

VI-3

デジタルビデオカメラによる落石検知手法の開発

北海道開発局開発土木研究所 正会員 池田憲二
 北海道開発局開発土木研究所 正会員 中井健司
 株式会社 つうけん 菅原 達
 (株)構研エンジニアリング ○正会員 小林 一人

1. まえがき

平成 8 年に発生した豊浜トンネル崩落事故を契機に、北海道開発局では急崖斜面の崩落監視に関する研究が進められている。崩落監視の補助として傾斜計や、伸縮計の適用などが考えられるが、急崖斜面であるため計測機器の設置作業に危険が伴う場合や、ある決められた点の変状しか監視の補助として利用できないなどの課題がある。

本研究は危険な設置作業を伴わず広範囲の急崖斜面の落石を監視する方法として、(株)つうけんが開発したデジタルビデオカメラによる落石検知用の自動映像検知システムを用い、実斜面および人工岩盤斜面での検証試験を行なった内容を報告するものである。

2. システムの概要

図 1 にシステムの概要を示す。デジタルビデオカメラにより監視する斜面を撮影し、ビデオキャプチャードにより指定した間隔でパソコンに画像を取り込む。取り込んだ画像フレームを格子状に分割し、各ブロックごとに次のフレームとの色及び明るさ(輝度)の変化を認識することにより落石を検知するものである。落石を検知した場合、警告音を発生するとともに、落石を検知した画像とその一つ前の画像は保存され、落石の発生位置、大きさを検証することが可能である。



図 1. 落石検知用自動映像検知システム概要

3. 自然斜面での検証試験

3.1 試験概要

使用したシステムでは、映像フレームを縦横 4×4 ブロックに分割し、ブロック毎で輝度と色との 2 つの要素から映像の変化を検出している。しかしこのブロック分割では大きな変化は検出できるが、小さな変化は検出できなかった。

そこで落石検知の精度を上げるため適切なブロック分割数、色と輝度のしきい値を選定する必要が生じた。このことから実際の急崖斜面を撮影したサンプル画像を使用し、各設定値を変えて落石の認識数を検証した。使用したサンプルは北海道の日本海側の急崖斜面で実施されている岩塊除去時の画像であり、撮影斜面までの距離は約 80m、撮影時の天候は雪、時刻は午後 3



写真 1. サンプル画像

Study on Rock Fall Detection Using Digital Video Camera
 Kenji IKEDA, Kenji NAKAI, Toru SUGAWARA, Kazuhito KOBAYASHI

時である。解析に使用した画像は3秒間、フレームは0.5秒間隔で7コマ、発生させた落石は21個である。ブロック分割数は8×8、16×12、32×24の3種類について行ない、それぞれ色と輝度のしきい値を変更して、最適と思われる値で再度落石の検出を試みた²⁾。

3.2 試験結果

3.2.1 ブロック分割数の検討

ブロック分割数を変えた場合の落石の検出結果を表1に示す。分割数を多くすると検出精度は向上するが、逆に誤認個数も多くなる結果となった。従って本現場では検出個数が多く誤認個数が少ない16×12のブロック分割数が最適である事が分かった。しかし実際の落石21個に対して落石検出個数は12個であった。よって他の方法による精度向上の検討を行なった

3.2.2 精度向上の検討

本測定で十分な精度が得られなかった理由及び改善案を以下に示す。

(1) 地山と落石が同系色である為の未検出の改善案

今回の撮影対象は赤褐色の玄武岩溶岩が露岩しており撮影時の天候が雪である。従って、全体的にモノトーン寄りの画像であるため画像フレーム中の代表色¹⁾のヒストグラムは暗い部分に集中しており、色の変化の度合いを検出するのが困難であった。この改善案としてデジタルビデオカメラから入力される画像に対し、暗色部分の輝度を上げ、代表色のヒストグラム分布を広げることににより、色分布変化の感度をあげることが可能となり精度が向上できると考えられる。図2に元画像の輝度のヒストグラム、図3に輝度のコントラストをあげた場合のヒストグラムを示す。

