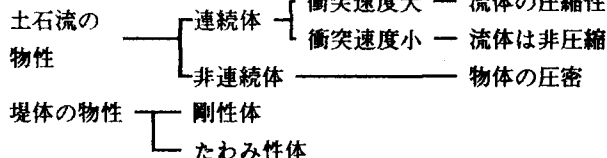


1. はしがき 土石流発生時に砂防ダムがブロック状破壊あるいは鋼製ダムの座屈がみられる。土石流の衝撃力が果して異常に大きいものかについても推測の域を出ないので、実験によって衝撃力予測の手掛りを得んとした。衝突現象は、衝突する物体と受ける物体の相互作用で、両者の物性、衝突面の形状、衝突速度に関係して種々の挙動を示すと予想でき

る。これは、右表のように考えられる。

本文では、これらのうち、土石流の流動深さより高い平面の剛性体に衝突する場合について考察した。



2. 土石流の弾性衝突とみなしたときの衝撃圧

2-1. 砂れき又は砂れきと粘土混合体の衝撃力測定実験 幅10cm, 深さ30cmの水路で土砂を重力流動させ、水路下端にとりつけた真鍮板に取付けた圧力計で圧力を測定した。板に衝突前後の砂れきの流動体の縦断形状の一例を示す。流れは衝突したあと、一部は壁の前面に堆積し、残りは壁に沿って上昇する。後続の流れは堆積した土砂の上をせん断流動して衝突し、さきの流れと同じことをくり返す。このときに測定された圧力の1例を図3に示す。図2は、圧力は3つの相に分けられ、Iの相は先端が衝突した直後の圧力で最大値を示し、IIの相は、ピークの後の圧力減少期で、III相はそのあとまた圧力が増加していることから、板前面に堆積が生じたあとの圧力と考えられる。

2-2. 土石流の弾性衝突による衝撃力

物体の受ける衝撃圧は、土石流が弾性衝突したときの圧力とする。

物質の流れが自由衝突するとき、一次元的取扱いが可能である。運動式は

$$p + \rho C_R v = 0 \quad (1)$$

ここに p : 衝撃圧, ρ : 流動体密度, v : 衝突速度, C_R : 圧縮伝播速度
で、一般にヤング係数 E , ポアッソン比 ν あるいは圧縮係数 E_c を用いて、 $C_R = \{E(1-\nu)/(1+\nu)(1+2\nu)\}^{1/2} = \{E_c/\rho\}^{1/2}$ と表わされている。

$p = m(dv/dt)$ と表わされるから、式(1)は $t=0$ で $v=v_0$ とすると、
衝撃力 F は

$$F = -\rho C_R A v_0 e^{-\frac{\rho C_R A}{m} t} \quad (2)$$

となり、最大衝撃力 F_{max} は、 $F_{max} = -\rho C_R A v_0$ 。 (3)

と表される。砂等のヤング係数等はまだ確定していないので、実験値より求めることにする。実験値の F_{max} を衝突速度 v_0 との関係を示すと、図3のようになるので、図上の直線の勾配より C_R さらに E_c の値を求めると表1のようになる。この値は、Wetzelが円柱を乾燥密砂上に自由落下させて衝突加速度から求めた $E_c = 752 \times 10^3$ g/cm² (乾燥密詰め砂), 618×10^3 g/cm² (乾燥粗詰め砂) と比較すると、かなり小さい。得られた C_R を用いて、最大衝撃圧以後の圧力の時間変化と比較すると、図4のようになり、式(2)が成立つことを示している。直線の傾きより、衝撃圧に関与した質量 M を求めると、最大衝撃圧を示す $\Delta t = 6.34 \times 10^{-5}$ secの間に断面を通過する質量とはほぼ同じで、運動量から求まる衝撃圧と等しいことを示す。

以上によって最大衝撃圧は、土石流を弾性体とみなした、式(2)で予測で

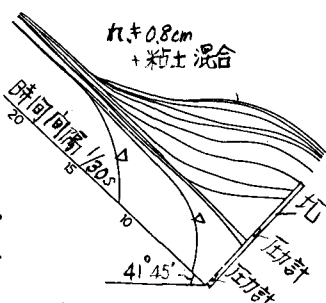


図1. 流動形の縦断形状

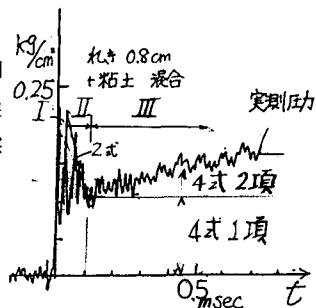


図2. 圧力の測定値

きることを示す。

3. 圧力計が堆積物中にある、堆積物の自重と堆積表面のせん断力を受ける時の圧力

図5のように現象をモデル化する。堆積高さ z の面に作用する圧力 Q_u は

Q_u = 三角形の土砂の重力 + a c 間に作用するせん断力

+ a c 間に作用する粘着力

で、これを式化すると

$$F_u = \frac{Q_u}{z} = \frac{\gamma_s}{2} \frac{z}{\tan \psi} \sin \theta + \frac{\{C + \gamma_s + \gamma_{sh}(w + \theta)\} \tan \theta}{2 \text{項}} \quad (4)$$

