

1. はしがき 土石流の先端が堤体に衝突したときの衝撃力を、土石流が均質な流体として挙動する場合および固体相と水とが別に挙動する場合に分けて、前者については考察の考え方とその結果について、後者については実験が必ずしも予測できないことから実験を行ない、今後の解析の資料とするため、2つの固体相モデルを採用して実験資料を整理した結果について報告する。

2. 土石流が均質な流体として挙動する場合

堤体衝突時に、流体相の水と固体相の土砂が同時に運動し、みかけ上均質な流れとして取扱うことができる場合の衝撃力については、宮本らによって考察された。これはつぎのとおりである。

2-1 流動深 h より堤体の高さ H が低いとき

流れの中におかれた物体の受ける力を求めることであり、物体が水面に衝突すると考えて解析する。従来の水面衝撃で用いる手法すなわち、物体の仮想質量を、平板のそれでおき変えるという解析法は、水面と堤体の接触角度が小さいときは、衝撃力が解析上無限大になるという不都合があることから、衝突時に流体の圧縮性を考慮するとポテンシャル方程式は波動式となり、衝突直後の衝撃圧力は、 $P = -\rho(\partial\phi/\partial t)$ より、単位面積あたり、

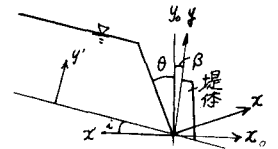


図1 図号

$F = \cot(\theta + \beta) \rho C v^2 t$, C : 流体中の音速, v : 衝突速度, t : 時間を、また、運動量変化と与えるときの質量としては、波動方程式の伝ばする範囲の質量を仮想質量に用いるべきであるとして、単位幅当りの衝撃力 F を、

$$F = \pi \rho \cot^2(\theta + \beta) v^2 b^2 / \varepsilon^2(K),$$

ここに ε は K の関数で、 K は流体と衝突物体の性質を表わす定数を求め、上式の方が大きいことから、衝突直後は(1)式、それにづく力は(2)式で与えられることを示し水平な水面に物体を衝突させて、この考え方が正しいことを述べた。

2-2 流体深 h より堤体の高さ H が高いとき

この場合も、流体の圧縮は生じると予想されるが、拘束が少なく、流線は全面的に方向を変えるため、全体の流れの運動量変化を求めればよい。

3. 土石流が均質な流体として挙動しない場合

さきの解析は、流れが均質、例えば泥状の土石流に対して適用されるが、土石流の組成が比較的粗い固体相と流体とから形成されている場合、堤体に衝突するような急激な流れの変化が生じるころでは、固体相と流体相が必ずしも一体となって挙動せず、みかけ上の密度変化も生ずるものと思われる。この場合でも、現象を説明するための数学モデルとしては、上記の考え方で応用できる。しかし、現実の土石流とくにその連続体としての扱い方にモデル化が許されるかどうかについては検討を必要とする。そこで、傾斜水路に、砂れきのみ、あるいは砂、粘土および水の混合物を流下させ、金属板に衝突させて、金属板前面にとりつけた圧力計で、衝撃力を測定した。

3-1 実験の方法 幅0.1 m、深さ0.2 m、長さ2.0 mの水路の下流端に、圧力計を取付けた金属板をおき圧力計から0.9 mの位置に仕切板をおき、仕切板の背後に砂れきのみ、または砂、粘土および水の混合物を

置き、仕切板をとして自由流下させ、金属板に衝突させた。実験勾配は $34^{\circ}40' \sim 50^{\circ}50'$ の範囲である。砂の粒径は中央径 d が0.5, 0.8 および1.8 cmのほぼ均一粒径のものと砂のみ0.8 cmと粘土との混合物を用いた。圧力計の直径は1.5 cmで、4 cm離して2個設置し、下段のものは底面より粒径の1.33倍より1.67倍のところに設置した。圧力計の容量は 10 kg/cm^2 でトランジェントメモリーに記録した。圧力計の精度は静的な方法で検査した。図2に砂のみの流れが金属板に衝突する前後の流動形を、図3に圧力計の記録値の1例を示す。砂れきの流れの速度および流動厚とはビデオで、容積濃度は砂れきの重量計測より求めた。

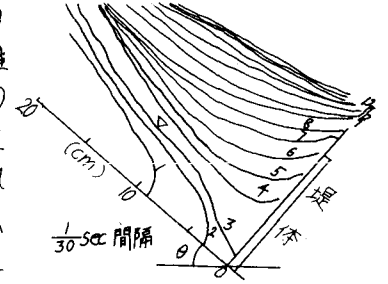


図2 衝突前後の流動形状

3-2 単位時間あたりの運動量と衝撃値の比較、測定した衝撃値と、運動量の変化とを比較すると、衝撃圧を示している $\Delta t = 0.43 \times 10^{-3} \text{ sec}$ 間の運動量に対しては測定衝撃力が大きい。参考までに1 sec当りの運動量の変化よりはもちろん小さい。仮に1個の砂れきが衝突したとして比較すると、粒径の数倍から時には20倍程度の厚みの物体が衝突した力に等しい。