(2) 降雪を落石と誤認識する事に対する改善案

映像中の雪片の動きは主に上から下へ方向であり、落石による映像変化として捕らえてしまう問題がある。しかし継続的な降雪は映像の変化ではあるが、時系列的には映像の変化の割合はほぼ一定である。この点に着目し、映像フレームの明るさの平均と明るさの分散を時系列で追跡することにより、落石と降雪を分離する方法を検討した。図4にサンプル映像の明るさの分散と平均の時系列グラフを示す。落石が発生したのはフレーム番号00003から00005の間である。明るさの分散、明るさの平均とともにこのフレーム間の変化が大きくなっていることから、この2つのパラメータを適切に設定することにより異なる現場条件においても落石を捕らえることが可能と思われる。しかし長期計測を行う場合には設定を自動的に変更するプログラム等の開発が必要である。

表 1.ブロック分割数別落石検出結果

ブロック分割数	落石検出個数	誤認個数
8×8	9	5
16×12	12	6
32×24	12	9

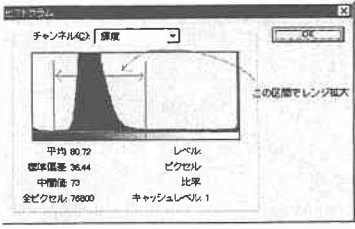


図 2.元画像の輝度のヒストグラム

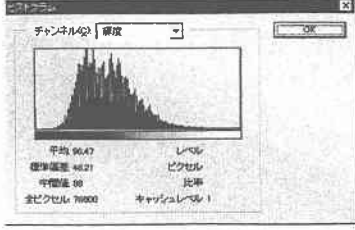


図 3.輝度をあげた時のヒストグラム

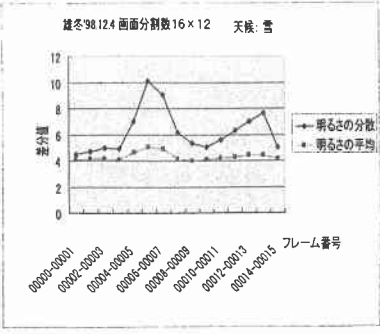


図 4.輝度の分散と平均の時系列グラフ

4.人工斜面での擬似落石試験

4.1 試験概要

落石の大きさおよび個数を変えた場合の最適な設定条件について検討を行うため、人工斜面に大きさおよび数を変えた人工落石を生じさせ各ケースについて測定を行った。ケースを表 2 に、実験状況を写真 2 に示す。

表 4 のズーム時及び標準時の画像から設定値を落石径別に 3 つにモード設定し、各モードについて各ケース毎の落石個数を測定した³⁾。表 3 に各モードを示す。

表 3.各モードの設定

モード 設定	検 値 対象落石	輝度差分 平 均	輝度差分 分 散	フレーム 分割数
1	φ20cm 程度	9	5.5	8×8
2	φ10cm 程度	10	7	16×12
3	φ10cm 以下	7	7	16×12

表 2.人工落石のケース数

CASE1	φ 5cm を 1 個落下
CASE2	φ 10cm を 1 個落下
CASE3	φ 20cm を 1 個落下
CASE4	φ 1～10cm を 5 個同時に落下
CASE5	φ 1～10cm を 10 個同時に落下
CASE6	φ 1～10cm を 20 個同時に落下

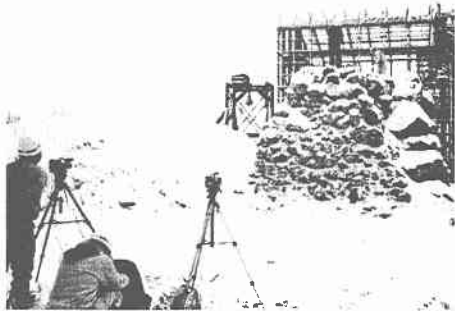


写真 2.実験状況写真

4.2 試験結果

表 4 に試験結果を示す。この結果から、φ10cm 以下の細かな落石の検出は困難であるが、しきい値を変化させることによりある程度小さな落石（φ10cm 以上）の検出は可能であることが分かった。

表 4.落石の認識確率一覧表

ズーム撮影（被写体サイズ：横 3.2×縦 2.4m）

ケース	モード 1	モード 2	モード 3
CASE1	□	○	○
CASE2	○	○	○
CASE3	○	○	○
CASE4	○	○	○
CASE5	○	○	○
CASE6	○	○	○

標準撮影（被写体サイズ：横 6.4×縦 4.8m）

ケース	モード 1	モード 2	モード 3
CASE1	×	□	■（誤）
CASE2	×	■	□
CASE3	△	○	○
CASE4	×	■	■（誤）
CASE5	×	○	○
CASE6	○	○	○