$$\text{変形して、} F_u = N_r \gamma_s z / \tan \psi + N_c + N_a p_o. \quad (5)$$

と支持力係数を用いて、

$$q_u = N_r \frac{\gamma_s B}{2} + N_c + N_a q_o. \quad (6)$$

と同形で表わすことにする。堰前面の堆積高さ z の時間変化は

$$\text{連続式} \quad q_s \Delta t = \Delta z \cdot \Delta / (1 - \lambda) \quad (7)$$

$$\text{運動式} \quad q_s = u_* \Phi h_o^{3/2}, \quad \Phi = \psi \cdot \frac{2}{5} (K \sin \theta)^{1/2} (1/d) \quad (8)$$

より、

$$z = \sqrt{2(1-\lambda) \frac{\tan \psi}{\sqrt{1+\tan^2 \psi}} \sqrt{g \sin \theta} \Phi h_o^{5/2} t} \quad (9)$$

となる。式(5)の支持力係数は、動的支持力係数でなければならない。

動的支持力係数は、落石実験の落下体の加速度と、そのときのめり込み深さ δ の関係から求める。すなわち、弾性体の衝突において、 δ を変位

$$\text{とし、} \delta \text{ は力 } P \text{ に比例するとすると } m \ddot{\delta} = -P = f(\delta) \quad (10)$$

$$\text{積分して、} \frac{m}{2} (\dot{\delta}^2 - u^2) + \int f(\delta) d\delta = 0 \quad (11)$$

$$\dot{\delta} = 0 \text{ のとき、} \delta = \delta_{\max}, \text{ より } \int_0^{\delta_{\max}} f(\delta) d\delta = \frac{m}{2} u_o^2 = WH \quad (12)$$

ここに W : 落下体の重量, H : 落下高さとなる。落下体断面は円形であるから、円形フーティングの支持力公式

$$q_u = N_a \gamma_s D r + 0.6 N_r (N_s B / 2) \quad (13)$$

$$\text{より } q_u = a \delta + b^2, \quad a = \gamma \frac{\pi D^2}{4} N_a \quad (14)$$

$$\text{とで、} \int_0^{\delta_{\max}} f(\delta) d\delta = \int_0^{\delta_{\max}} (a \delta + b) d\delta = WH \quad (15)$$

となる。 $N_a \approx N_r$ とすると

$$\delta_{\max} = -\left(\frac{1.3C}{\gamma_s} + 0.3B\right) + \frac{\alpha_{\max}(W/g)}{\frac{\gamma_s \pi B^2}{4} N_a} \quad (16)$$

と表わされる。吉田の実験を再整理すると、図6となる。図上の直線の勾配より N_a を求めると表2のようになる。この値を式(5)に代入し、式(9)とより、 F の時間的な変化を求めることができる。

1)Wetzel:Proc.ASCE SM5 1970. 2)建設省土研:数粒上の落石の衝撃力に関する報告書 1978. 3)吉田:落石実験報告(1) 昭59.

4)大同:立命館大学理工研紀要 82'

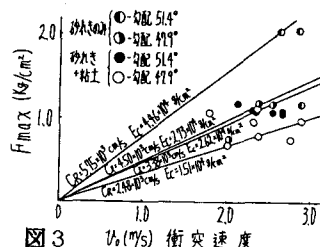


図3 V_x (m/s) 衝突速度

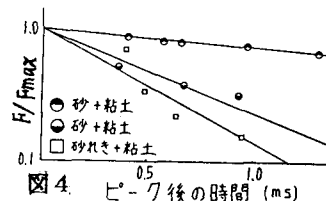


図4 ヒート後の時間 (ms)

表1 実験材料の
圧縮波速度と圧縮係数

	C_s (cm/sec)	E_c (g/cm²)
砂利のみ	5.75×10^3	4.46×10^4
砂利+粘土	4.50×10^3	2.73×10^4
砂のみ	1.73×10^3	0.40×10^4
砂+粘土	0.92×10^3	0.11×10^4

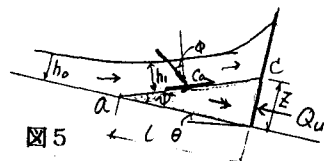


図5

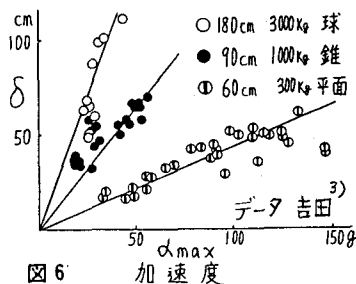


図6 加速度

表2 動的支持力係数値

落下体	重量 (kg)	N_a	砂の種類
球	1000	83.0	山砂
球	300	71.4	山砂
錐	1000	76.6	山砂
錐	300	70.7	山砂
平底	1000	205.3	山砂
球	3000	51.9	山砂
平底	300	153.3	山砂
球	1000	71.4	砂