiang Fujian China. PhD candidate recently conducted the researches on theories and methods in debris flow disaster evolution control]

E-mail: smzmq@163.com

1. 特殊的固体物质来源——良好植被覆盖区的斜坡破坏

一般而言,林木既能通过根系的固土作用保护坡面,又能通过树干拦截部分山坡上部崩落物,减弱沟道松散固体物质的富集程度,还能通过林木的冠层和树干拦截降雨,延缓汇流时间,削减汇流量^[8]。林木的固土、蓄水功能对泥石流的形成起了抑制作用,植被覆盖良好区泥石流暴发频率一般比较低。

南牧村山区培育了大量人工纯林,植被覆盖良好。然而,灾后调查发现,南牧村境内大量滑坡、泥石流发生在植被覆盖良好区域,让人始料未及。成片树林被连根拔起(照片1),根系土体连带松动,引发更深层的土体破坏。倾倒林木随泥石流漂移,被切削得只剩树干,堆积在拦挡坝后方(照片2)。据日本电视台报道,当时有的河道、公路表面遍布漂木,甚至绵延到河道出海口,足见斜坡林地破坏的严重程度。



照片1 斜坡林木被连根拔起*
Photo. 1 Tear-up of trees on a slope



照片2 大量漂木堆积在拦挡坝后方
Photo. 2 Drift logs deposited behind a dam

2. 特殊的防护失效方式——漂木堵塞

南牧村泥石流治理大多采用透水型拦挡坝。该种坝体通过选择地拦阻大石块,排走碎屑、泥浆和流体中的自由水,实现水土分离,较实体坝具有库容利用系数高、使用年限久、节省材料等优点^[9]。调查的两座拦挡坝,坝体结构基本完好,坝身无明显损伤,但排水通道均出现漂木堵塞(照片3)。漂木有的嵌入透水型拦挡坝的排水通道,有的卡在通道进口。由于排水通道被堵,有的坝体的蓄砂表面离坝顶尚有3 m多(设计坝高约7 m),拦蓄能力远低于预期效果。

3. 特殊的危害路径——山区公路

南牧村山区公路两侧原本认为安全的溪沟在此次持续强降雨过程却发育为泥石流沟,由于这些公路路窄坡陡,两侧为堑坡或建筑物,具备汇流的地形条件,成为泥石流输移通道。泥石流流体在未受人工干预的情况下,直接汇入公路,并沿公路输移,结果造成公路基础设施和两边的居民房屋基础暴露,直接遭受泥石流侵害(照片4泥痕高度约2.5 m),进而导致灾害应急救援时交通不畅,扩大了灾害影响。

公路成为泥石流输移通道还有另一种情况。南牧村有条沟道原设置了小型拦挡坝(照片5)。2007年强降雨过程,上游林地大量破坏,并暴发泥石流。该座拦挡坝不足以拦蓄新生的大量泥沙和漂木,致使泥石流漫过拦挡坝,直接冲到公路,并沿公路输移。灾后,在上游沟道修建一座规模更大的拦挡坝(照片6)。应该指出,前期泥石流灾害防治工作中意识到该条沟道源流的危险性,只是防护措施介入灾害体的程度不够,未能成功抵御灾害体侵入人类活动区,导致灾害的发生。

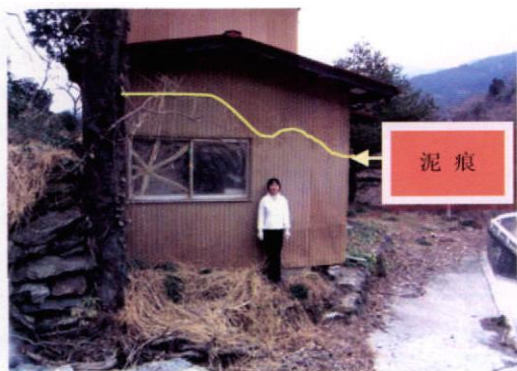
归根结底,南牧村泥石流成灾源于斜坡林地的破坏。斜坡林地出乎意料的大量破坏,使得泥石流规模超过了既有防护的设计标准;林地破坏产生的漂木,堵塞拦挡坝排水通道,降低了既有措施的防护效能;新发育的林区泥石流沟,导致南牧村出现“防护真空区”,并促使山区公路成为输移路径,造成公路沿线经济体暴露在泥石流危害路径上,扩大了泥石流危害范围。显然,此次灾害事件中,良好植被覆盖区的林木成为主要致灾因素。此类问题已引起了泥石流研究者的重视,并开展了相应的研究^[10-13]。分析表明,高大林木及其根系范围内土体组成的整体,重心往往高于地面。降雨情况下,一旦根系土体

