

砕石場の開発における景観シミュレーションの適用

AN APPLICATION OF COMPUTER GRAPHIC SIMULATION OF CHANGES AT STONE-QUARRYING SITES

伊藤 俊秀*・楠田 啓**・西山 孝***

by Toshihide ITO, Hiromu KUSUDA and Takashi NISHIYAMA

1. 緒言

砕石場の開発にともなう景観への配慮は、残壁の緑化や採掘方法の検討などによって、かなり以前から行われていた。しかし、近年、景観に関する社会的な意識の高まりもあって¹⁾、景観問題が都市近郊での砕石場の開発をむずかしくしている場合がある²⁾。景観への配慮については、残壁の緑化計画や、採掘計画に基づく地形図などを用いて説明が行われることが多く、景観がどのように変化するかを具体的に表現する手法は確立していない。抽象的な内容ではなく、将来想定される景観を視覚に訴える形で表現できれば、無駄な論争が生じることもなく、合理的な判断が容易となるはずである³⁾。

一方、近年コンピュータグラフィックスの世界ではさまざまな手法が提案されており⁴⁾、架空の情景をモデル化し、これに色彩をつけて現実に近い画像を作成する研究もすすめられている⁵⁾。雲や水、炎など、これまでにさまざまな物体や現象がモデル化され⁶⁾、都市計画、未来図、古都の復元図などにもリアルな画像が描き出されている⁷⁾さらに、これらの手法は映画、テレビ番組、コマーシャルフィルムなどのマスメディアで応用されるだけでなく、ハードウェアやソフトウェア価格の低下にともない、通常の工学的表現にも応用することが容易となってきた。

そこで、砕石場の景観変化に、コンピュータグラフィックスの手法を適応し、景観問題の検討手法の一つに役立たせることを考えた。すなわち、砕石場の形状変化表現に適したシミュレーション手法を開発し、採掘によって山麓の緑がどのように変化し、地肌がどの程度露呈するかなどを視覚的に捉えられるように検討した。ハードウェアはEWS (Engineering Work Station)を用い、プログラムの作成にあたっては、ヴィジュアルな景観画像を簡略的に描画することを優先させた。また、XWindow配下で画像を作成したので、表示色数に関する修正などを

加えれば他のEWSにも容易に移植することが可能である⁸⁾。本稿では、景観シミュレーションについて、実用性のある手法を提示し、シミュレーションの過程で生じたいくつかの問題点について論ずる。



撮影したものを静止画状態にして、640×480ドット、又は960×480ドットの大ききで直接EWS(ソニー製NWS3470)に取り込んだ。原画像が写真の場合は、写真をビデオカメラで撮影した。カラー表現はRGB系の3原色を用いたが、これはそれぞれ32階調の色調で32,768色の表示が可能である。

ビデオカメラから取得した画像はxwd形式のファイルに格納した。レコードフォーマットは、色情報などのヘッダーレコードの後に、画像の左上を原点としてX軸方向(横方向)に1列の画像情報が1画素8ビット単位で格納されている¹⁰⁾。図1に画像とレコードの対応を模式的に示す。

2・2 山肌のモニタージュ

山肌のモニタージュではアフィン変換の利用を考える。モニタージュとは、異なったいくつかの画像要素を合成して、1つの画像にまとめあげる手法のことである¹¹⁾。この手法は人工的な構造物の構築が予定されている場合の景観変化を、シミュレーションするために用いられることが多く、建設業、土木業を中心に活用されている。モニタージュには、目的に応じてさまざまな手法が考案されているが、ここでは閉区間内の画素を移植する手法

* 関西大学総合情報学部 講師 (〒569 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1-1)

** 京都大学工学部 資源工学科 助手 (〒606 京都市左京区吉田本町)

*** 同 教授

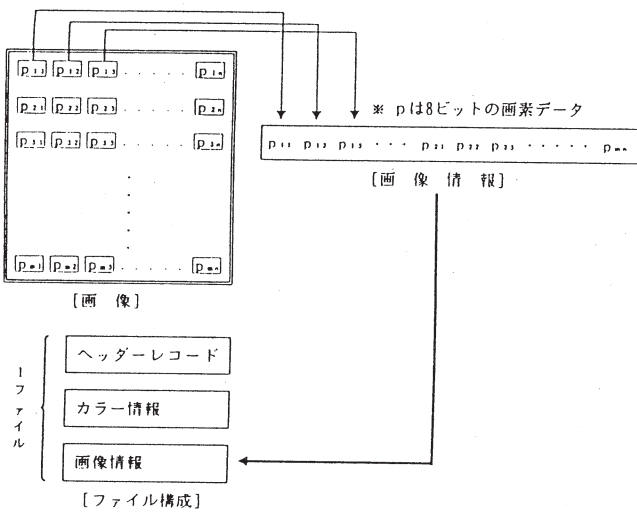


図1 xwd形式のファイル構成と画像との関係

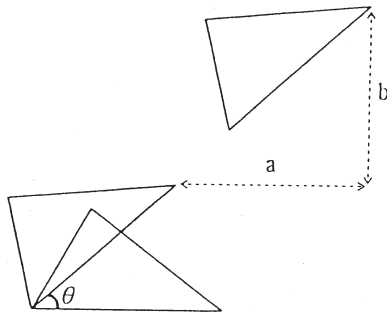


図2 アフィン変換による図形の移動

について考える。

図2に示しているように、ある画像の他の場所への移植は、対象となっている画像が含まれる閉区間内の画素に対し、一定の回転及び平行移動を行って目的の場所に移動させればよい。アルゴリズムとしては移植元の範囲内をアフィン変換 ((1), (2)式)¹²⁾によって移植先に移植する。

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ a & b & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$(u \ v \ 1) = (x \ y \ 1) T \quad (2)$$

