

地上デジタル写真測量及び GPS を用いた 採石場における採掘計画の支援システム

今井 忠 男^{※1)} 古住 光 正^{※2)} 鴨志田 直 人^{※2)}
 杉本 文 男^{※1)} 山崎 貴 博^{※3)} 大塚 尚 寛^{※2)}

1. はじめに

砕石業の経営においては、採石場から高品位の砕石を長期間安定的に供給できることが、最も重要なことである。採石場を長期的に経営するためには、鉱山経営と同様に、鉱区内の砕石の品位分布および鉱量の推定をもとにした、長期的な採掘計画が必要となる。また、近年、多くの地方自治体において「景観基本計画」および「景観条例」等が策定され、露天掘りの採石場では、採掘計画に景観をも考慮しなくてはならない状況にある。

しかしながら、小規模の砕石業者にとって、従来の手法で上述のような品位や鉱量の分布を基に、景観を考慮した採掘計画を立案することは、技術的にも経済的にも困難なことである。

本研究の目的は、景観を考慮した長期の採掘計画を立案するための、簡易的な支援システムを提案することにある。本採掘計画を立案するにあたって必要なデータは、①鉱区内の品位分布データ、②鉱量の推測およびコンピュータで景観を予測するための採石場およびその周辺の数値化された地形データである。本研究では、これらデータを簡易的に取得できる手法を採掘計画支援システムと考え、この手法について検討した。

採石場の品位分布データを得るには、採石場各点の岩盤の品位を評価し、さらにその位置を測量しなければならない。従来の測量法（トランシットや光波測量器）を用いては、この作業は多くの労力と時間が必要となる。

また、採石後の景観を予測するためには、採石場の数値化された地形データ（緯度、経度、標高、以下では地形データ）を得なければならない。地形データを得るには、従来では空中写真測量が用いられており、現在では

レーザー測量¹⁾も有効となって来た。しかし、両者とも高額なため容易に実施できない。

これら採掘計画に必要な測量データを簡易的に得ることができれば、多くの採石現場で採掘計画が立案されやすくなると思われる。

本研究では、測量精度は落ちるが、GPS 測位法²⁾および地上デジタル写真測量法³⁾など簡易測量法によって、採石場の品位分布データおよび地形データを取得し、これらデータを用いて景観を考慮した採掘計画を立てる手法について検討した。

具体的には、一例となる採石場を対象にし、GPS 測位法およびシュミット・ロックハンマによる岩盤評価法を用いて、採石場の品位マップを作成した。また、地上デジタル写真測量、GPS 測量、数値地形図データの3つの地形データを組合せて、採石場およびその周辺の地形データを取得した。これらのデータを用い、この採石場に対する模擬的な採掘計画および採掘後の景観予測をおこない、本法の有効性について論じた。

2. 採石場の測定および景観予測方法

2.1 測定現場

今回、研究対象とした採石場（秋林工業（株））は、秋田県森吉町に位置し（図1）、砕石用の安山岩を採掘している。

図2の地形図に示すように、この採石場の近くには国道105号線があり、国道から採石場は、図3のように見える。図3より、本採石場は、南北の2つの山を西側（国道側）から開発を進めてきた結果、採掘現場が国道側に露呈していることがわかる。したがって、今後の開発においては、国道側からの景観に考慮した採掘計画が必要

※1) 秋田大学工学資源学部

※2) 正会員 岩手大学工学部

※3) 秋田土建株式会社



図1 測定現場 (秋田県)

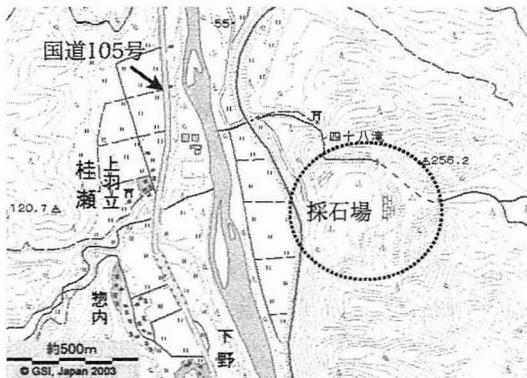


図2 採石場周辺の地形図

と考えられる。

2.2 地形データ取得方法

採石場において採掘計画を立て、将来の景観を検討するためには、採掘現場を含む周囲の地形に関する地形データが必要である。このように広い領域を1度に測量するには、空中写真測量が最も適している。