* 本文照片均系第一作者在日本群馬大学作研究生(Research Student)时,调查南牧村泥石流灾害拍摄而得。



照片 3 漂木堵塞坝体排水通道

Photo 3 Water passages of dams were plugged up by drift logs



照片 4 泥石流流经公路的泥痕

Photo. 4 Mud mark of debris flow aside a road



照片 6 在建拦挡坝

Photo 6 Constructing dam



照片 5 公路边既有拦挡坝

Photo. 5 Existing dam beside a road

系密切。

南牧村培育了大量的杉木林, 由于砍伐和运输成本较高, 杉木林一直得不到利用, 大部分已进入成年期, 呈现一幅植被繁茂的景象。由于高大杉木林对沟岸松散土体的拦蓄作用, 沟床松散堆积物较少, 再加上沟道植被覆盖良好, 容易造成沟道稳定的假象。实际上, 杉木为浅根型乔木树种, 无明显主根, 侧根发达, 穿透力弱, 成年林木根系深约 2 m, 水平根幅大于树冠 1 倍左右^[14], 根系的固土范围和能力较小。而且, 南牧村人工杉木林未与其他树种形成混交林, 没能形成完整的生态系统, 使得林木的固土、蓄水功能大打折扣。持续强降雨过程中, 高大杉木纯林对降雨致灾先有抑制作用, 当降雨超过杉木纯林调控限度时, 反而导致发生规模更大的泥石流。由此可见, 高大浅根杉木纯林具有典型的抑灾、致灾双向影响作用。

此外, 杉木纯林从幼林长至高大的木材林, 斜坡林地的稳定性先增大后减小, 是个动态变化的过程,

遇水软化, 在足够强的风力作用下, 将导致斜坡林木倾覆。当降雨持续时间过长, 雨势过猛, 植被拦蓄雨水能力将有所减弱, 坡面径流将逐渐形成, 长时受水浸泡的浅层土体可能在高大林木的带动下发生破坏, 并与水掺混而形成泥石流。在此问题上, 南牧村具有其特殊性。此次南牧村泥石流灾害的发生, 与南牧村山区大量培育的“浅根型杉木人工纯林”关

杉木幼林时期的水土流失现象容易被发现^[15],但成年后斜坡林地危险性的不降反升往往出乎想象,这增加了杉木纯林斜坡林地稳定性问题的隐蔽性。

因此,杉木人工纯林的抑灾、致灾双向影响作用及斜坡林地稳定性的动态变化,从根本上决定了南牧村泥石流成灾模式的特殊性。

2 南牧村泥石流灾害的减灾启示

“实施防护依然成灾”模式的灾害事件具有特殊的研究意义。成灾过程是对既有防护体系的一次检验,能够反映防护措施的减灾效果,或暴露存在的问题。对于泥石流这种转瞬即逝的致灾体而言,检验尤为难得。通过审视南牧村泥石流成灾模式及特点,笔者认为如下问题值得关注:

1. 浅根型人工乔木纯林斜坡林地的稳定性问题

杉木属浅根型乔木,同类型乔木品种还包括马尾松、落叶松和油松等常见的针叶林种,此外还有山苍子、光皮桦、刺槐等。这些浅根型乔木如果以人工纯林方式生长在斜坡林地上,则有可能面临与南牧村杉木林类似的问题。根据联合国粮农组织公布的世界森林资源评估报告(2005年)中国森林面积 $1.34 \times 10^8 \text{ km}^2$,其中人工林面积 $3183.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,且90%人工林为纯林,82%为纯林幼林。人工林品种较为单一,针叶纯林占三分之二左右,个别省份高达95%,闽、湘、皖、桂、浙5省几乎全为杉木和马尾松人工纯林。人工乔木纯林在提高绿化面积、增加经济效益的同时,斜坡林地的潜在危险性也不容忽视。随着人工乔木幼林的成长,该问题可能愈加严峻。

