

I-B 128 圧電素子を用いた衝撃力測定法について

防衛大学校土木工学科 正会員 鈴木真次
 防衛大学校土木工学科 フェロー 石川信隆
 八千代エンジニアリング水工部 松永 繁
 ダイキン工業化学事業部 鳥場利郎
 山口大学工学部 正会員 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、実際に土石流が構造物に衝突した際の衝撃力は、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。土石流の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、図-1に示すシート状に加工した圧電材（圧電性を持たせた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-2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上の圧電素子に衝突させた。その際、図-3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⁾。

$$\sigma = Gq' \quad \dots \dots (1)$$

ただし、 σ ；応力(kgf/cm²)、 G ；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。

$$P = Gq \quad \dots \dots (2)$$

ただし、 P ；衝撃力(kgf)、 q ；全発生電荷(C)

一方、圧電材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、電流が流れない理想状態では、全発生電荷と圧電素子の電圧は比例し圧電素子の衝撃力 P は次のように求められる。

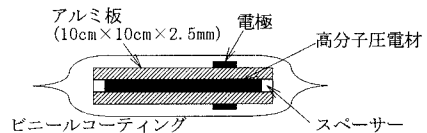


図-1 本研究に用いた圧電素子の構造

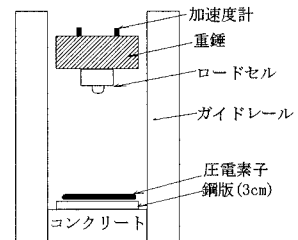


図-2 落錘式実験

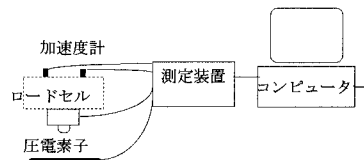


図-3 計測システム

表-1 実験ケース

	Aタイプ	Bタイプ	Cタイプ
重錘	52.9kgf	105.2kgf	52.9kgf
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	0. 8m/sec
	1. 5m/sec	1. 0m/sec	1. 0m/sec
	2. 0m/sec	1. 5m/sec	1. 5m/sec
	2. 5m/sec		2. 0m/sec
実験回数	4×各2回	3×各2回	4×各2回

$$P = G \cdot C \cdot V_R \quad \dots \dots (3)$$

ただし、 C ：圧電素子の電気容量(F)、 V_R ：圧電素子の電圧(V)。

ここで、実際の計測においては計測器に電流が流れてしまい、電圧が降下する。すなわち、測定した電圧は、計測器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状態の電圧変化(ΔV_R)を図-4のように仮定すると、電圧降下時の電圧変化 ΔV は次式のようになる。

$$\Delta V = \int_0^{\Delta t} \left(\frac{\Delta V_R}{\Delta V} \right) e^{-\frac{1}{RC}(\Delta t - t)} dt \quad \dots \dots (4)$$

ただし、 V ：時刻 t における電圧(V)、 R ：計測器の抵抗(Ω)。

これを解いて ΔV_R を求めると以下の式になる。

$$\Delta V_R = \frac{\Delta V \cdot \Delta t}{RC \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{RC}} \right)} \quad \dots \dots (5)$$

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。

$$V_R = \sum \Delta V_R \quad \dots \dots (6)$$

よって、式(6)を式(3)に代入すると衝撃力 P が求まることになる。なお、 C と G は一定で本実験で用いた圧電素子は、 $C = 7.4 \times 10^{-10}$ F、 $G = 3.1 \times 10^{-6}$ kgf/Cである。

3. 2 荷重～時間関係：図-5は、一例としてAタイプの衝突速度1.0m/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。図-5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応力波等に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。また、衝突体の力積は、5.4kgf・secであるが、圧電素子の荷重から力積を算出すると5.2kgf・secとなり、このことからよい精度をもっていることが判断できる。

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、圧電素子が破損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9tonf前後であり、確実に圧電素子の電圧が測定できた7tonfを上限としても約2.2tonf/cm²(圧電素子への接触面積での換算応力)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0.88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。

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

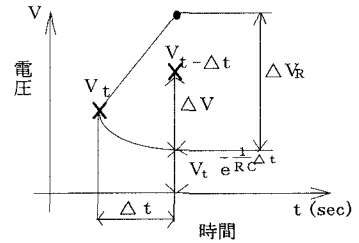


図-4 Δt 間の電圧変化

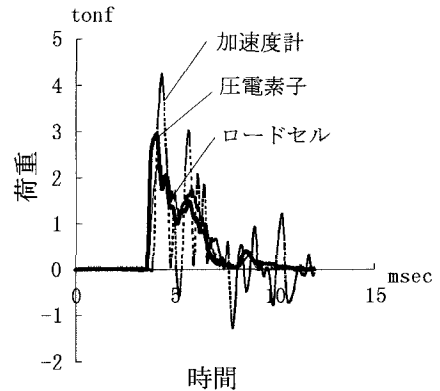


図-5 荷重～時間関係

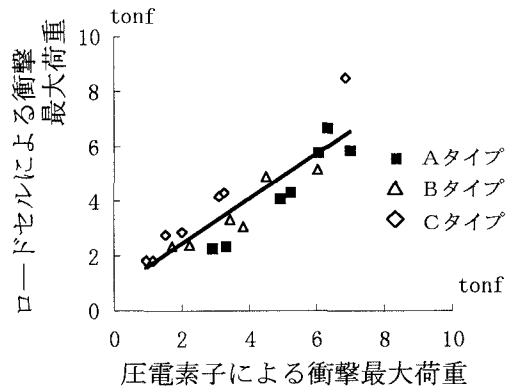


図-6 各ケースにおけるロードセルおよび圧電素子の最大荷重