しかし、ここでは、採掘現場を含む周囲の地形に関し、これを3つの領域に分け、それぞれ次に示す方法を用いて、簡易的に地形データを取得した。

- ① GPS 測量：人が踏査できる比較的平坦な採掘領域
- ② 地上デジタル写真測量：残壁など急峻な斜面



図3 採石場の遠景写真 (国道105付近から撮影)

③ 数値地形図 (50mメッシュ)：周囲の山などの地形さらに、上記の3つのデータを統合することで、全体の地形データを得ることが出来る。

(1) GPS 測量 (測位)

GPSを用いた測量法には、2台のGPS受信機を用いる相対測位法と1台でおこなう単独測位法とがある。本研究では、精度は劣るが簡易的で廉価な単独測位法による測量をおこなった。

本測定法では、GPS受信機 (ライカ製、MK-31)、GPS測位データ取得器 (カシオ製、E-80)、GPS測位データ解析ソフト (ジオサーフ製、SOLO-FILED) を使い、バッテリー電源を含め測定システム全てを測定者1人が携帯し、計測をおこなった。

GPS測量では、1回の測定で、GPS受信機が設置された採石場の任意の点について、3次元位置データ (緯度、経度、標高) が取得できる。本測定では、1人の測定者がGPS受信機を背負って、採石場内をくまなく歩き、採石場内の各点の3次元位置データを取得した。とくに採石場の周囲、およびベンチなど起伏が大きい点の位置データを多く取得した。

また本計測では、GPS受信機が5m移動する毎に自動的にデータを取得するシステムを採用した。したがって測定者は、GPS受信機を背負ってゆっくりと移動するだけで、容易に位置データの測定が可能である。なお、本GPS測量の絶対精度は、5m程度である。

(2) 地上デジタル写真測量

写真測量法は、崖や急斜面など人が立ち入り難い危険

な地形に対する測量法として、とくに有効である。しかしながら、空中写真測量は、飛行機で空中から地形を撮影する必要があり、コスト高である。これに対し、地上デジタル写真測量法では、デジタルカメラによって、地上から簡単に地形のステレオ写真を撮影し、この写真を基に測量をおこなうため、簡易的でコストも安い。

本測定では、デジタルカメラ（オリンパス製、E-10）と三脚を用い、測定対象を平行撮影法によって、ステレオ写真（2枚以上）となるように撮影した。平行撮影法とは、カメラの撮影位置を対象物に対し平行にある間隔（カメラ間隔）ずらして、2枚（1組）撮影する方法である。また、撮影にあたっては、クリノメータおよびレーザー距離計（ニコン製、L-800）によって、撮影の方位、カメラの仰角、対象物とカメラとの距離（撮影距離）などを測定した。撮影した1組のステレオ写真は、パーソナルコンピュータ上で、写真測量ソフト（アジア航測製、ADIMS）を用いて解析し、地形の各点の3次元位置データを取得した。

測定精度は、撮影した条件に依存するが、本測定では、カメラ間隔10mのとき、撮影距離44および74mで、測定誤差はそれぞれ4.8%および8.6%であった。

(3) 数値地形図

上記の測量データだけでは、周囲の地形データがないため、採石場の景観としては、現実的でない。したがって、景観を予測する上では、採石場周囲の地形データを加えた、より広域的な地形データが必要となる。

採石場周辺の地形データについては、数値地図（国土地理院、50mメッシュ、CD版、1987）を用いた。この数値地図（CD）には、数値データとして、25,000分の1の地形図を50mのメッシュで区分した点の、標高データが収録されている。

(4) 各地形データの統合

それぞれの方法で取得した地形データは、北緯40° 00' 00"、東経140° 50' 00"を原点とする緯距（m）、経距（m）および標高（ジオイド高、m）の座標系に変換され、1つのテキストデータに統合された。ただし、写真測量のデータは、カメラ位置を原点とし、撮影方位をY軸、とそれと直交する方位をX軸、高度をZ軸とする相対座標である。したがって、写真測量のデータを他の地形データと統合させる場合、写真測量のデータをカメラ位置