ここで、(x,y)は移植元の座標、(u,v)は移植先の座標であり、また aは横方向の移動量、bは縦方向の移動量、θは回転角度である。

図3は大阪府北部にある某碎石場（以下、碎石場Aとする）の景観を原画像として、山肌の一部（図3の画像中[a]の部分）、切羽の一部（図3の画像中[b]の部分）及び

切羽の緑化部分（図3の画像中[c]の部分）を表現した画像例である。周囲との違和感を少なくするため、山肌は付近の山麓から、緑化部分はすでに緑化が行われている箇所から、切羽は近くの切羽から色を移植したものであるが、いずれも1色で表現しているため、平面的な印象を与えている。山肌の色は均一の緑に見えるが、実際には微妙に濃度の異なったさまざまな緑によって構成されている¹³⁾。このため、1色で表したのではこのような不自然な画像となってしまう。碎石場の場合、採掘されるのは標高が高くてせいぜい数百メートルの範囲であり、周囲の山肌にはブナや杉などの大きな木が植生している場合が多い。画像上では、これらの木々の枝葉によってできる緑の濃淡が積み重なって、全体の景観を構成している。したがって、周囲の山肌を描画するには、図4で示すように、他の山肌の部分のある程度の大きさ（たとえば、数センチメートルのオーダー）で繰り返し移植することを考えた。この手法によって採掘前の復元図を作成したのが図5である。図5(a)は復元前の原画像であり、図5(b)が採掘前の景観に復元した画像である。対象となる画像に適当な移植元がない場合は、周辺を撮影した他の画像から移植を行うことになる。しかし、この場合、陽光の当たり方が大きく異なる地点の画像を用いると違和感が生じてしまう。

2・3 切羽の緑化画像

つぎに、景観保護や落石防止のために残壁緑化を行ったときの景観変化の表現方法について考察した。前述のように、単純に一色で表現したのでは違和感の大きな画像となるので、すでに緑化が行われている部分を、山肌の表現と同じ手法で、ある程度の大きさで移植した画像が図6である。緑化では切羽の斜面部分に芝などの草木類や灌木類を栽培することが多く¹⁴⁾、遠景の画像では山肌の場合より移植元が狭くなる。このように狭い範囲の移植元を繰り返し移植した場合、図6に示すようにモザイク模様のような画像になり易い。移植領域の境界線上にアンチエイリアシング¹⁵⁾を行うことでモザイク状の模様を解消することも考えられるが、対象となる領域が狭いのでむずかしい。そこで、移植元の領域単位ではなく、領域内の画素単位で移植する方法を考えた。図7(a)で示しているのは、横方向に1列の単位で画素の移植を行い、移植元が移植先よりも長い場合には、移植元の画素を間引き、移植元が移植先よりも短い場合には、横一行を単位に移植元を繰り返し移植する手法である。また、図7(b)のように、移植元の画素を、一定の順番にしたがって移植先に移植する手法や、図7(c)のように、移植元の画素を、ランダムに移植先に移植する手法なども考えられる。この手法でモンタージュした画像例として、図5(a)で示した原画像をもとに、切羽の残壁部分を