鉴于此,新植的乔木应该注意与其他类型植物混搭,形成良好的生态环境系统;处于成长期的乔木幼林,应重视对斜坡林地稳定性的观测;已培育的高大乔木林,应加强林木管理,如纯林的间伐、新树种的培育等。在植被良好覆盖区泥石流危险区辨识研究中,可以探索根据林木种类区分沟道危险性的方法,以及根据林木生长期评估危险性的方法。

2. 漂木拦挡问题

南牧村泥石流成灾过程中,漂木增加了泥石流灾害损失。相关研究表明^[10 14 15],漂木和大石块在沟道内形成的临时坝溃决时,将产生堵溃洪峰,增加泥石流对沟道或河道的冲刷和冲击力,提高泥石流

的危害能力。良好植被覆盖区泥石流暴发过程往往产生大量漂木,应特别重视漂木危害问题。

从南牧村拦挡情况看,透水型拦挡坝拦蓄了漂木,但漂木也造成了坝体的堵塞(见照片3),进而降低了拦挡坝的减灾效果。为避免类似问题的发生,漂木拦挡措施的排水通道不宜过于狭长,或者设计目标只考虑泥石流停歇期的排水问题,而不是拦粗排细功效。

3. 良好植被覆盖区泥石流灾害防治对策问题

根据泥石流活动过程的启动、输移、堆积阶段特性,可通过抑制泥石流的发生或发展,阻止或阻碍泥石流侵入人类活动区,或者直接避开泥石流危险区,来减小灾害损失。为此,应弄清致灾体的危险性及危害路径、承灾经济体类型及分布、既有防治体系的功能等,据此制定灾害防治对策。对于良好植被覆盖区,有些问题应特别对待。

在致灾体的辨识上,重视良好植被覆盖区斜坡林地的稳定性对泥石流活动的影响。人工乔木林区应特别关注乔木的成长时期;其他林区若缺乏林地稳定性评价资料,应加强对林地稳定性的观测及相应的研究,如根系固坡机理实验或根系固坡程度测试。

在危害路径的确定上,除了探查泥石流可能流经的沟道、河道及临近范围外,还应考虑其他输移通道。南牧村灾害事件中,由于山区公路成为泥石流输移通道,造成了意想不到的损失。一般情况下,泥石流危害路径较为明确,如沟口堆积区或线路工程跨过的流通段局部区域。但是风景区或山地居住区,经济体分布在沟内,危害路径将更为复杂,更应重视危害路径的确定。

此外,承灾经济体的调查应结合危害路径的探查;既有防治体系的功能分析除了检验自身防治效果外,还应考虑其是否覆盖所有危害路径,后者处置不当往往直接酿成灾害;良好植被覆盖区泥石流暴发频率较低,当地人民可能没有关于泥石流发生的记载,对泥石流灾害缺乏了解,导致房屋直接修建在泥石流危害范围内,调查时应特别重视对此类隐患的揭示。

3 结论

1. 2007年日本群马县南牧村泥石流成灾模式为“实施防护依然成灾”。此次灾害具有3个特点,

即斜坡林地出乎意料的大量破坏, 致使泥石流暴发规模超过既有防护的设计标准; 林木破坏产生的漂木造成的堵塞, 导致透水型泥石流拦挡坝实际防护效能降低; 山区公路在此次灾害中成为泥石流输移通道, 使得泥石流危害范围大为扩大。

2. 南牧村山区大量培育的浅根型高大杉木人工纯林, 具有致灾、抑灾双向影响机制, 即一开始对降雨致灾具有抑制作用, 当降雨超过杉木调控限度时, 反而可能导致发生规模更大的泥石流。随着杉木的成长, 杉木人工纯林斜坡林地的稳定性是个动态变化的过程, 呈现先增大后减小的趋势。这些情况从根本上决定了南牧村泥石流成灾模式的特殊性。