の絶対座標（緯距、経距、標高）とカメラの撮影方位とによって、一般的な座標系（緯距、経距、標高）に変換する必要がある。

統合した地形データは、地形表示ソフトを用いて、等高線図およびワイヤーフレーム方式による鳥瞰図として表わした。

2. 3 岩盤の強度（品位）分布の測定法

碎石の品位は岩盤強度に関連している。本研究では、採石場における岩盤の強度分布を碎石の品位分布と仮定し、岩盤の強度分布を測定した。

岩盤の強度は、シュミット・ロックハンマの反発値によって推定した。シュミット・ロックハンマの測定にあたっては、採石場全体の面積をほぼ均等に60（約50mメッシュ）の領域に分割し、それぞれの領域内における測定可能な岩盤で、反発値（測定5回の平均値）を測定した。反発値の測定位置座標はGPSによって測定した。反発値はその位置座標とともにGPSデータ解析装置に記録した。

これら測定データを用い、地形表示ソフトによって採石場の岩盤強度（反発値）に関する等高線図を作成した。

2. 4 採掘計画と景観の予測方法

一般に、採石場の採掘にあたっては、岩盤の品位分布および周囲の地形（鉱量の推定）から、開発優良地区を検討し、長期間の操業が可能となるように、計画を立てる必要がある。本研究では岩盤強度を推定した反発値の分布図、測定した採石場およびその周辺の地形図を用い、開発優良地区を選定した。

長期間操業をおこなうにあたっては、採掘計画に基づいた採掘を続けた場合、国道などからの景観の変化を予測し、この結果から緑化および採掘計画の変更などの対策を適切に進めなければならない。具体的に、景観を予測するためには、将来の採掘予定の領域に対し、この領域の標高データを採石場底部の標高に置き換えることで、開発による地形改変の状態を模擬した。この改変された地形データを用いて、国道から見た地形を3次元的に表示し、景観の印象などを検討した。

3. 採石場での測定結果

3. 1 緩斜面に対するGPS測量

図4は本採石場の開発当初の空中写真である。現在は、

(74)

より北側の周辺地域に開発現場が進んでいる。図5はGPSを用いて採石場を測量したときの、測定点(緯距、経距)を示したものである。ちょうど、測定点を上空から見た場合と同様である。図4の空中写真と比較すると、採石場の大まかな周囲と道路およびベンチなど、採石場内の主な起伏部を測量していることがわかる。ただし、急斜面は危険なため、GPS法では測量していない。

図6は、この測量データを用い、採石場を(a)等高線および(b)ワイヤーフレームで表示した結果である。これらの図より等高線図よりワイヤーフレーム図の方が、より採石場の景観を視覚的にとらえることがわかる。ただし、採石場の底部の起伏はある程度示されているが、南および北側の急斜面は、測量データがないため図に表われていない。

3. 2 急斜面に対する地上デジタル写真測量

GPS測量では測量が困難であった南および北側の急斜面を、写真測量によって測量した。図7に今回写真測

量をおこなった(a)南側斜面、(b)北側斜面を示す。図には、それぞれの写真の撮影方位を示した。それぞれの斜面に対し、それぞれ2組以上のステレオ写真を撮影し、写真測量ソフトで斜面の3次元座標を取得した。ここでの撮影条件は、(a)南側斜面では撮影距離110m、カメラ間隔10m、カメラの仰角 12° 、(b)北側斜面では撮影距離130m、カメラ間隔10m、カメラの仰角 12° である。

図8に(a)南側斜面、(b)北側斜面の等高線図を示す。図の座標は、1つの写真のカメラの撮影位置を原点とし、Y軸を撮影方向、X軸を撮影方向と垂直な方向、Z軸を高度としている。図より、南側斜面の地形には、著しく急峻な斜面と頂部が表れており、写真測量に多少の問題が見受けられる。これに対し、北側斜面では、適切な斜面の形状が表われていると考えられる。また測量の結果、南側より北側の斜面の方が規模が大きいことが

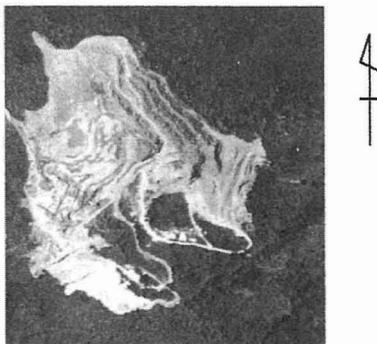


図4 採石場の上空写真(開発初期)