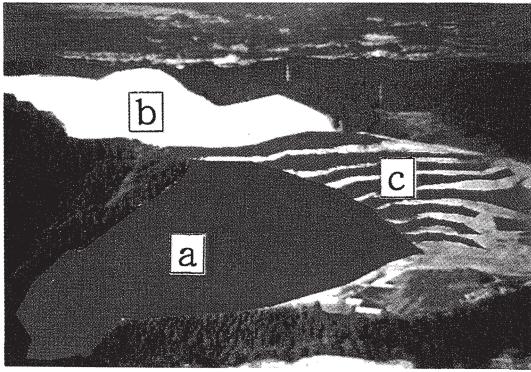


図3 1色で表現した画像

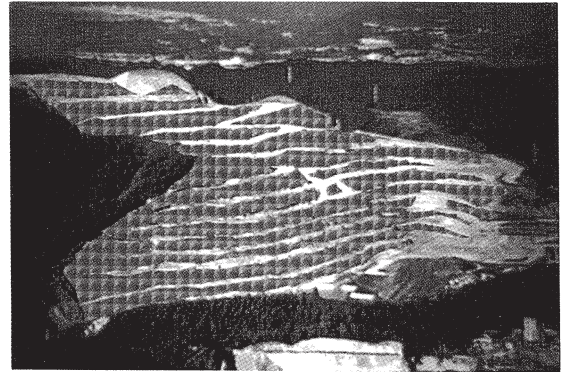


図6 狭い範囲の移植元を繰り返し使用した場合

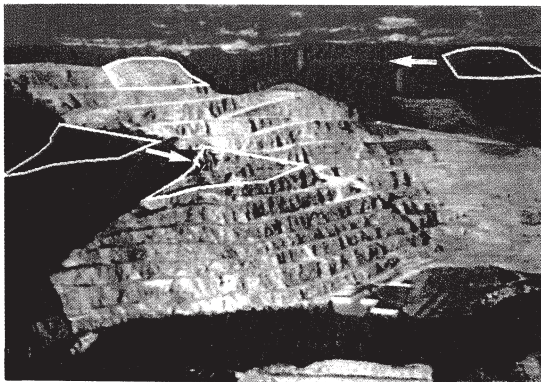


図4 山肌の色の移植方法

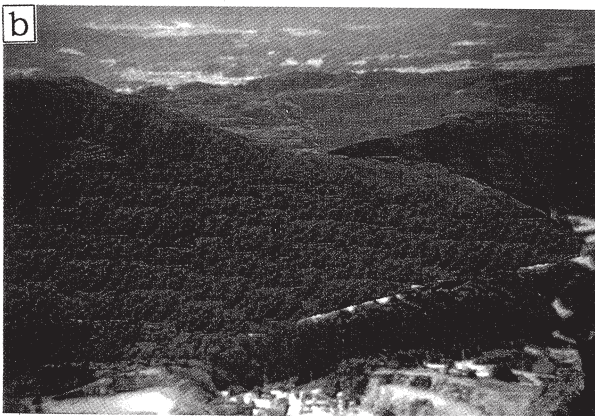


図5 原石山の復元
(a)復元前の景観, (b)復元画像

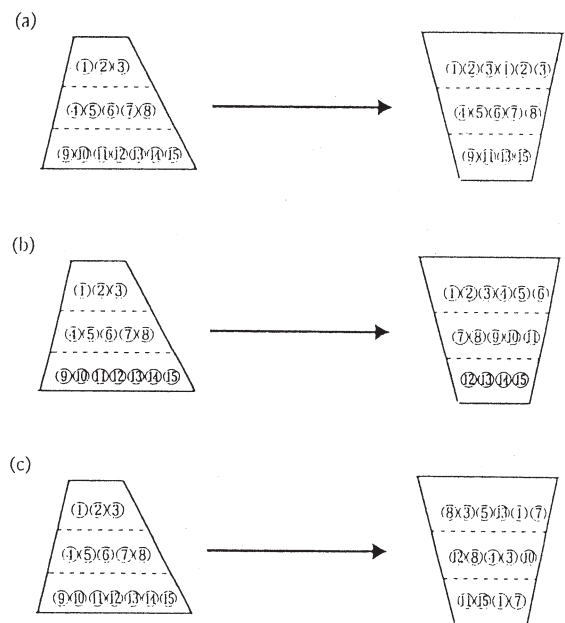


図7 アフィン変換によるマッピング
(a)横方向を単位に画素を移植する方法
(b)移植元の画素を順番に移植させる方法
(c)移植元の画素をランダムに移植させる方法

緑化した場合の景観が図8(a)である。

この手法は切羽の表現にも適用できる。切羽の色彩は地質条件によって異なるので、違和感のない画像を作成するためには周辺の切羽部分を、ここで述べた手法を適用して画素単位で移植すれば、図8(b)で示すような良い画像が得られる。

3. 開発の進展にともなう景観の変化と緑化の表現

3・1 採掘手法の違いによる景観の比較

採掘方法の違いで景観がどのように変化するかを、モンタージュ手法を適用して比較してみた。図9の(c)及び(d)は、砕石場Aの昭和61年の景観(図9(a))と平成4年の景観(図9(b))を原画像として、モンタージュを行ったものである。このようにすれば、山の斜面に沿ったベンチカット方式による現状(図9(a)と(b))と、山頂付

近から（たとえば立坑式階段採掘法で）順次下部へと掘り進む方法を適用した場合の景観（図9(c)と(d)）の違いを比較することができる。

なお、図9の(c)と(d)の画像で、採掘の進展に伴って新たに見えるようになる原石山の背景部分は、背景の遠景部分を移植して作成している。

3・2 開発の進展と残壁の緑化

図10は切羽の残壁部分を緑化した場合に、開発の進展に伴って景観がどのように変化するかを示したものである。碎石場Aの昭和61年の景観（図10(a)）を原画像として、山頂から3分の1程度の残壁を緑化した場合（図10(b)）、山頂から3分の2程度の残壁を緑化した場合（図10(c)）、残壁のすべてを緑化した場合（図10(d)）の景観である。

なお、播種後の植物の経年歴に応じて、数年経過した部分と発芽間もない部分とでは緑の色調が異なる。そこで、このような変化を表現するために、RGBの3原色のなかで、緑の色調のみを変化させることを試みた。図10(d)の画像の緑化部分は、上部1/3は緑の色調を濃くしてあり、逆に下部1/3は緑の色調を薄くしてある¹⁶⁾。