3. 中国人工林中, 马尾松、落叶松、油松、杉木等浅根型乔木纯林占绝大多数, 可能面临与南牧村杉木人工纯林类似的问题。此外, 中国目前的人工纯林多数处于幼林期, 随着林木的成长, 斜坡林地的稳定性问题可能愈加严峻。应探索浅根型乔木林人工培育及良好植被覆盖区泥石流危险区辨识等减灾途径。

4. 良好植被覆盖区泥石流危险性和危害路径、承灾体类型及分布等具有特殊性。应重视斜坡林地稳定性的动态评价、泥石流危害路径的探查及良好植被覆盖区低频泥石流灾害隐患的揭示。

5. 对于泥石流这种转瞬即逝的致灾体而言, 既有防护下的泥石流灾害事件能够反映所用措施的实际防护效果, 暴露存在的问题。探求问题的症结, 反哺泥石流灾害研究和防治工作, 具有理论和实践意义。

参考文献 (References)

- [1] Meteorological observatory of Maebashi Japan. Quick report on the No. 9 typhoon in 2007 which moved across Gunma Prefecture Japan [EB/OL]. Sep 10th, 2007. <http://www.tkyo-jma.go.jp/home/maebashi/taifu070910.Pdf> [日本前橋地方気象台. 平成 19 年台風第 9 号に関する群馬県気象速報 [EB/OL]. 2007-09-10. <http://www.tkyo-jma.go.jp/home/maebashi/taifu070910.Pdf>
- [2] Office of Gunma Prefecture Japan. No. 43 news about rivers in Gunma Prefecture [EB/OL]. Sep 10th, 2007. http://www.pref.gunma.jp/city/Portal/Service/DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=77206 [日本群馬県庁. ぐんま川便り第 43 号 [EB/OL]. 2007-09-10. http://www.pref.gunma.jp/city/Portal/Service/DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=77206

- [3] Xie Hong, Wang Chenghua, Lin Lixiang. Landslide induced debris flow disaster and its characteristics in Baoshuayan Gully [J]. The Chinese Journal of Geographical Hazard and Control, 2000, 11(3): 20~22. 27 谢洪, 王成华, 林立相. 标水岩沟滑坡型泥石流灾害及特征 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(3): 20~22. 27
- [4] Chen Ningsheng, Gao Yanchao, Li Dong, et al. Conflux process analysis of disastrous debris flow in Qingshan Ravine, Danba, Sichuan Province [J]. Journal of Natural Disaster, 2004, 13(3): 104~108. 陈宁生, 高延超, 李东风, 等. 丹巴县邛山沟特大灾害性泥石流汇流过程分析 [J]. 自然灾害学报, 2004, 13(3): 104~108
- [5] Cui Peng. Disaster Characteristics by debris flow in 2004, China and hazard reduction countermeasures [J]. Journal of Mountain Science, 2005, 23(4): 437~441. 崔鹏. 中国 2004 年泥石流灾害特点及其对减灾的启示 [J]. 山地学报, 2005, 23(4): 437~441
- [6] Chen Xiaoping, Wei Fangqiang, Cui Peng, et al. 2002-08-14 Large scale landslide debris flow hazard in Xinping county and the prevention countermeasure [J]. Journal of Mountain Science, 2003, 21(5): 599~604. 陈晓清, 韦方强, 崔鹏, 等. 云南新平 2002-08-14 特大滑坡泥石流灾害及防治对策 [J]. 山地学报, 2003, 21(5): 599~604
- [7] Xu Linrong, Luo Guanhui, Liu Dawei, et al. Assessment on geological hazard of the Zhangjiajie to Zhiliu (Zhijiang-Liuzhou) Railway [J]. The Chinese Journal of Geographical Hazard and Control, 2009, 20(2): 80~86. 徐林荣, 罗冠枝, 吕大伟, 等. 枝柳 (枝江—柳州) 铁路线张家界段线域地质灾害评估 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(2): 80~86
- [8] Cui Peng, Chen Xiaoping, Liu Suqing, et al. Techniques of debris flow prevention in national parks [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(6): 172~177.
- [9] Li Deji. The application of permeable dam in debris flow control [J]. The Chinese Journal of Geographical Hazard and Control, 1997, 8(4): 60~66. 李德基. 透水型拦挡坝在泥石流防治中的应用 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1997, 8(4): 60~66
- [10] Wang Shijie, Zhong Dunlun, Xie Hong. Debris flow and its prevention in Lushan [J]. Bulletin of Water and Soil Conservation, 2001, 21(6): 33~36. 王士革, 钟敦伦, 谢洪. 庐山风景区犁头尖北坡泥石流及其防治 [J]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 33~36
- [11] Cui Peng, Liu Suqing, Tang Banxing, et al. Control model of debris flow hazards in scenic area take the world natural heritage Jiuzhaigou for example [J]. Science in China Ser E Technological Sciences, 2003, 33(5): 1~9. 崔鹏, 柳素清, 唐邦兴, 等. 风景名胜区泥石流治理模式: 以世界自然遗产九寨沟为例 [J]. 中国科学 E 辑 (技术科学), 2003, 33(增刊): 1~9
- [12] Chen Xiaoping, Cui Peng, Wei Fangqiang. Study of control debris flow in high-covered vegetation region [J]. Journal of Mountain Science, 2006, 24(3): 333~339. 陈晓清, 崔鹏, 韦方强. 良好植被区泥石流防治初探 [J]. 山地学报, 2006, 24(3): 333~339

