

1. はしがき

先に著者は、砂防ダムに作用する土石流の衝撃力の算定にあたって、土石流が弾性衝突したときの反力が砂防ダムの受ける力であると考えて、その力を表した¹⁾。その力は、物質中を伝わる圧縮波の伝播速度 C_R と衝突速度および衝突条件に関係する。 C_R には衝突流体のヤング係数 E 、ポアソン比 ν が関係する。しかしながら、土石流のような固液混合体ではこれらの値がいくらであるかは不明である。本文は既報に引き続き行った実験の結果を付け加えるとともに、固液混合体を対象に C_R を測定した結果について述べる。

2. 土石流の弾性衝突による衝撃力

2-1. 衝撃力の理論

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。

物質の流れが物体に自由衝突するとき、一次元的取扱いが可能である。

運動式は、

$$p + \rho C_R v = 0$$

1)

となる。ここに、 p は衝撃圧、 ρ は流動体密度、 v は衝突速度である。

また、 C_R は圧縮伝播速度で、一般にヤング係数 E 、ポアソン比 ν ある

いは圧縮係数 E_c を用いて、

$$C_R = \{E(1-\nu)/\rho(1+\nu) \cdot (1+2\nu)\}^{1/2} = \{E_c/\rho\}^{1/2} \quad 2)$$

と表されている。

衝撃圧は、 $p = m (dv/dt)$ と表されるから、式(1)は

$t=0$ で $v=v_0$ とすると、衝撃力 F は、

$$F = -\rho C_R A v_0 e^{-\rho C_R A t / m} \quad 3)$$

となり、最大衝撃力 F_{max} は、

$$F_{max} = -\rho C_R A v_0 \quad 4)$$

で判断される。 F_{max} と v_0 の関係は 図-2 のように直線を示し、式(3)が成り立つことを示している。このデータで I、II、III は衝突形状を表し、I は先端部が垂直状態、II は若干勾配をもち、III は先端部が崩れた

状態であった。これらは、それぞれ、衝突したときの流体密度の差を表しているといえる。衝撃力の減衰部の勾配は、図-3 のように $\rho C_R A / m$ が、一定とみなしてよいことを示す。衝撃力の減衰部の勾配から $\rho C_R A / m$ の値を得、 A はセンサーの面積を用いて、衝撃に関与した質量 m を求めた。一方、この考え方に従うと、堤体に作用する衝撃力に寄与する質量は、衝突時の物質内に生じる速度 C_R が力

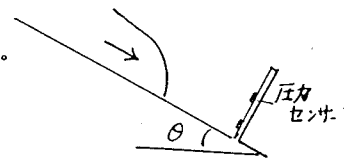


図1. 衝突の状態

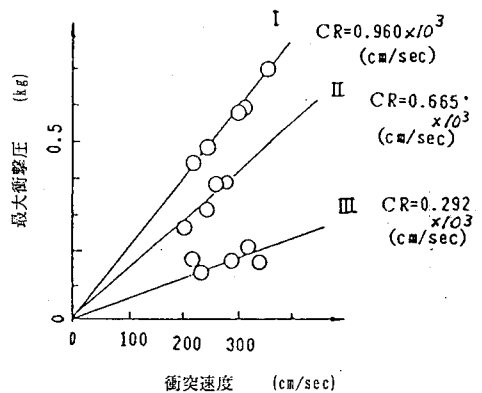


図2. 衝撃圧と流速の関係

の作用した時間内に伝播する部分、

$$m = \rho C_R A \Delta t$$

5)

であると考えて、 m_2 を求めた。砂れきのみのケースでは、 σ' を見かけの密度として $\sigma' = \sigma/2$ ($\sigma' = 1.38$)、としたときに $m_2 \approx m_1$ となった。このとき、 m は粒子の体積の割合に相当した。

2-2 固液混合体の圧縮波伝播速度 C_R の測定

式(4)で、衝撃力を予測するとき、 C_R の値が必要である。先の実験では、流動する固液混合体の範囲が固定し、異なった混合状態の物質の C_R を求めることが困難なので、試料の一端に超音波のパルスによって歪を与え、これを他端で受け、2点間の歪の伝播時間より、物質中の圧縮波の伝播速度を求めることにした。この方法は、金属などの品質判定に用いられ、パルス伝播速度は式(2)と結びつくことが明らかにされている。本研究でも、ヤング係数 E 、ポアソン比 ν が既知のジュラルミンを用いて測定した C_R と式(2)で求めた C_R はほぼ一致している。

測定に使用した装置の試料の大きさは、 $10\text{cm} \times 30\text{cm} \times 30\text{cm}$ で、 10cm の部分で速度を測定した。用いた試料は2、3の粒径の砂を対象に、飽和度および空隙率を変えるため、発泡スチロールの粒子を混合して、空隙率を変えたものについて測定した。測定した結果を図-4に示す。

一般に、空気中の伝播速度は 331m/sec 、水では 1480m/sec 、また、石柱について本装置で測定した値は 5420m/sec と示された。これに対し、図-4の値はかなり小さい。これは、式(2)は弾性体を対象として表した式であるため、固液混合体のように、完全弾性体でないものについては、見掛けの C_R になること、また与える波長に比して大きな障害物、たとえば空隙などがあると、反射、散乱を起こす、あるいは減衰する等の問題がある。しかしながら、この測定の結果によると、従来より水路実験で得られた C_R の値は、粒子が個々に衝突しているケースもあり、一般には、本測定で行っている場合よりも、れきの密度が小さいのでこの測定値はほぼ妥当とみなしてよい。この測定値から推定すると、粒子間でのパルスの伝播は、水中や空気中を伝わることはなく、れき表面の摩擦力によって伝播していると推定される。このことから、測定値は妥当であると考えてよい。

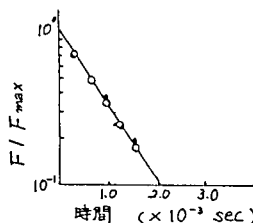
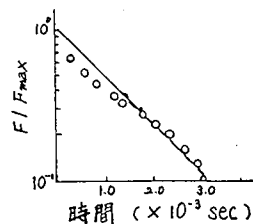


図3 減衰期間の力の変化

3. おわりに

砂防ダムに作用する衝撃圧 p を、 $p = \rho C_R v$ と表し、 C_R の値が物質の密度に関係することから、 C_R の値を、超音波装置を用いて測定した。さらに測定例を積み上げ、その機構をも明らかにする必要があるが、一応の目処は得られた。

参考文献 1) 大同：砂防ダムに作用する土石流の衝撃力、昭和60年度砂防学会研究発表会概要集、1985。

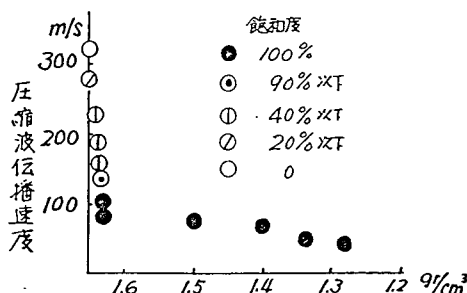


図4. 圧縮波伝播速度