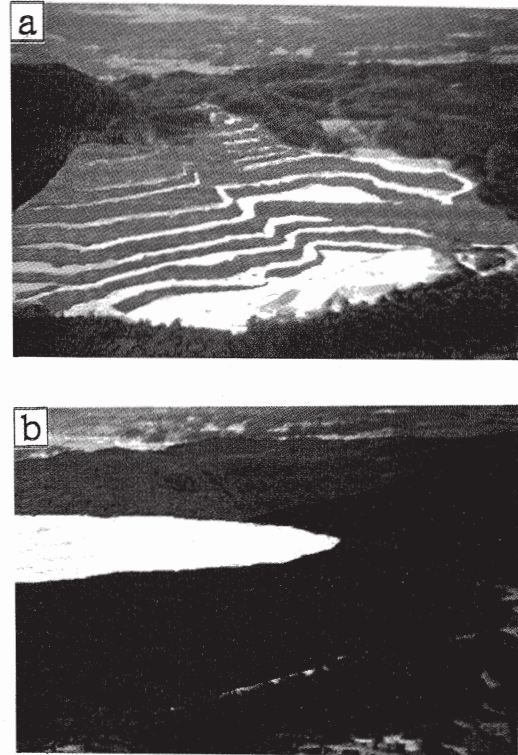


図8 画素単位で移植した画像例
(a)緑化の表現, (b)切羽の表現

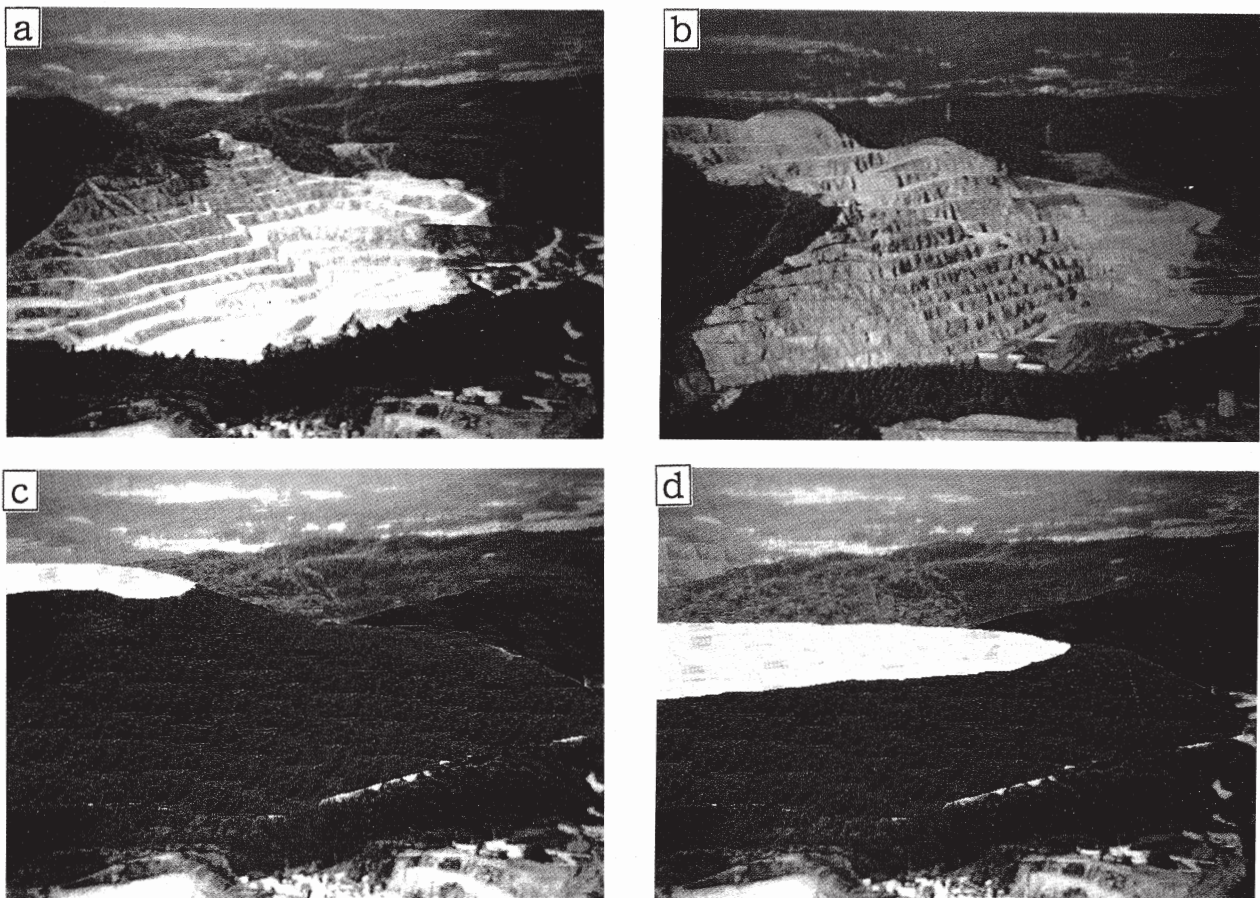


図9 採掘方法の違いによる景観の変化
(a)昭和61年の景観
(b)平成4年の景観
(c),(d)採掘方法が異なった場合の景観

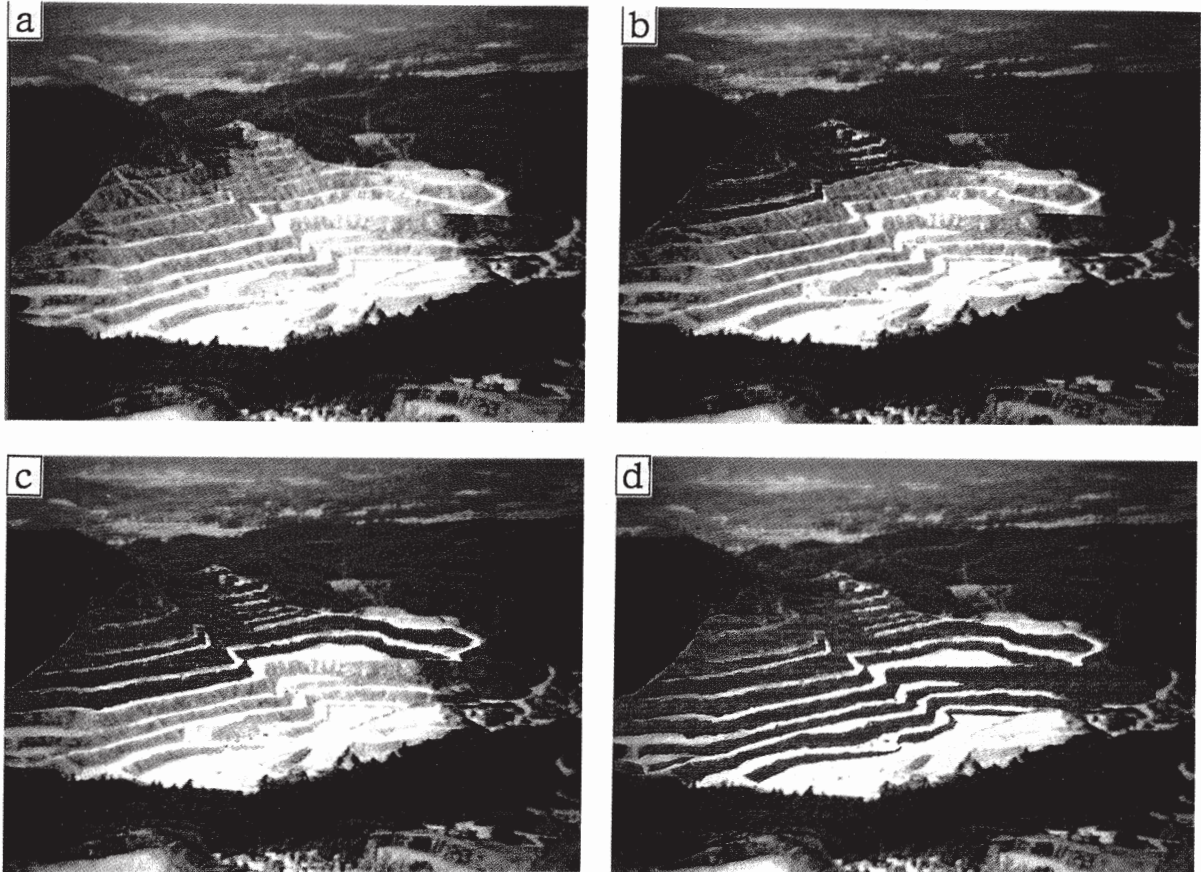


図10 昭和61年の切羽に緑化を行った場合の画像
 (a)昭和61年の景観
 (b)山頂から1/3の残壁を緑化した場合
 (c)山頂から2/3の残壁を緑化した場合
 (d)すべての残壁を緑化した場合