- [13] Chen Xiaoping, Cui Peng, Tang Bangxing, et al. Civil engineering techniques of debris flow control in national parks [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control 2006 17(2): 79 ~ 84 [陈晓清, 崔鹏, 唐邦兴, 等. 具有风景区泥石流治理特色的土木工程措施 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006 17(2): 79 ~ 84]
- [14] Chen Chuying, Liao Liping, Wang Silong. Ecology of Artificial Pure Plantation of Firs [M]. Beijing: Science Publishing Company,

- ry 2000 17 [陈楚莹, 廖利平, 汪思龙. 杉木人工林生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2000 17]
- [15] He Guiping, Chen Yitai, Cai Hongning, et al. Study on the dynamics of lost amount of soil and water in young forest of Chinese fir [J]. Forest Research 1996 9(5): 544 ~ 548 [何贵平, 陈益泰, 蔡宏明, 等. 杉木幼林地水土流失动态研究 [J]. 林业科学研究, 1996 9(5): 544 ~ 548]

The Characteristics of the Process of Debris Flow Disaster in 2007 in Nanmoku Village, Gumma Prefecture, Japan and Its Enlightenment on Disaster Mitigation

SU Zhimar¹, XU Linrong¹, UGAIKE izo², YANG Qingqing², CAI Fei²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410004, China)

(2. Department of Civil and Environment Engineering, Gumma University, Kiryu 3768515, Japan)

Abstract: A debris flow disaster happened in 2007 in Nanmoku Village, Gumma Prefecture, Japan, the place of which was well forested and under the protection of disaster control measures. The result of field investigation showed that this special disaster could owe to the artificial pure plantation of shallow root fir with highly coverage area in Nanmoku Village. Tall and shallow root fir in Nanmoku Village have typical disaster suppressing and disaster causing bidirectional effects on debris flow disaster formation, and the disaster causing effect led to a situation that a large amount of well forested slopes failed and mixed with the flood during the strong rainfall period, which produced drift logs plugging up the water passages of permeable dams, which resulted in the excess of debris flow scale over the designed standard of existing disaster control measures and the power of practical effects of dams than expected. Besides, there were some failures of slope near mountain road happened without its potential risk being recognized before, and they made the mountain road acting as the passage of debris flow, which induced the economic body along roads dropping into the damage ranges of debris flows. Enlightened by the situations mentioned above, 3 issues about debris flow disaster mitigation were proposed and discussed, which were the stability of forest slope covered with arbor of shallow root type, the blocking measure of drift logs, and the preventing counter measures of debris flow disasters in well forested area. It is suggested that the mitigation measures in the field of artificial pure plants cultivation and risk zonation of debris flow in well forested area should be explored, the design idea of varying dimensions hom shape structure of drainage passage could be introduced to enhance the drain function of permeable dam, and more attention should be paid to the evaluation of dynamic stability of forest slope of different period, the identification of damage routs of debris flows, and the revelation of potential danger of low frequent debris flow in well forested area.

Key words: debris flow, disaster investigation, well forested area, permeable dam, existing control measure, pure plantation of fir, Japan