

# 颗粒分选速度与土体温度之关系

曾 森 煌

(建国工商技术学院土木工程科 台湾)

**摘 要** 着重于从事同一堆积材料试体在不同温度下受振荡之上升速度的变化试验,采用粒径 3.9 mm 之百丽珠做为堆积材,底层堆积高度( $H_d$ )分别为 4, 8, 12, 18 cm 共 4 种高度,于放置同粒径不同颜色之百丽珠做为追迹珠后,上层堆积厚度( $H_u$ )为 2 cm,试体初始温度  $t$  设定为 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 等 12 种温度一共 48 种处理。每一处理 5 重复试验得一追迹珠上升 2 cm 所需时间( $T$ )与试体温度( $t$ )之关系式。

**关键词** 碰撞 颗粒 土石流 分选速度

## The Relation Between Separation Velocity and Temperature of Particles in Debris Flow

Sen-Huang Tseng

(Chien-kuo Junior College of Technology and Commerce Taiwan)

**Abstract** The author mainly engaged in an experiment with a piles of materials to test the changes of the shocked blanket's ascend velocities under various temperatures. Using 3.9mm particle diameter of Bailizhu as piled material, the piled ground height ( $H_d$ ) is 4, 8, 12 and 18cm respectively. After taking the various colour's particles as the trace lines, the overlying piled thickness ( $H_u$ ) is about 2cm. The temperature treatments are 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 and 31 ( $t$ ), under 5 times replications, the relation between the particles and times ( $T$ ) needed by particles risen 2cm were established here.

**Key words** collision particles debris flow separation velocity

## 1 前 言

最近数年来,每当豪雨侵袭时,山区往往产生大量的土石流流出,造成甚大的灾害。如贺伯、温妮、瑞伯与芭比丝台风过境台湾,带来了暴雨均造成中部及北部坡地严重的土石流灾害,其中以南平坑、郡坑口、郡坑桥、丰丘、和社及神木村等地区之土石流灾害尤为严重,死亡 27 人、失踪 14 人及房屋冲毁等灾情,超过 10 年前花莲铜门村活埋的灾祸。

根据笔者(1995)回顾台湾数10年学者对土石流研究成果发现有关土石流研究、在灾害调查、发生与堆积机制、预警系统和防治对策工事等研究方面,已有相当之成果。虽然从事流动之力学特性和冲淤模式等研究也有不少文献发表,然而冲淤模拟与水槽试验结果比对有很大的出入,因为土石流内部由于材料组成的多样性和流动性质的多变性的原故,尚有很多流变特性未明。乃进一步探讨流变特性与浓度、固体颗粒间结构的松紧以及碰撞效应的关系,而有相当的了解。

曾森煌、游繁结(1997)在实施同一种处理多次重复实验时,偶然发现后实验颗粒上升速度有比前实验快的现象,似乎与试体因长时间振荡温度上升的布朗效应有关。Brown(1827)使用显微镜观察含在花粉中的小颗粒,看到这些粒子作着高度不规则的运动,由不同种类物质的观察得到的结论是:越细小的粒子运动得越快,且运动会受热的激发而变快。后来科学家们明白这种不规则的布朗运动是因物质分子经过大量的碰撞而产生的,温度越高则运动越快。因此颗粒碰撞效应消耗能量,其能量传递与置换的方式有待进一步探讨。

## 2 前人研究

颗粒碰撞效应的探讨,最早有Bagnold(1954)针对牛顿流体中粗圆颗粒在剪力作用下探讨分散应力的大小。认为在高浓度流体中,由于颗粒频频碰撞而产生分散应力,其大小可由(1)式计算出。

$$P = a \cos \alpha \lambda d \left( \frac{du}{dy} \right) \quad (1)$$

而在混合流体中之剪力则可由(2)式表之:

$$\tau = p \tan \alpha \quad (2)$$

(1)及(2)式中:  $P$  ——分散应力;  $\tau$  ——剪应力;  $a$  ——常数;  $\alpha$  ——相当于颗粒动摩擦角;  $\sigma$  ——颗粒密度;  $d$  ——颗粒粒径;  $\lambda$  由公式  $\left[ \left[ \frac{c^*}{cd} \right] \left( \frac{1}{3} \right) - 1 \right]$  计算:  $c^*$  ——颗粒堆积时可能最大体积浓度;  $cd$  ——土石流体积浓度;  $u$  ——在高度  $y$  处之流速。

