建造物解体における小割作業自動化のための 深度分布を用いたガラ認識

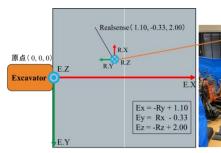
○伊藤駿(岐阜大) 池田貴公(岐阜大) 山田宏尚(岐阜大)

1. 緒言

近年,建設業では超高齢社会による人材不足が深 刻な問題となっており、単純作業の自動化が求めら れている. 本研究では、建築物の解体現場における ガラ (コンクリートの破片) の破砕作業に着目する. 建築物解体後に発生するガラの小割作業(二次破砕 作業) は単純作業であるが作業量が多く, 工事期間 の長期化の要因となっている. そこで、本研究では 二次破砕作業における建設機械操作者の負担軽減 や作業効率の向上を目的として、屋外における複数 の不定形物体であるガラの認識手法の研究開発す る. 先行研究[1]では複数の不定形物体が積みあがっ た場合にガラを正確に認識出来ないという課題が あった. 本研究では深度センサの深度分布に着目し, 複数の不定形物体が積みあがったガラ認識の手法 を研究開発した.

2. 実験環境

本実験の屋内実験環境を図1に示す. 深度センサ を作業場上方に設置し, 取得した深度データを用い てガラを認識した. また, 解体現場のガラの配置を 再現するために、直径約8cmの軽石をセメントで3 個つなげた「隣接用ガラ」と 5 個つなげた「破砕対 象用ガラ」を作成した. 実験では, 軽石を積み上げ, その頂上に隣接用ガラと破砕対象用ガラを配置した.



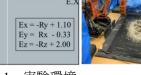


図1 実験環境

3. ガラ認識手法

深度データの取得には RGB-D センサの一種であ る RealSense を使用した. 提案するガラ認識手法では ガラ山の深度データを一定間隔の層に区切り、最低 面層を徐々に上げながら最高点から破砕対象として ラベリングし,対象領域の点群数が閾値以下になっ た場合に処理を終了する(図2).図3に認識対象と なるガラ山を示す. また一つ目の破砕対象は赤色, 二つ目の破砕対象は青色, 非破砕対象は緑色でラベ

リングした. 認識対象は, 二次破砕作業で多く見ら れる図3のような丸みを帯びている形状とした.

次に終了判定のための閾値について述べる. ガラ 山の高さの変化や破砕対象の大きさにより点群数は 変化する. そこで, realsense と破砕対象の距離に応 じた点群の関係について調査した. 面積のわかって いるスポンジを徐々に realsense に近づけていき、距 離に応じた点群の密度 ρ [/cm²]を得た. また, 破砕対 象用ガラを半径 r [cm]の円形物体として認識するこ とで, 閾値 p を

$$p = \pi \rho r^2 \tag{1}$$

と決定した.

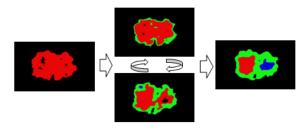


図2 提案手法のラベリング過程



図3 ガラの山積モデル

4. 実験方法

ガラ認識手法では, ガラ山を深度に応じた一定 間隔の層に区切る. そこで, 区切る層の最適な幅を 検討した. 幅は1 cm から10 cm まで1 cm 間隔で検 証した. また, 提案手法ではガラ山を一定の幅で区 切るため、ガラ山の高さによって実験結果が変化す ると考えられる. そこで、ガラ山の高さに変化を付 けた積載方法を3つ用意した. それぞれ, 軽石の積 む段数を1段(積載1),2段(積載2),3段(積 載3)としその上に破砕対象用ガラを設置した. 図4 に左から順に積載1,積載2,積載3を示す. さらに 先行研究で破砕対象用ガラの設置方法により認識率 に差異が生じることを確認したため, 破砕対象用ガ ラの設置方法も複数検討した. 図 5 に本研究で使用 した3通りの配置を示す。図5の左からそれぞれ破 砕対象用ガラをガラ山の配置 1「端」、配置 2「中央」、

配置3「隣接用ガラと隣り合わせる」の配置方法を示す.

以上より、積載1から積載3のガラ山の高さに対し配置1から配置3の破砕対象用ガラを配置し、計9通りを認識対象の設置方法とした.