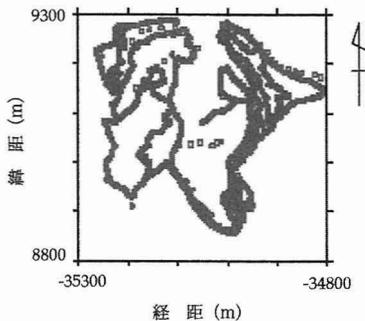
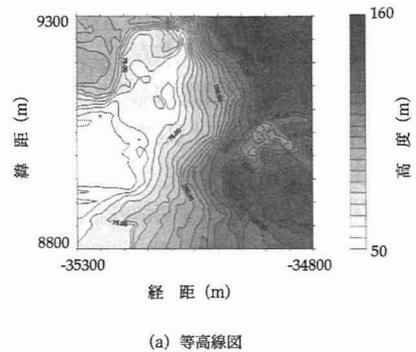
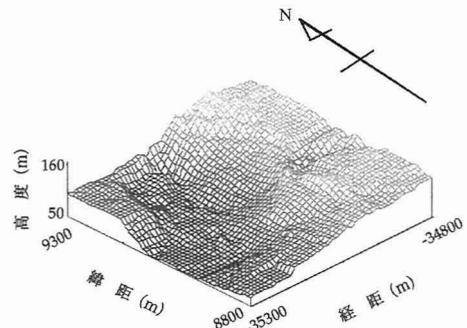


図5 GPSによる測量位置



(a) 等高線図



(b) ワイヤーフレーム図

図6 GPSによる採石場の地形測量結果

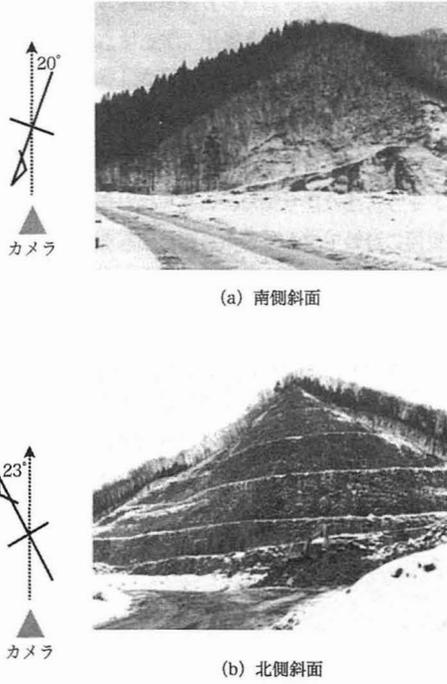


図7 写真測量をおこなった斜面

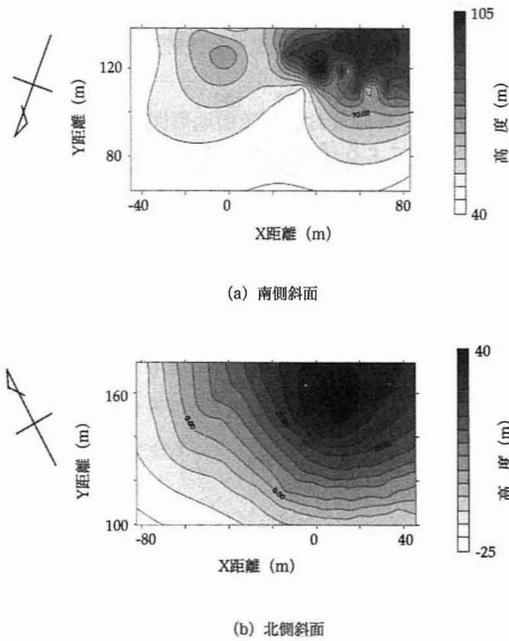


図8 写真測量による斜面の等高線図

わかる。
 3.3 各データの統合
 (1) GPSと写真測量

図9は、GPS測量データに一般座標に変換した写真測量データを加えたデータを(a)等高線、(b)ワイヤーフレームで表示した結果である。図6のGPS測量データのみの場合と比較し、南および北側の急峻な斜面が現われており、実際の採石場の形状をある程度正しく表していることがわかる。ただし、南側斜面の尖った頂部には多少の問題がある。この図は、採石場の写真(図3)と良く対応している。