Bagnold 认为在稳定流状况,  $y$  高度处之分散应力应等于流体在  $y$  高度以上之流体之垂直方向应力。

Knight 等人(1993)有关振荡诱导颗粒状堆积物中粒径较大的颗粒往上升,形成粒径筛选的实验结果,可以说明颗粒碰撞效应造成土石流段波之先端部粗颗粒积聚的现象。他们以一个35 mm直径的耐热玻璃圆筒,开口端朝上,置放在VG100振荡器上,内以直径2 mm玻璃圆珠堆积之。并以比重相同玻璃圆珠为追迹珠三种直径各为19 mm、6 mm及2 mm,置放不同深度,并以每秒30周之振荡频率,振荡每一击强度相当加速度  $a$  为3 g、5 g及7 g之三种处理( $g$ 为重力加速度),观测追迹珠上升高度与振动次数之关系,发现每一击上升高度与追迹珠直径大小无关,仅依振荡强度大小而定。

Yu(1995)根据Bagnold公式推算  $\alpha$  值再与水槽试验资料比对结果,所得结论为粗材料孔隙大,渗透流速快,引起较剧烈的碰撞效应,造成土石流有较高的段波高度,即粗颗粒有较大的  $\alpha$  值。则土石流流速愈大,  $\alpha$  值也跟着较大。但  $\alpha$  最大值会随着渠槽坡度增加。同时认定颗粒的碰撞效应,消耗了土石流的能量,使土石流衰减而造成土石流停积。

曾森煌、刘治平(1997)为探讨颗粒碰撞效应对土石流流变状况之影响,采工业用筛选材料振

荡器, 颗粒材料采用塑胶圆珠(百丽珠), 容器采用 500 ml 容量之玻璃烧杯。为明了本实验与 Knight 等实验之连续性, 首先以 4 mm 直径之圆珠作为土体之母体结构, 追踪圆珠直径为 8 mm、12 mm、16 mm 及 20 mm 等四种, 并将追踪圆珠分别置于 5 种不同深度(2.5 cm、4.0 cm、6.0 cm、7.8 cm 及 9.5 cm)等 20 种处理, 每种处理 5 个重复实验。

实验结果与 Knight 等实验结果比对相当一致, 也确定颗粒振荡分选效果可说明为什么土石流段波发生后, 先端部顶层颗粒较粗的现象。图 1 所示四种追迹珠在同一深度到露出表面所需之打击数大约相等, 得知每一打击使追迹珠上升之距离与粒径大小无关, 而与深度有关。深度愈深其每单位打击能上升之距离愈小, 深度与打击次数呈抛物线关系。此种现象与 Knight 等之实验吻合。

图 2 为 Knight 等的  $a = 7g$ , 三种追迹珠实验结果, 笔者试着以 2 次式回归所得回归曲线其回归式如下。

$$\delta = 0.000\ 378n^2 + 0.150\ 7n - 0.779\ 1 \quad (3)$$

式中:  $\delta$ ——追迹珠深度;  $n$ ——所需打击数。此式可用来探讨碰撞效应能量转换与消耗之推算。

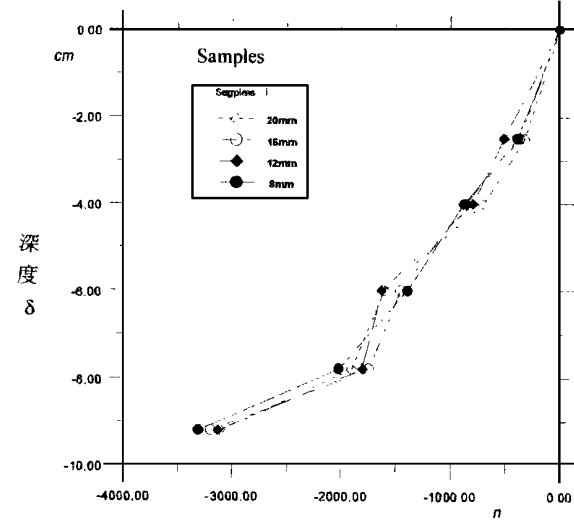


图 1 四种粒径振荡结果

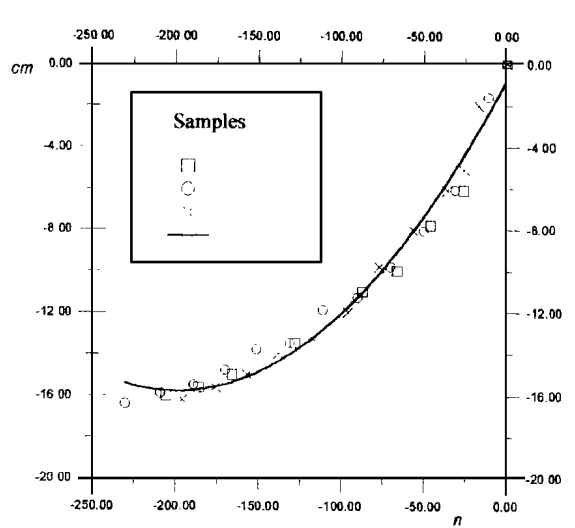


图 2 Knight et. al. 三种粒径振荡结果

曾森煌, 游繁结(1997)注意到土石流由斜面上流下时, 除了有垂直方向之碰撞分力外, 尚有水平或沿斜坡而下之剪应力作用。因而水平碰撞之影响不亚于垂直碰撞。为探讨水平振荡对颗粒上升速度之影响。 $a = 2.59$ , 追迹珠采 4 mm, (与堆积材同质, 颜色不同) 来从事实验。其中一种处理为不加水平振荡, 另一种加水平振荡强度  $ah = 0.5\ g$ , 同样采用 5 种深度, 5 重复之实验得到如下结论。