判例 ○90%以上検出，■70～90%，□50～70%，▲30～50%，△10～30%，×10%未満，

（誤）誤認識が数個

5.自動映像検知システムの構築とその課題

以上の測定結果をふまえ、簡易に操作可能な落石検知用の自動映像検知システムの構築を試みた。図 5 にシステムの設定画面を示す。対象とする落石の規模が既知であればモード選択で簡易な設定が可能である。また画面内の 2 点間の基準距離を入力することで、画面内のスケールが表示され落石規模を推定することが可能であり、規模が未知の場合も手動により任意のしき

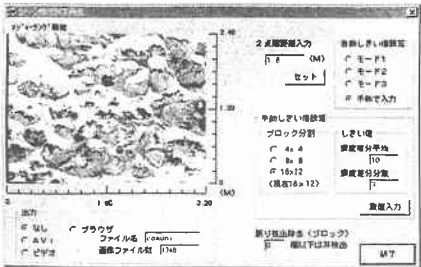


図 5.条件設定画面

い値および画面分割数を設定が出来るため、現場毎の最適な設定が可能である。

このシステムにより落石検知時に保存された画像を図 6 に示す。落石と判断されたブロックについては赤枠でマークされ、またこの 1 つ前の映像フレームも保存される為、実斜面の監視に利用した場合、落石の発生位置、履歴を蓄積することが可能である。しかし今回の撮影画像では 10cm 以下の細かい落石の検出は困難であった。これは以下の事項に起因する。

- 1) 本システムでは比較されるフレームとフレームとの間隔が最短で 0.5 秒でありこの時間内に通り抜けた落石は未検出となる
- 2) 使用した各モードでのしきい値は、画像ノイズ、ビデオカメラの微妙なぶれ等による誤検出をまびくための最適設定である。しきい値の設定により測定感度を上げることは可能であるが、落石以外のさまざまな変化に対する誤検出を伴う

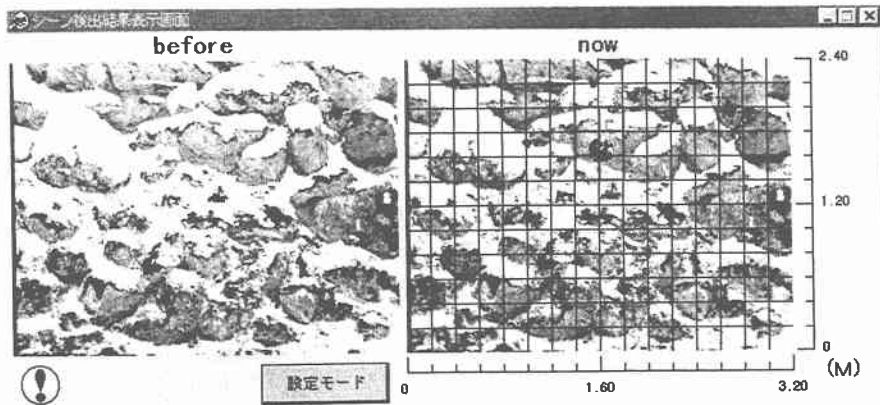


図 6.落石検知時に保存された画像

まとめ

広範囲の急崖斜面の落石を監視する方法として、デジタルビデオカメラを用いた落石検知用の自動映像検知システムを開発し、人工岩盤斜面および実斜面での検証試験を行った。その結果を以下にまとめる。

- 1) 地山と落石が同系色の場合であっても、暗色の輝度を調整し色分布変化の感度を向上させることにより、落石の検出が可能であると考えられる。
- 2) 降雪などのノイズは各フレームの輝度の平均と分散を現場毎に適切に設定することにより落石と分離可能であると考えられる。
- 3) 数タイプの落石に対して適切な設定値を検証した結果、ある程度小さな落石まで検知が可能となった。
- 4) 今後、検出スピードの高速化、落石検知専用のアルゴリズムの開発が必要である

参考文献

- 1) “フレーム毎の新色変化度による自動カット検出” 橋本、湊、電気関係学会北海道支部連合大会、PP.352、1995
- 2) “えいぞう弁慶サンプル映像による落石検出しきい値（モード）検証報告書”、(株)つうけん、1999
- 3) “映像による落石検出検証報告書” 株式会社つうけんシステム研究開発センタ報告、1999