認識精度は、破砕位置と破砕位置のばらつきの 2 点から評価した. 破砕位置を用いた評価では、RGB 画像中に認識結果である破砕位置を赤丸で描写し、赤丸が全て破砕対象用ガラの上に表示されていた場合を認識成功とし、それ以外を認識失敗とした. なお、破砕位置は赤色のラベリング部の面積重心とした. 破砕位置のばらつきの度合いにおいては、30 秒間プログラムを実行した際に求められた破砕位置から分散を算出した.



図4 ガラモデルの積載方法



図5 ガラモデルの配置方法

5. 実験結果

分割幅ごとに 9 通りの認識対象に対する認識成功率と分散を平均した結果を表 1 に示す.

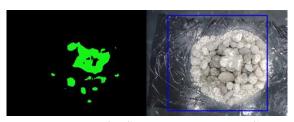
破砕対象用ガラの認識成功率は、多くが100%とな った. 実験では、積み上げた軽石の上に破砕対象用 ガラを設置しており, 破砕対象上に最高点が含まれ た. 提案手法は、破砕対象領域に最高点が含まれる ため認識成功率が100%になったと考えられる.次に、 認識率が100%未満について考察する.図6にガラ山 全体が非破砕対象である緑色でラベル付けされた様 子を示す. 認識率が 100%でない場合は、全てが破砕 対象である赤色のラベル付けがされなかった場合で あり、分割幅が大きい場合によく見られた.これは、 分割幅が大きくなると点群数が閾値以下の領域が存 在しない場合が生じ,全てのガラを非破砕対象と判 定したためである. また, 分割幅が小さくなるほど 層の数が増加し、認識にかかるループ数が多くなる ため, 認識終了までの時間が長くなる傾向が見られ た. 次に、分割幅の分散値への影響について述べる. 分割幅が大きい場合と小さい場合の実験中の画像を それぞれ図7と図8に示す. 表1に示すように,分 割幅が小さいほど分散が小さいことが確認された. これは、破砕対象用ガラの表面の凹凸が影響してい る. 破砕対象用ガラは5つの軽石をセメントで接着 しているため、表面には多くの凹凸が存在している. したがって、分割幅が大きいと、図 7(a)のように破

砕対象用ガラの表面の凸のみが破砕対象として認識され、破砕位置が安定しないことが確認された.一方で、分割幅が小さいと図8(a)のように破砕対象用ガラを全体的に認識でき破砕位置が安定することが認識できた.

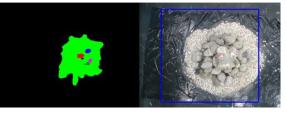
また表1の分散から分割幅1cmから3cmまでは, 比較的破砕位置が安定しており,4cm以降になると 破砕位置が不安定になることが分かった.したがっ て,提案手法では破砕位置が安定しているものの中 で,プログラムのループ数が最も多い3cmが最適だ と考えられる.

表 1 実験結果

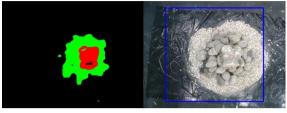
| Height | 1cm | 2cm | 3cm | 4cm | 5cm | 6cm | 7cm | 8cm | 9cm | 10cm |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Success rate of proposed method [%] | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 88.7 | 78.6 | 99.7 | 94.3 |
| Variance [cm²] | 0.6 | 0.7 | 1.5 | 6.9 | 29.7 | 30.5 | 37.1 | 44.1 | 45.8 | 25.9 |



(a)ラベリング画像 (b)RGB 画像 図 6 認識失敗例 1



(a) ラベリング画像(b)RGB 画像図 7 認識失敗例 2



(a)ラベリング画像 (b)RGB 画像 図 8 認識成功例

6. 結言

本研究では、深度イメージの深度分布を利用した 認識手法の開発を行い、積み上げた軽石の上にある 破砕対象用ガラの認識を行うことが出来た.

今後は、センサを建設機械に搭載して斜め方向から認識する手法の開発を行う必要があると考える.

参考文献

[1] 井上由也:ガラの形状・位置認識を用いた建設ロボットの小割作業自動制御に関する研究,日本機械学会東海支部第69期総会・講演会講演論文集,No.203-1,2020