- (1) 垂直振荡的强度造成之碰撞效应与起动门槛强度( $\gamma$ )与有效振荡强度( $a-\gamma$ )的比值大小有关。
- (2) 水平振荡的加入有额外增强碰撞效应之现象, 对土石流内部碰撞效应有较合理的模拟。
- (3) 同一种处理重复实验时, 后实验颗粒上升速度有比前实验快的现象, 似乎与试体因长时间振荡温度上升的布朗效应有关。颗粒碰撞效应消耗能量, 其能量传递与置换的方式有待进一步探讨。

### 3 研究方法

本研究从事振荡引起颗粒碰撞摩擦生热进而产生之布朗效应, 所使用试验设备、材料与方法分述如后:

实验设备采激磁振荡器, 其振荡强度可达 10G 振荡位移在 0~2 mm 之间, 可测定可控制。振荡强度设定为 3.0 G。容器采用内径 10 cm 之无色透明亚克力圆管制成高度 30 cm 之堆积筒。颗粒材料采用粒径 3.9 mm 之百丽珠做为堆积材, 底层堆积高度( $H_d$ ) 分别为 4、8、12、18 cm 共 4 种高度, 于放置同粒径不同颜色之百丽珠做为追迹珠后, 上层堆积厚度( $H_u$ ) 为 2 cm, 试体初始温度  $t$  为 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 等 12 种温度一共 48 种处理。每一处理 5 重复试验。每一重复开始时先调整室温至实验要求温度, 再在容器内堆积百丽珠达  $H_d$  高度, 于最上面管中心放置追迹珠后再堆积上层  $H_u$  厚度。开始振荡同时按下码表测定时间至追迹珠浮出表面再按码表记录上升 2 cm 所需时间( $T$ )。实验结果 5 重复平均时间(秒数) 列如表 1, 并以 Grapher 软体绘图分析如图 3。