4. モンタージュ手法とワイヤフレームによる景観シミュレーション

4・1 視点を変えた景観の表現

ワイヤフレームとモンタージュを組み合わせた手法によって、視点を変えた場合に切羽の形状や緑化部分ができるようになるのかを、兵庫県の某砕石場（以下、砕石場Bとする）を例として描画した。

まず、原画像として砕石場の景観を取得する。通常、砕石場は山間部に位置しており、切羽全体を1枚の画像におさめられる適当な撮影場所がない場合が多く、景観は数枚の画像にまたがって取得される。したがって、取得された画像を横長の1つの景観に合成する必要がある。この際、注意しなければならないのは、個々の写真で微妙に露光度が異なっているため、画像を結合したときに色調の変化が目立たないようにする必要がある。このため、個々の画像に関して、RGB三原色の色調の調節によって違和感が少なくなるようにした¹⁷⁾。図11(a)は3枚の切羽の景観を合成したものである。

つぎに、採掘に伴う地形変化の予測を行うために、対象となる地形の標高データを二次元平面上の座標に変換し¹⁸⁾、景観の撮影地点と切羽との方位角、仰角、距離に基づいて、ワイヤフレームと景観写真とを一致させる(図11(b))。この際、理論的にはカメラの光学的な特性

から画像の端の方で一致しない部分が生じるが、図11(b)に示すとおり、実際上問題となるほど大きなズレにはならない。なお、景観とワイヤフレームの位置関係をわかりやすくするために、画像上ではワイヤフレームの格子間隔を縦横ともに2倍に拡大している。最後にワイヤフレームの各三角パッチに対応する画像部分を取得する。図11(c)はこのようにして取得した画像を、再度描画したものである。

視点を変えた景観の描画は、方位角、仰角、距離を変化させてワイヤフレームを作成し¹⁹⁾、この各三角パッチに上記で取得した画像の色データを移植して行う。画像の取得時と描画時では、各三角パッチの形状が異なるが、緑化描画手法で述べた画素単位の移植手法が適用できる。また、図12に示すように、景観の撮影時に、画像のない部分がシミュレーション時に描画されることがあるが、このようなときは、その領域が小さければ、より近傍の三角パッチに取得されている画像を用いて補正できる。ただし、この補正には限度がある。図13は、方位角にして左右15度、仰角にして上方に10度程度変化させた景観である。視点の変化の限界がどの程度まで耐えられるかは、主観的な判断によるところも大きく、個々の事例によっても異なる。本例ではこの程度がほぼ限界であると考えられる。

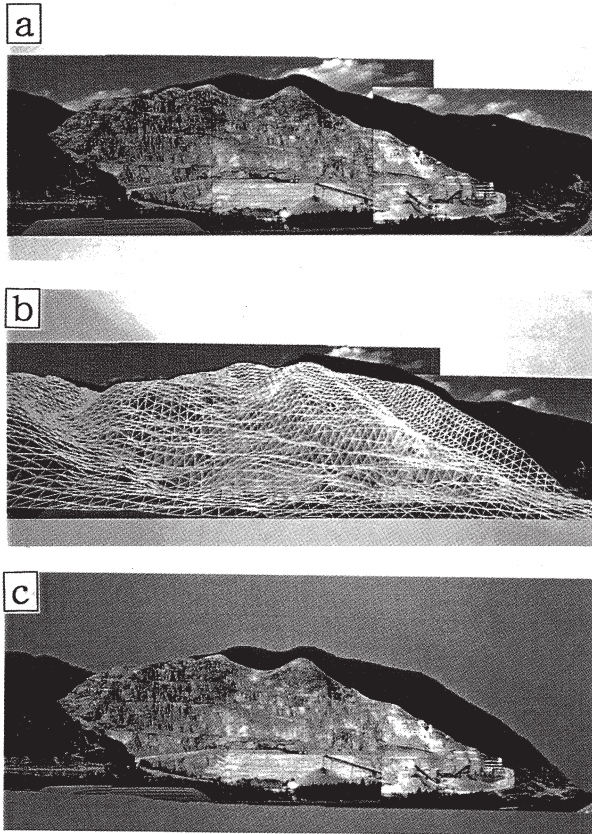


図11 視点を変えた景観の作成
 (a)景観写真の合成
 (b)ワイヤーフレームと景観写真を一致させる
 (c)画像を取得したワイヤーフレームの描画

方位角や仰角を変化させていくと、色を取得していない三角パッチが新たに現れてくる。その程度を示したのが図14で、画像中で白い画素で表示されている部分が、画像を取得していない三角パッチである²⁰⁾。

4・2 将来計画と景観の変化

砕石場Bにおいて、採掘計画にしたがって採掘が順次進んだ場合に、長期的な視野で景観がどのように変化するかを、三次元的な画像表現で述べた手法を用いて描画してみた。B砕石場の終掘時の計画図を図15に示す。図16(a)は元となった景観の撮影場所と同じ視点で見た場合の画像であり、図16(b),(c)は方位角を変えた画像、図16(d)は仰角を変えた画像である。採掘跡平坦部分には、切羽部分の画像を移植し、斜面には緑化が行われた部分の画像を移植している。移植はいずれも残壁の緑化の手法を用いた。

4・3 動画シミュレーション

砕石場Bは、切羽に直面して高速道路と鉄道が走っており、車窓からの景観が懸念されている。そこで、道路を走る車窓からどのように景観が見えるかについて、動

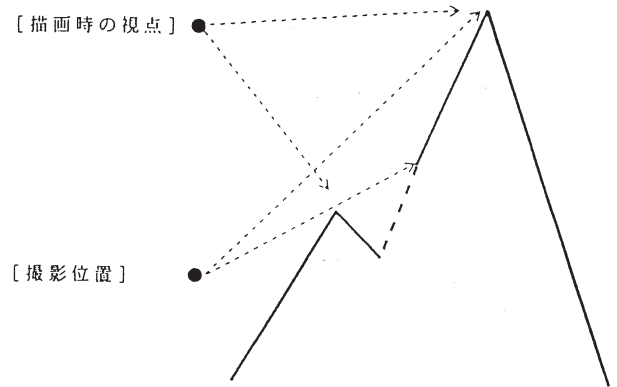


図12 投影地に隠面となっている部分の出現
 (山の波線部分が投影されていない)

