

113 圧電素子を用いた衝撃力測定法について

防衛大学校 ○鈴木 真次
 同上 石川 信隆
 八千代エンジニアリング 松永 繁
 ダイキン工業 鳥場 利郎
 山口大学 古川 浩平

1 緒言

土石流の衝撃力の測定は、一般的に極めて困難で、従来、最大衝撃力のみが計測できるコーンと呼ばれるものを用いた研究¹⁾があるにすぎない。しかし、砂防ダムの耐衝撃設計を行うにあたり、その最大衝撃力がどの程度のものであるか、またどのような時間的変化となっているかについては未だ究明されていない。実際には衝突側（土石流）に計測器を取り付けることは不可能なため、被衝突側（砂防ダム）に取り付ける必要がある。そのため、衝撃力の時間的変化を測定するためには、砂防ダムにロードセル（点で測定）を設置することが考えられるが、広範囲に設置する必要があり、費用面の負担が大きい。

本研究は、土石流の衝撃力測定を目的として、シート状に加工した圧電材（圧電性を持たせたフッ素系高分子圧電材料を電極としてのアルミ板ではさんだもの；以下圧電素子と呼ぶ）を利用した衝撃力測定法について実験的に検討し、実際の計測システムを提案したものである。

2 実験の概要

2.1 実験装置および測定項目

本実験は、図-1に示すように重錘の下部にロードセルを取り付け、ガイドレールに沿って落下させ鋼材またはコンクリート上に取り付けした圧電素子（10cm×10cm）に衝突させた。その際、図-2に示すようにロードセルによる荷重、加速度計による加速度、圧電素子の発生電圧を10μsec間隔で測定した。

2.2 実験ケース

表-1に示すような3種類の衝突実験を行い、異なった荷重条件でどのような測定値が得られるかを検討した。

3 実験結果および考察

3.1 測定した圧電素子の電圧の補正

圧電素子の応力は、次のように発生電荷に比例する²⁾。

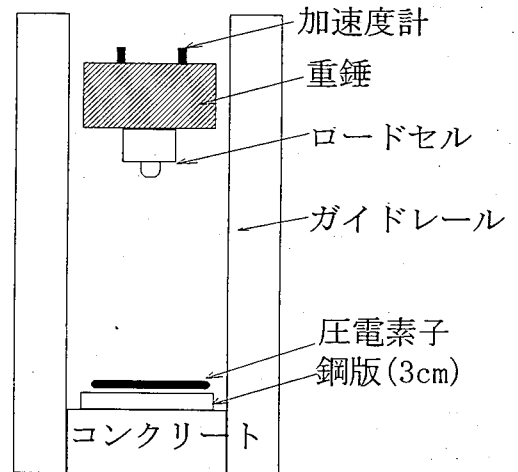


図-1 落錘式実験

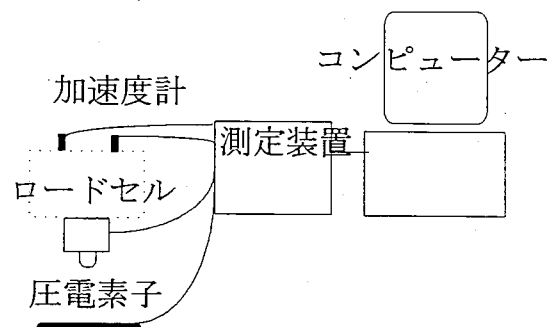


図-2 計測システム

表-1 実験ケース

	Aタイプ	Bタイプ	Cタイプ
重錘	50kgf	100kgf	50kgf
鋼材	有り	有り	なし（コンクリートに衝突）
衝突速度	1. 0m/sec	0. 8m/sec	1. 0m/sec
	1. 5m/sec	1. 0m/sec	1. 5m/sec
	2. 0m/sec	1. 5m/sec	2. 0m/sec
	2. 5m/sec		3. 0m/sec
実験回数	4×各2回	3×各2回	4×各2回

$$\sigma = D q' \quad \dots \dots (1)$$

ただし、 σ ; 応力 (kgf/cm²)、 D ; 圧電素子の材料定数 (kgf/C)、 q' ; 単位面積あたりの発生電荷 (C/cm²)
これを面積で積分すると、衝撃力 P は次のように算出される。

$$P = D q \quad \dots \dots (2)$$

ただし、 P ; 衝撃力 (kgf)、 q ; 全発生電荷 (C)