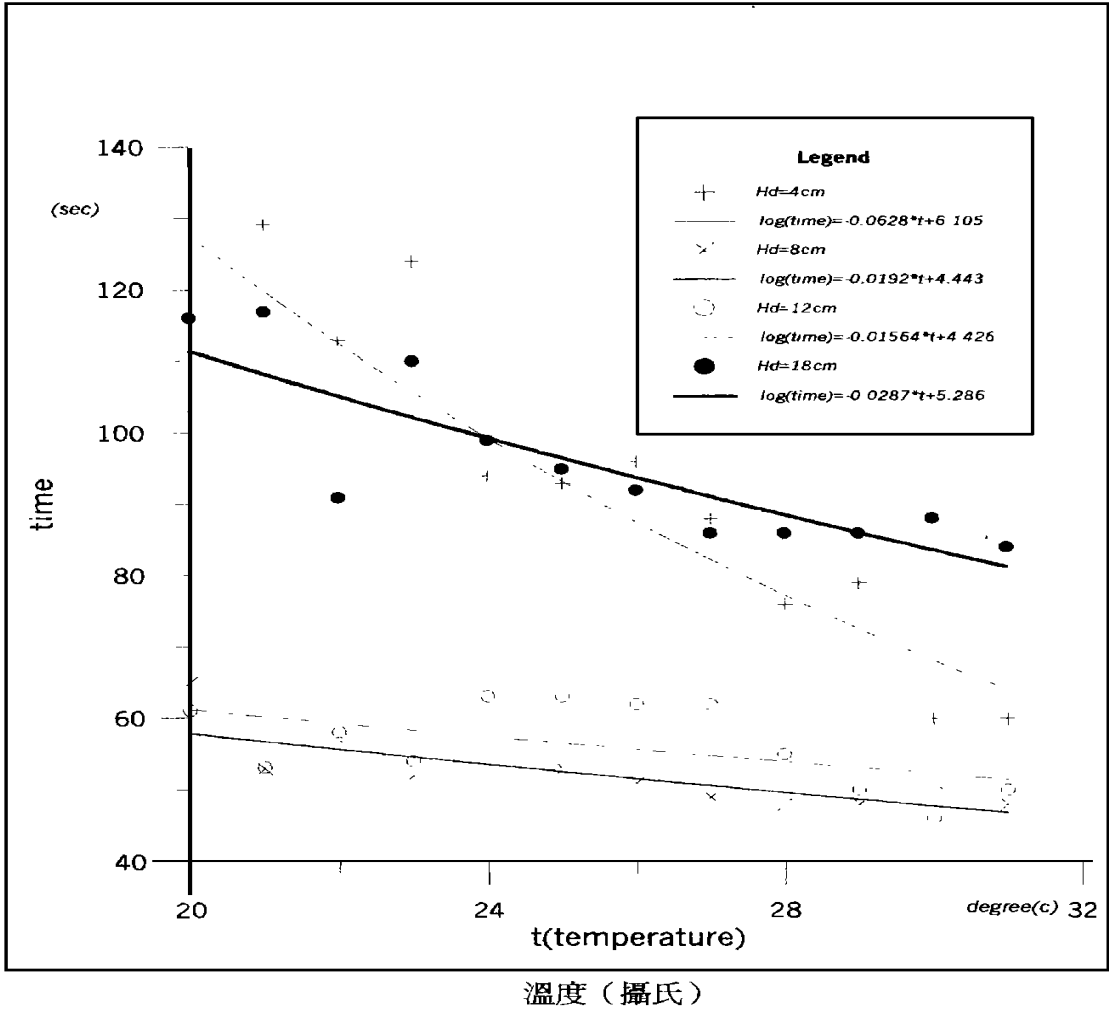


图 3 颗粒浮升速度与土体温度关系图

4 结果与讨论

由表 1 及图 3 了解在本实验中, 追迹珠上升 2 cm 所需时间(秒数)与起始振荡当下试体温度有相当关系。其关系情形列如后:

|   |                   |                                |               |
|---|-------------------|--------------------------------|---------------|
| 1 | $H_d=4\text{cm}$  | $\log T = -0.0628^* t + 6.105$ | $R^2 = 0.824$ |
| 2 | $H_d=8\text{cm}$  | $\log T = -0.0192^* t + 4.443$ | $R^2 = 0.642$ |
| 3 | $H_d=12\text{cm}$ | $\log T = -0.0156^* t + 4.426$ | $R^2 = 0.278$ |
| 4 | $H_d=18\text{cm}$ | $\log T = -0.0287^* t + 5.286$ | $R^2 = 0.734$ |

由上述 4 式均呈对数线性关系,  $H_d=4\text{ cm}$  和  $H_d=18\text{ cm}$  时, 其相关性似乎够大, 然而在  $H_d=8\text{ cm}$  及  $12\text{ cm}$  时  $H_d=12\text{ cm}$  则较低, 尤其的情况更显现不相关的模样来。经仔细了解实验过程中, 做  $H_d=12\text{ cm}$  的实验时曾经遇到检测震荡强度的量测器电压不足的警告。可能因电压不足致使量测之震荡数具有明显的误差。因此需进一步做实验并将  $H_d$  的间距缩小为 2 cm, 即为  $H_d=4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18$  等八种处理再做试验, 以求更明了颗粒堆积体中颗粒运动与温度之关系。

5 结 论

- 本研究的结论为:
- (1) 颗粒堆积体中温度会影响运动的速度, 颗粒运动速度与温度之关系依堆积底层厚度不同可由以下三式求得。
- |   |                   |                                |               |
|---|-------------------|--------------------------------|---------------|
| 1 | $H_d=4\text{cm}$  | $\log T = -0.0628^* t + 6.105$ | $R^2 = 0.824$ |
| 2 | $H_d=8\text{cm}$  | $\log T = -0.0192^* t + 4.443$ | $R^2 = 0.642$ |
| 3 | $H_d=18\text{cm}$ | $\log T = -0.0287^* t + 5.286$ | $R^2 = 0.734$ |
- (2) 中等底层厚度之颗粒运动速度与温度之关系, 应进一步将细部探讨。

参考文献

1 曾森煌、游繁结. 台湾土石流研究之回顾. 水土保持研究, 1995, (2), 3: 135 ~ 145

2 曾森煌、刘治平. 颗粒结构受振荡之分选探讨. 建国学报, 1997, (16)

3 曾森煌、游繁结. 土石流颗粒碰撞机制之探讨. 第一届土石流研讨会论文集, 1997

4 Bagnold, R. A. Experiments on a Gravity-Free Dispersion of Large Solid Sphere in a Newtonian Fluid Under Shear, Proc. Roy. Soc. London, Series A, 1954, 225, 49 ~ 63

5 Knight, J. B. et al. Vibration-Induced Sizes Separation in Granular Media: The Convection Connection, Physical Review Letters, The American Physical Society, 1993, 70, (24): 3728 ~ 2721

6 Yu, F. C. The Collision Effects of Debris Flow, "Journal of Chinese Soil and Water Conservation", 1995, 26, (1): 57 ~ 65

作者简介

曾森煌: 建国工商技术学院土木工程科讲师。