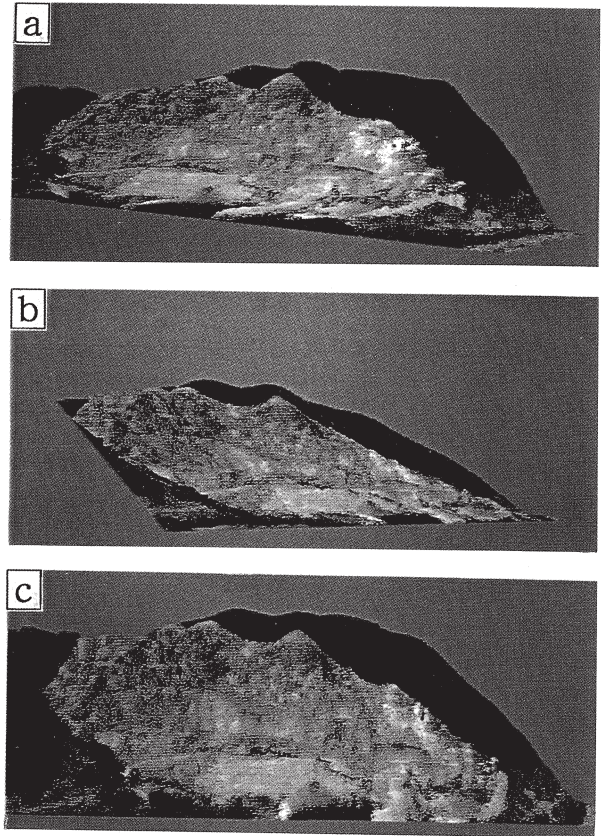


図13 視点を移動させた場合の画像
 (a)視点を右に15度移動させた場合
 (b)視点を左に15度移動させた場合
 (c)視点を上に10度移動させた場合

画的に表現できる方法を工夫した。

完全な動画を作成するためには1秒につき30枚程度の静止画が必要である。そこで、図17の地形図のA地点からB地点の道路沿いに約17メートル間隔で視点を変えた景観を30枚作成し、これをディスプレイ上に1秒間隔で繰り返し描画した。この動画は、時速約60kmで切羽の前

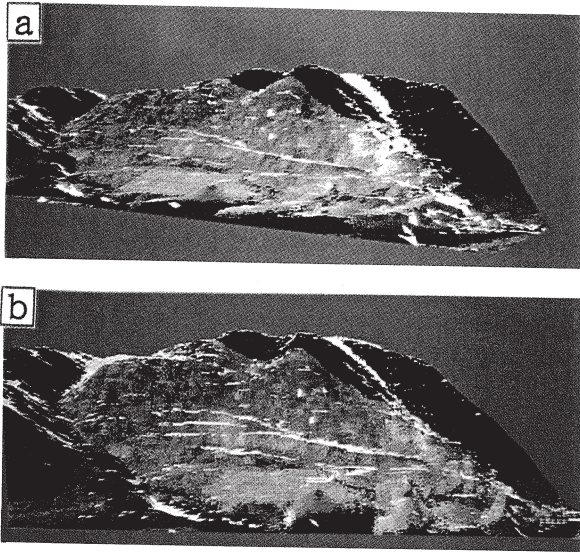


図14 撮影時に移されていない部分
 (a)視点を右に15度移動させた場合
 (b)視点を上に10度移動させた場合

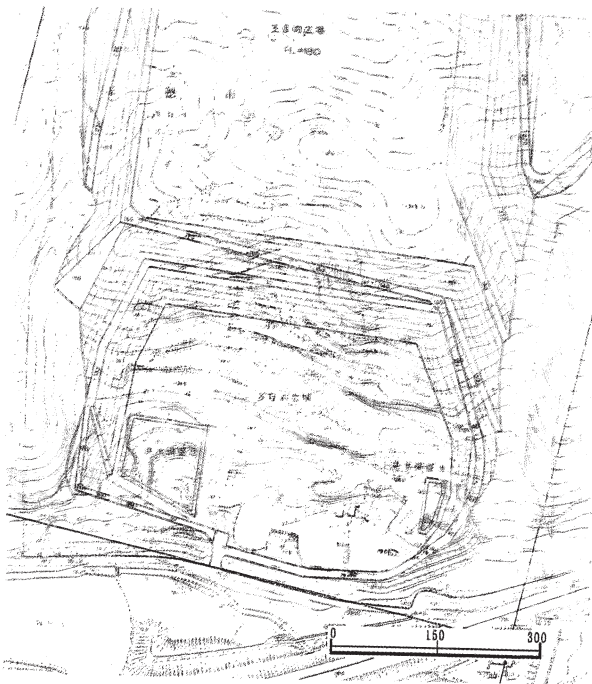


図15 終掘時の計画図

を走行する車窓からの景観に相当している。図17(a)～(h)は動画像の一部で、地形図のA地点(図17(a))からB地点(図17(h))まで描画される静止画を5枚間隔で抽出したものである。この動画作成には、特に大きな労力は要しないので、現在の景観、5年後と10年後の景観、終掘時の景観などの種々の想定動画を容易に作成するこ