一方、ピエゼルは特定の誘電率を持つため電極との間にコンデンサーと等価となり、電流が流れることによる電圧降下が起こらない理想状態では、次のような関係が得られる。

$$V_R = q / C \quad \dots \dots (3)$$

ただし、 V_R ; 理想状態での圧電素子の電圧 (V)、 C ; 電気容量 (F)

よって、圧電素子の衝撃力 P は次のように求められる。

$$P = D C V_R \quad \dots \dots (4)$$

ここで、実際の計測においては測定装置に電流が流れるため電圧が降下する。ここで、発生電荷がない状態で電圧降下したときの電圧は、次のように表される。

$$V = V_0 e^{-\frac{1}{RC}t} \quad \dots \dots (5)$$

ただし、 V ; 時刻 t における電圧 (V)、 V_0 ; $t = 0$ の電圧 (V)、 R ; 計測器の抵抗 (Ω)

本実験で測定した電圧は、測定装置への電流による電圧降下を含んでいるので、測定時間間隔 Δt の外力の変化を一定と考え、電圧降下の生じない理想状態の電圧変化 (ΔV_R) を図-3のように仮定すると、電圧降下時の電圧変化 ΔV は次式ようになる。

$$\Delta V = \int_0^{\Delta t} \left(\frac{\Delta V_R}{\Delta V} \right) e^{-\frac{1}{RC}(\Delta t - t)} dt \quad \dots \dots (6)$$

これを解いて ΔV_R を求めると

$$\Delta V_R = \frac{\Delta V \cdot \Delta t}{RC \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{RC}} \right)} \quad \dots \dots (7)$$

つまり、電圧降下を排除した補正電圧

V_R は次式により求められる。

$$V_R = \sum \Delta V_R \quad \dots \dots (8)$$

よって、式(8)を式(4)に代入すると任意の時刻 t における衝撃力 P が求まることになる。なお、 C と D は一定で本実験で

用いた圧電素子は、 $C = 1.9 \times 10^{-9} F$ 、 $D = 3.1 \times 10^9 \text{ kgf/C}$ である。

3. 2 荷重～時間関係

図-4, 5, 6 は、一例としてAタイプの衝突速度1.0m/secとBタイプの衝突速度1.5m/secとCタイプの衝突速度2.0m/secの場合の圧電素子、ロードセル、加速度計からの荷重～時間変化を示したものである。各

