

三井建設株式会社 技術研究所 正員 梅園 輝彦

同上

正員 酒入 修

法政大学工学研究科

○学生員 柴田 正樹

1. はじめに

最近になって建設用ロボットという名で作業の安全化・効率化を主目的とし、いくつかのロボットが開発されたが、さらに高度なロボットを志向するには、外界の情報を的確に検知する検出器について研究する必要がある。

本研究では、代表的土木材料であるコンクリートと6種類の岩石を検出対象とし、ロードセルによって打撃することにより得られる出力波形を用い、これら検出対象を識別する方法を考察することを目的とする。図1に対象物を同一の力により圧電効果型ロードセルで打撃した際に得られる出力波形を示す。この図により対象物の材質による硬さが、ピーク電圧とピークに達するまでの時間の2つの特徴量に分解できることがわかる。この2つの特徴量と材質の関係を把握することにより、小型・軽量・高能力の圧電効果型ロードセルをロボットにおいて対象物の材質を識別する検出器として用いることができると考える。以下に、研究概要について述べる。

2. 実験の概要

使用したロードセルは圧縮力測定範囲が5000(lb)であり、鋼製の棒の先端にこのロードセルを取り付け、自由落下により対象物を打撃し識別のための資料を得た。

対象物の材質を識別する際に対象物の形状の変化により、得られる特徴量が変化することは好ましくない。そこでまず、厚さ20(cm)・直径10(cm)の円柱形のモルタル試料を基準とし、同材質により製作した形状・厚さの異なる試料に対し連続10回の計測を行ない、得られた資料と基準資料との有意差を検定した。形状による検定に用いた試料は円柱形・半円柱形・六角柱形・長方形の4種で厚さは全て20(cm)とした。厚さによる検定に用いた試料は直径10(cm)の円柱形で、厚さは3(cm)から30(cm)までの11種とした。又、明らかに硬度が異なる試料の上に基準試料を乗せ、上記と同様な方法で層の効果による有意差についても検定した。下層の試料には安山岩(小松石)・砂岩(白川石)・凝灰岩(大谷石)の3種を用いた。

実用に際しては、打撃時のエネルギーの変動による特徴量への影響も考慮する必要がある。そこでそれぞれモルタル、上記の安山岩・砂岩に対しロードセルの落下高さを変化させ、そのときの資料の変化を調べた。

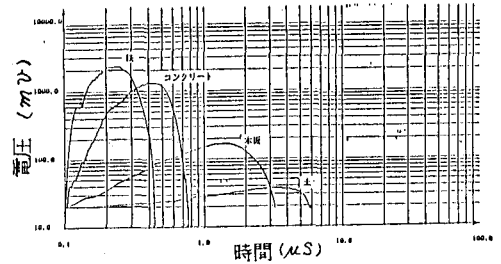


図1 材質判別図

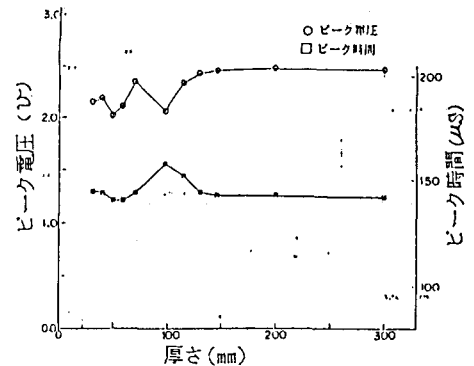


図2 厚さ(同一材質)による有意差の検定

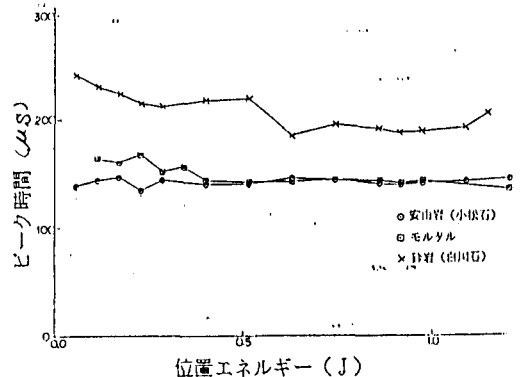


図3 ピーク時間と位置エネルギーの関係

次に岩石6種・コンクリート3種・モルタル1種を対象として連続10回の計測を行ない、特徴を主軸とするパターン空間での資料の分布を調べた。

3. 実験の結果

群間の平均値の一様性は分散分析法を用いてF分布により検定できる。まず形状の異なるモルタル試料により得られた資料に対し有意水準0.05で有意差を検定する。

$$F_{3,36}(0.05)=2.86 \text{ より}$$

$$F_v = V_{gv} / V_{wv} = 1.16 < 2.86$$

$$F_t = V_{gt} / V_{wt} = 0.30 < 2.86$$

ここで V_g は群間不偏分散、 V_w は群内不偏分散であり、第二添字の $v \cdot t$ はそれぞれピーク電圧とピーク時間を表わす。したがって形状の違いによる有意差は認められない。下層試料の異なる資料に対しても同様に