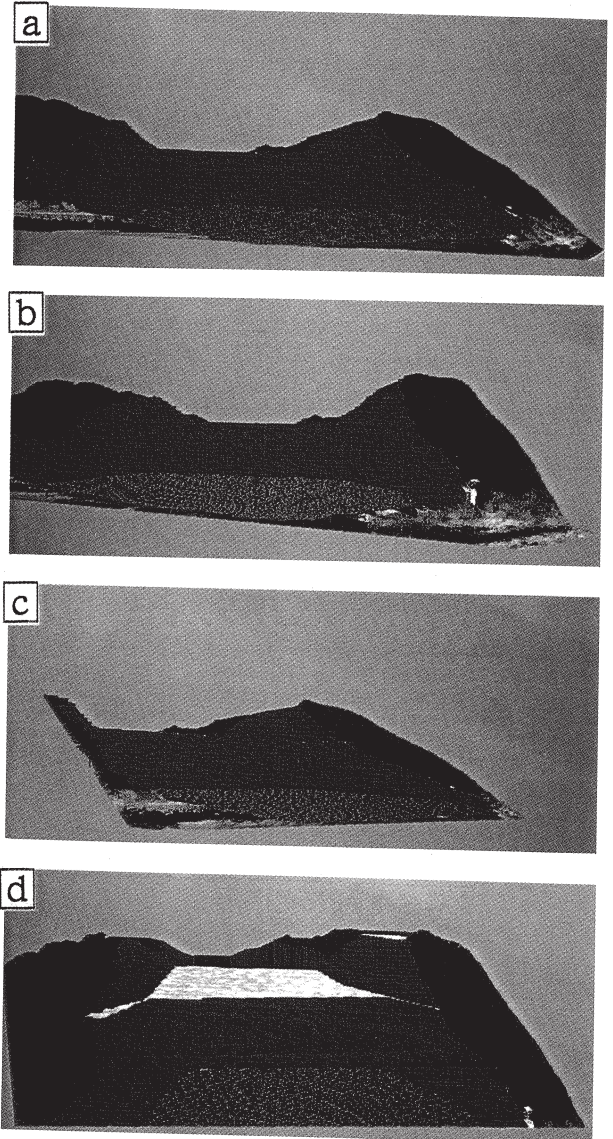


図16 採掘計画にもとづいた景観予測

- (a)原画像の撮影場所と同じ視点
- (b)視点を右に15度移動させた場合
- (c)視点を左に15度移動させた場合
- (d)視点を上に10度移動させた場合

とができる²¹⁾。

5. 結 言

コンピュータグラフィックスを応用すると、さまざまなモデルがリアルに表現できる。そこで、砕石場の景観問題に、このコンピュータグラフィックスの手法を適用した。採掘後や緑化後の景観の描写にはモンタージュ手法が、また、景観の三次元的な表現には、モンタージュ手法とワイヤフレームを組み合わせた手法が適切であることを明らかにした。コンピュータグラフィックスによる砕石場の景観シミュレーションでは、従来の地形図や数値による計画案に比べて、事前に景観の変化を視覚的

〔動画を作成した切羽の地形図〕

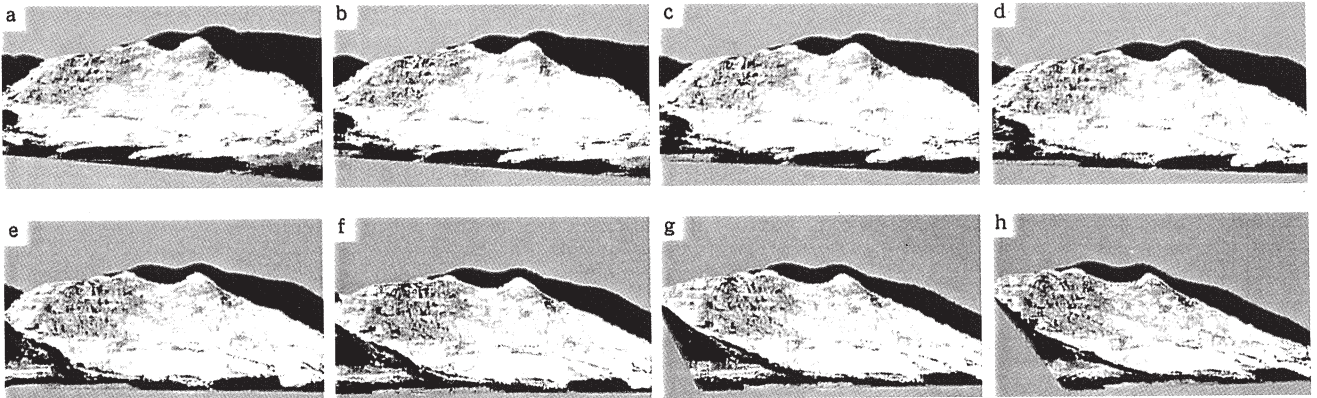
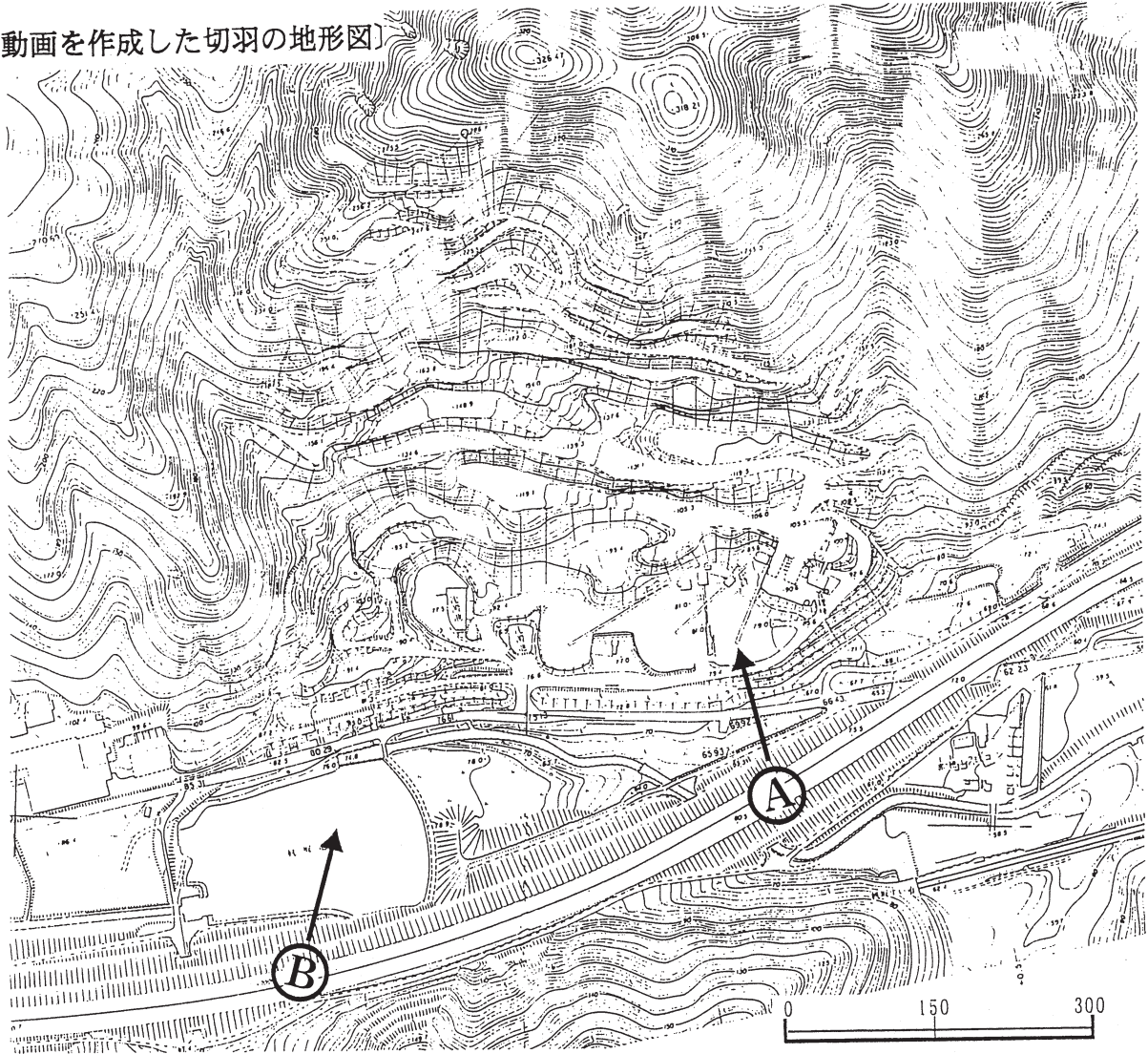