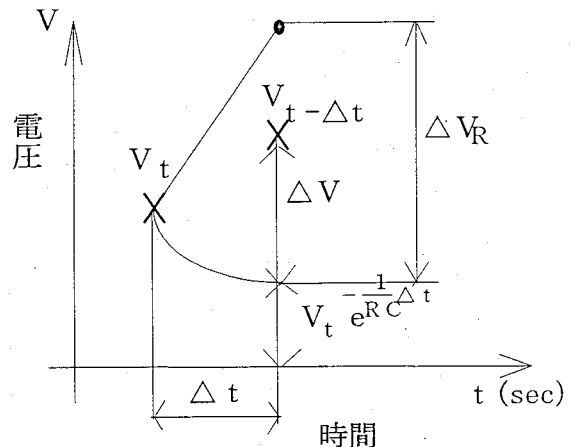


図-3 Δt 間の電圧変化

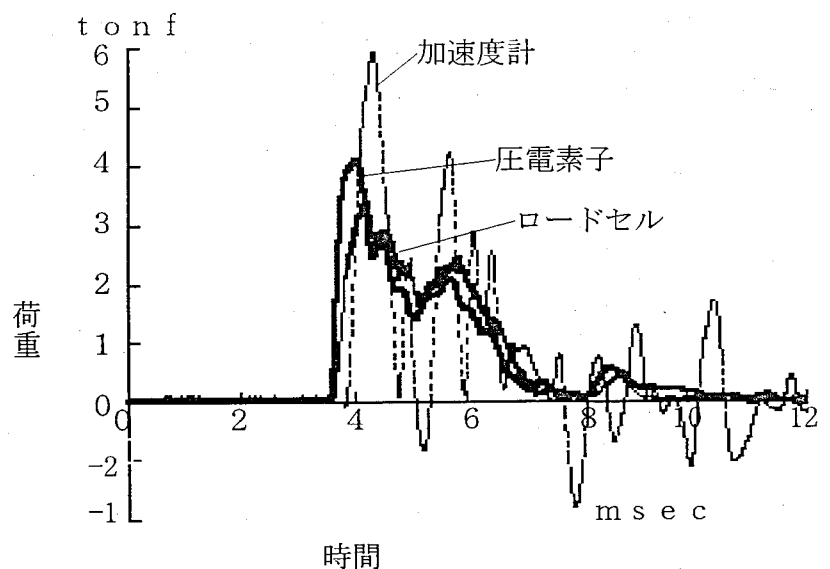


図-4 Aタイプ衝突速度1.0m/secの荷重～時間関係

図より、圧電素子による荷重は良く時間変化を捉えていることがわかる。他のタイプにおいても同様の傾向を示し、圧電素子が衝撃力測定に有効であることを確認した。一方、加速度計からの荷重は重錘内部の内部振動等の影響で大きな高周波成分がのっているが、圧電素子による荷重およびロードセルの荷重には見られなかった。しかし、衝撃力測定には十分差し支えないものと思われる。

3. 3 本実験で用いた圧電素子の能力

本実験では、表-1で述べた実験ケースよりも速いスピードで衝突した実験も実施したが、圧電素子（電極としてのアルミ板部分）が破損し短絡したため実験ケースからは排除した。しかし、表-1に示したケースではすべて測定が可能であった。その限度は最大荷重で約14 tonf前後であり、確実に圧電素子の電圧が測定できた10 tonfを上限としても衝撃載荷面積で割ると約3.2

tonf/cm²（圧電素子の換算応力）の計測能力があることを確認できた。また、図-5に各実験のロードセルと圧電素子の示す最大荷重の相関関係を示したが、衝撃においてはばらつきやすいことを考慮しても、相関係数0.87となり、圧電素子による衝撃力の計測は、本実験範囲内では十分有効であることを確認できた。

また、本研究で用いた圧電素子の電極はアルミ板であるが、この圧電素子の性質上真鍮等の材質でも可能なため、計測能力を上げることができる。また、その電極は基本的に湾曲していても電気容量さえ計測すれば使用可能なため、曲面（鋼管等）に対