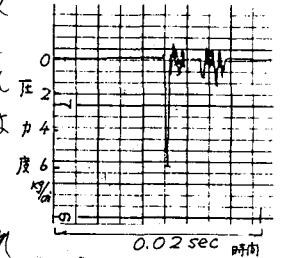


図3 圧力測定値の1例

3-3 固体と塑性体の衝突としての解析

土石流の組成が石に近いとき、堤体の前面で土石流の圧密が生じると考えられる。このような状況に対して、2つの固体が衝突するときの力の考え方を適用する。2つの物体 m_1, m_2 が速度 v_1, v_2 で衝突して変形するとき、変形量 δ は、

$$\delta = v_1 + v_2, \quad \ddot{\delta} = (dv_1/dt) + (dv_2/dt) = -P \{ (m_2 + m_1) / m_1 m_2 \} \quad (15), (16)$$

$$\text{となり、そのときの圧力 } P \text{ は } P = R \delta^{3/2}, \quad R = \frac{A}{3\pi} \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} \cdot \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (17)$$

が成り立つとされている。圧縮力の最大値 $P_{\max}$ は $\delta_{\max}$ のとき生じ、

$$P_{\max} = R \delta_{\max}^{3/2}, \quad \delta_{\max} = \{ (5/4 R) (m_1 m_2) / (m_1 + m_2) v_0^2 \}^{2/5} \quad (18)$$

と表されている。これをいまの実験の場合に適用する。

静止している土砂に堤体が速度 U_0 で衝突するとして、 $m_1 = \infty, m_2 = m$ とすると

$$\ddot{\delta} = -P(1/m), \quad m \ddot{\delta} + P = 0 \quad (19)$$

$$P = f(\delta) \text{ として、(19) 式に } \dot{\delta} \text{ をかけて整理すると、} (m/2) (\dot{\delta}^2 - U_0^2) + \int_0^{\delta} f(\delta) d\delta = 0 \quad (20)$$

$$\dot{\delta} = 0 \text{ のとき } \delta = \delta_{\max} \text{ より、} \int_0^{\delta_{\max}} f(\delta) d\delta = (m/2) U_0^2 \quad (21)$$

$$\text{となる。砂れき層の場合 } P = R \delta^n \quad (22)$$

$$\text{と表せることから } \delta_{\max} = R^{-1/n} \{ (n+1)(m/2) U_0^2 \}^{1/(n+1)} \quad (23)$$

$$\text{したがって } P_{\max} = R^{1/n} \{ (n+1)(m/2) \}^{n/(n+1)} \cdot U_0^{2n/(n+1)} \quad (24)$$

$$\text{これが } P_{\max} \delta_{\max} = (n+1)(m/2) U_0^2 \quad (25)$$

と表される。その結果、 $P_{\max} \cdot \delta_{\max} = \text{一定の初期エネルギー}$ 、の関係を示している。

このような機構のもとでは、堤体の前面では、くさび型の部分において圧密が進行するものと考え、この圧密に伴う圧縮力が、衝撃力となって表れ出るものと考えてよい。ちなみに、杭の動的支持力公式は、極限支持力を R_d 、最大貫入量 S 、落下物重量 W 、重錘の自由落下高 h としたとき、

$$R_d \cdot S = e W \cdot h \quad (26) \text{ と、(24) 式と同型である。} P_{\max} \text{ を(24) 式で表わす}$$

ことにして、 $P_{\max} \propto \frac{m}{2} U_0^2$ との関係を調べると、空隙率73%の砂のみの流動に対して δ は14.3~4.9程度の値を示した。

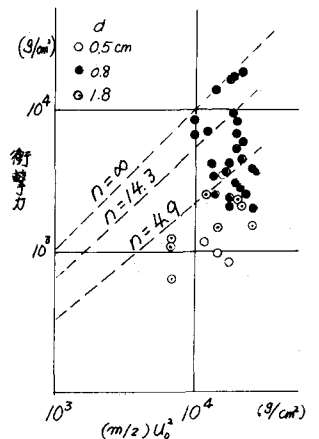


図4 測定値と(24)式の比較

1) 宮本大岡: 堤体に作用する土石流段波の衝撃力に関する研究(1), 立命館大学理工研究紀要 1984.