図 1 7 動画像中の静止画
 (a)地形図の A 地点 (b)~(g)動画中の約5度間隔の静止画 (h)地形図の B 地点

に把握できるため、基礎データとしてきわめて有効である。

本稿で述べたシミュレーション手法は、現況写真と地形データさえ準備できれば、どのような採掘現場であっても適用できるものである。また、ハードウェアとして、ビデオからのグラフィック表示が可能なEWSが必要であるが、最近では手軽に購入できるものとなっている。もっとも手間のかかる作業は地形データの入力操作であるが、数値地図²²⁾の利用や、スキャナによる地形図の読みとり、GPS (Global Positioning System)を利用した効率的な標高データの読みとりなどが改良されれば²³⁾、この問題も解消するものと考えられる。

なお、シミュレーション手法に関する今後の課題としては、精度を良くして、よりリアルな画像を作成することがあげられる。このためにはマッピング手法の検討が必要であり、最終的にどの程度リアルな画像を必要とするかは今後の問題である。

参考文献

- 1) 石井一郎・元田良孝(1993), 景観工学, 鹿島出版会, 228p.
- 2) 西山 孝(1993)砕石事業と景観シミュレーション, 砕石, No.176, pp.8-14.
- 3) 西山 孝・楠田 啓・伊藤俊秀(1994), 砕石資源と砕石業の課題, 資源と素材, Vol.110, pp.1037-1042
- 4) 中前栄八郎(1989)景観シミュレーション, 情報処理学会研究報告, Vol.89(CG39), pp.1-7.
- 5) 宮田一乗(1983)情報処理学会研究報告, Vol.89(CG-40), pp.75-80.
- 6) Mandelbrot, B.B.(1985)Self-affine fractals and the fractal dimension, Physica Scripta, Vol.32, pp.257-260.
- 7) 中嶋正之(1989)CGによる自然物体の生成技法, 情報処理学会研究報告, Vol.89(CG40), pp.69-74.
- 8) Linton, Mark, A.(1989), Composing User Interfaces with InterViews, IEEE Computer, Vol.22, No.8, pp.8-22.
- 9) 濱野秀男・岩崎 孝(1993)露天採掘跡地の景観評価システム, 骨材資源, Vol.25, pp.56-62
- 10) 柴山 守(1994)X11による画像処理, 技術評論社, 367p.
- 11) 曾山 豊・岡本 敬・鳥脇純一郎(1991)動画像合成による景観シミュレーション, 情報処理学会研究報告, 91, CG-53, pp.1-7.
- 12) 中前栄八郎・西田友是(1991)三次元コンピュータグラフィックス, 昭晃堂, 211p.
- 13) 高橋高橋 匡・村岡一信・千葉則茂(1993)山岳景観の季節感のシミュレーション, 情報処理学会研究報告, Vol.93, pp.25-32.
- 14) 中井 裕(1992)新版砕石, 技術書院, 317p.
- 15) 安居院猛・中嶋正之(1992)コンピュータグラフィックス, 昭晃堂, 184p.
- 16) 伊藤俊秀・西山 孝・楠田 啓(1995), 砕石産業における景観シミュレーションの活用, 資源・素材学会, 資源関係保安技術研究会
- 17) 高木幹雄・下田陽久(1990)画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, 775p.
- 18) 白岩隆己・田中正央・藤森博美(1984)パソコン立体地図, 講談社, 142p.
- 19) 塩野清治・升本真二・弘原海清(1992)BASICによるコンターマップ立体編, 共立出版, 183p.
- 20) 伊藤俊秀・楠田 啓・西山 孝(1995), コンピュータグラフィックスによる砕石場の景観シミュレーション, 情報地質, Vol.6, No.2, pp.59-66.
- 21) 伊藤俊秀・楠田 啓・西山 孝(1993), 砕石事業と環境問題, 資源・素材学会, 骨材資源の現状と将来シンポジウム講演集, pp.28-37.
- 22) 建設省国土地理院(1992)数値地図ユーザーズガイド, 日本地図センター, 494p.
- 23) 今井遼平・安達勝治(1992)骨材資源—開発から利用まで〔6〕—, 骨材資源, Vol.4, pp.176-189.

(1996年5月20日受付 8月23日受理)