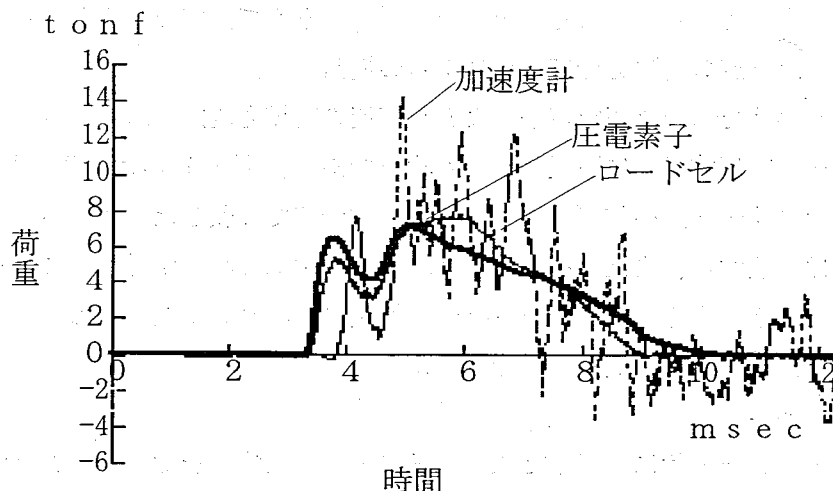


図-5 Bタイプ衝突速度1.5m/secの荷重～時間関係

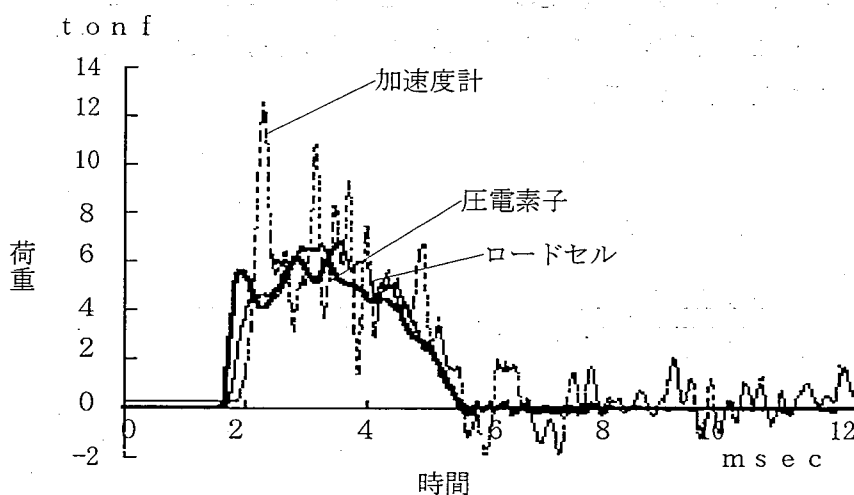


図-6 Cタイプ衝突速度2.0m/secの荷重～時間関係

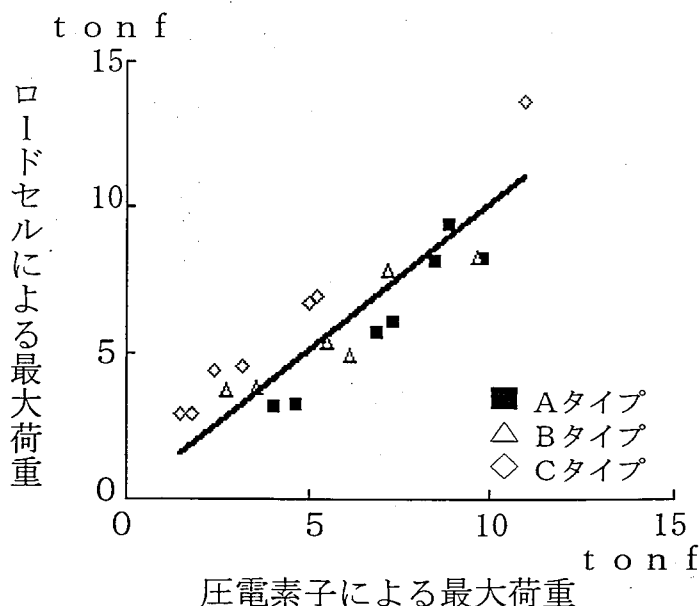


図-7 各ケースにおけるロードセルおよび圧電素子の最大荷重

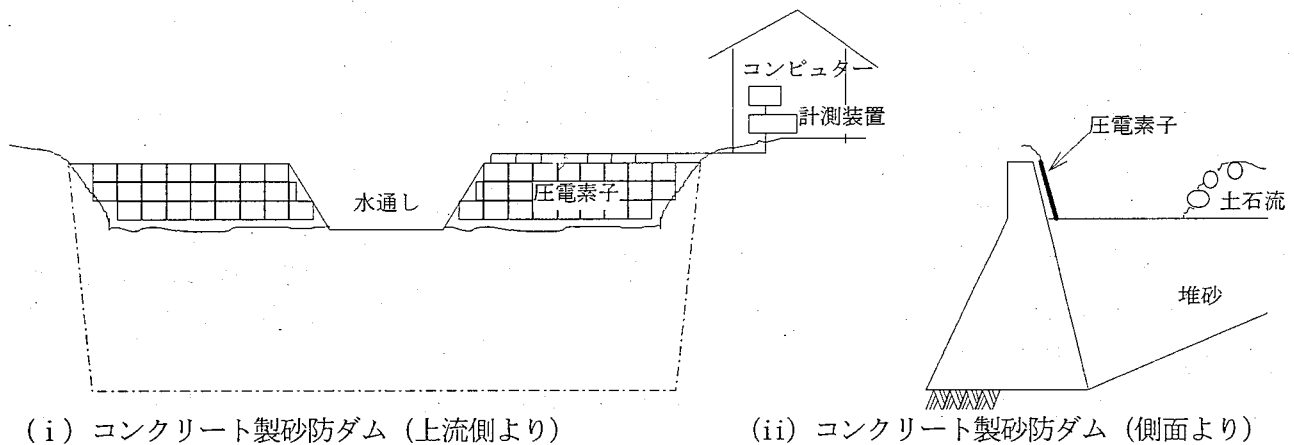
しても設置が可能となる。その上、衝撃力を面で測定できるとともに、ロードセルと比べ安価になる。

4 土石流の衝撃力測定システムの提案

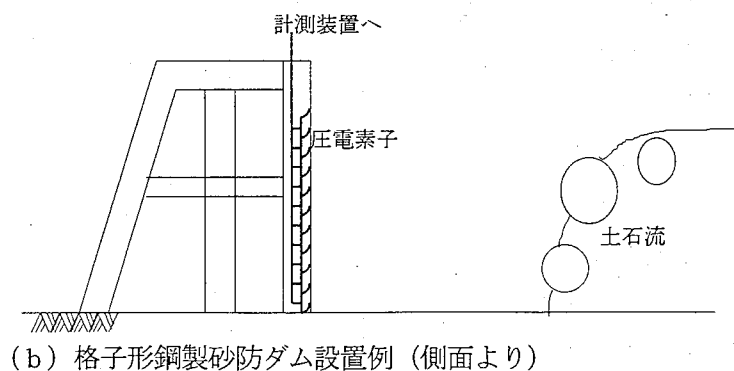
本実験で用いた圧電素子による土石流の衝撃力測定システム（案）を図－6 に示す。図－6 (a) はコンクリート製砂防ダムに設置した際の状況であり、図－6 (b) は格子形鋼製砂防ダムに設置した状況を想定した。コンクリート製砂防ダムにおいては、本研究で実験したような平らな袖部のコンクリート面に鋼版等へ取り付け設置する、またはそのまま砂防ダムの袖部に設置することにより、衝撃力やその分布が明らかになる。また、格子形やB型スリット等の鋼管製の砂防ダムに関しては、電極を鋼管に合わせて湾曲させることにより、直接張り付け測定が可能と考える。

5 結論

- (1) シート状に加工した圧電素子により、衝撃力を測定することが可能であることを確認できた。
- (2) 圧電素子に対し、本研究において用いた電圧降下の補正方法が適正であることが確認できた。
- (3) 土石流の衝撃力測定システムを提案することができた。
- (4) この圧電素子による測定法は、衝撃力を面で測定できるため、土石流のような衝撃力測定に有用であると思われる。



(a) コンクリート製砂防ダム設置例



図－6 土石流の衝撃力測定法の提案

参考文献 1) 水山高久：砂防ダムに対する土石流衝撃力算定とその問題点，新砂防，Vol.112，pp. 40-43，昭和54年6月

2) 田中哲朗、岡崎清、一ノ瀬昇：圧電セラミック材料、学献社、1973年12月10日