$$F_v = V_{gv} / V_{wv} = 1.04 < 2.86$$

$$F_t = V_{gt} / V_{wt} = 0.38 < 2.86$$

したがって下層の効果による有意差は認められない。厚さの異なる資料に関しては、ピーク電圧・ピーク時間ともに厚さ15(cm)以上の資料については基準資料との有意差は認められない。図2に厚さの変化によるピーク電圧とピーク時間の変化を示す。

図3にピーク時間と位置エネルギーの関係を示す。各資料とも位置エネルギーに関係なくピーク時間はほぼ一定の値を示している。したがって位置エネルギーのピーク時間への影響は無視できる。

クリスタルの弾性エネルギーと位置エネルギーの関係は図4に示すように、各資料ともほぼよい比例関係が見られる。したがって、この比例定数(以後エネルギー比とする)を特徴量とすれば打撃時のエネルギーの変動による影響を回避できる。

図4に各種試料のパターン空間での分布を示す。砂岩・コンクリート類は複雑な分布を示しているが、各特徴量に重み処理をすることで、さらに群間距離を大きくできると思われる。

4. 考察

対象物がある厚さ以上あればピーク時間とエネルギー比を特徴量とすることにより、圧電効果型ロードセルは対象物の材質を識別するための有効な検出器となり得る。群内の資料のバラツキは群によって差がある。したがって識別の方法として各群内の分散を考慮する必要がある。さらに、ロボットのための検出器としては高速な情報処理が必要となる。そこで各群間の分散を考慮し、テーブル方式によって高速化を図っているSRIアルゴリズムが最適と思われる。図6に従来より岩石やコンクリートの試験器として用いられているシュミットハンマーの反発度とエネルギー比の関係を示す。両者の相関係数は95%の信頼区間推定で0.65~0.95であり、両者の間には正の相関関係が保証されている。

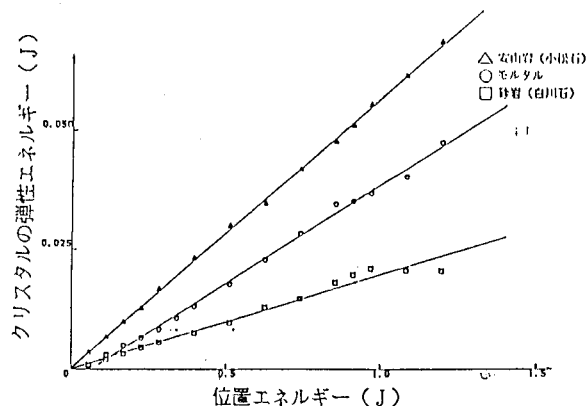


図4 クリスタルの弾性エネルギーと位置エネルギーの関係

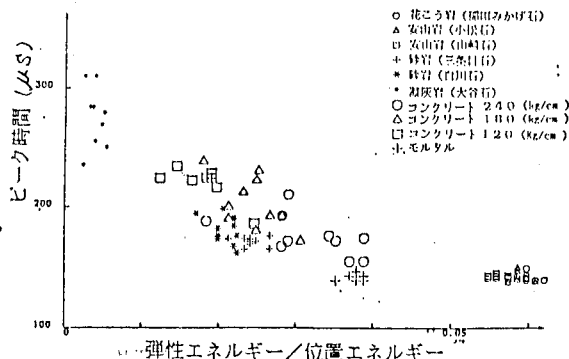


図5 ピーク時間と
(弾性エネルギー/位置エネルギー)の関係

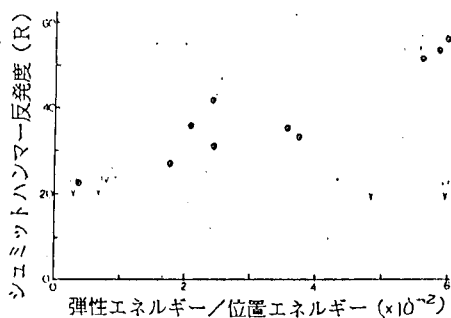


図6 シュミットハンマー反発度と
(弾性エネルギー/位置エネルギー)の関係