すなわち、GPS測量と写真測量を組み合わせることで、平坦部と急斜面部を合わせた採石場の正確な形状が、簡

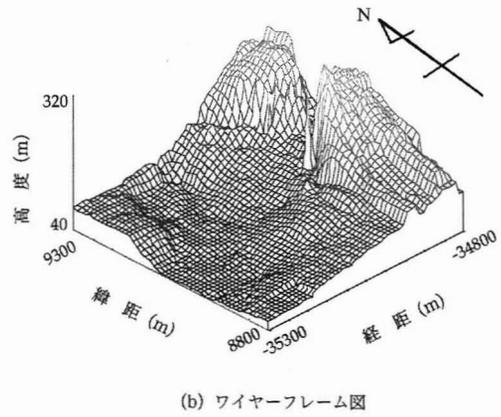
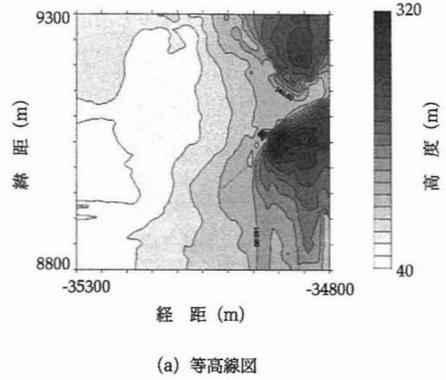


図9 GPSと写真測量とを組合わせた採石場の地形測量結果

(76)

易的に測量できることがわかった。

(2) GPS、写真測量および数値地形図

図10は、図9のデータに周囲の地形データ（数値地形図）を統合した地形図である。ここで、周囲の地形は、緯距、経距とも採石場の2倍の領域を対象とした。この図より、採石場を取り巻く地形がよくわかる。よって、本図のデータを今後の採掘計画および景観予測に有効に用いることが出来ると考えられる。

3. 4 岩盤の強度分布図

図11に本採石場におけるシュミット・ロックハンマの反発値の分布を示す。図中では、色の濃い領域が反発値の高い領域を示している。なお反発値は岩石強度が大きいほど高い値を示す。また、岩盤は反発値40以上で中・硬岩と考えられるので、碎石には、40以上の領域が優良と考えることが出来る。

図より、この採石場では、右下と左中央部に、反発値が低く碎石に不向きな領域があることがわかる。なお、図の上部には川が流れており、この川より下側はすでに開発された領域である。よって、図の右上の領域が優良な碎石の開発領域と考えられる。

よって本図は、開発計画において有効な資料となりうると考えられる。

4. 採石場の開発計画と景観の予測

4. 1 岩盤強度を考慮した採掘計画

図11から特定された優良碎石領域を、図10の採石場周辺の地形データでみると、ちょうど現在の北側斜面の領域である。この領域は、後背の山地まで含めると、鉱量が多く長期的に採掘が可能と考えられる。よって、本採石場では、この優良碎石の領域を今後の開発領域とし、長期的に開発を進めると仮定した。

図10の地形データについて、開発領域の標高データを斜面底部の標高データに置き換えて、開発による将来の地形改変の状態をモデル化した。図12にこの結果を示す。開発領域となった北側斜面は削られて、地形が開けている様子がわかる。本採掘計画では、この

領域が採掘とともに、北東の方向に開けていくことになる。

4. 2 将来の景観予測

上述の採掘計画および地形改変モデルにしたがい、この採石場の景観の予測をおこなった。図13は、国道105号より、さらに遠方から見た、広域の採石場およびその周辺の景観について示している。図はそれぞれ、(a) 開発以前（数値地形図のデータ）、(b) 現在（図10のデータ）、(c) 将来予測の地形である（図12のデータ）。図（b）に比較し図（c）では、開発される北側斜面が大きく国道から見え、景観が大きく変化することが予想される。このため、国道からの景観を考慮した開発を進めるため

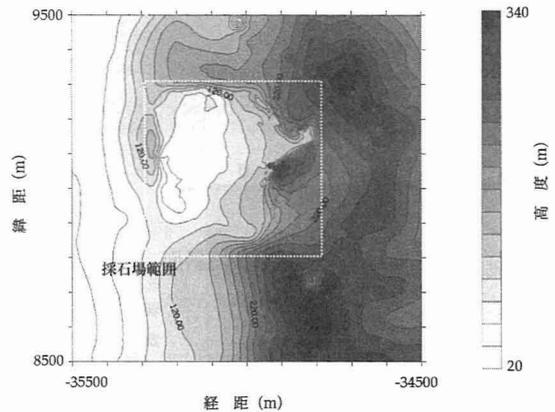


図10 GPS、写真測量および数値地形図との組合わせによる採石場周辺の地形

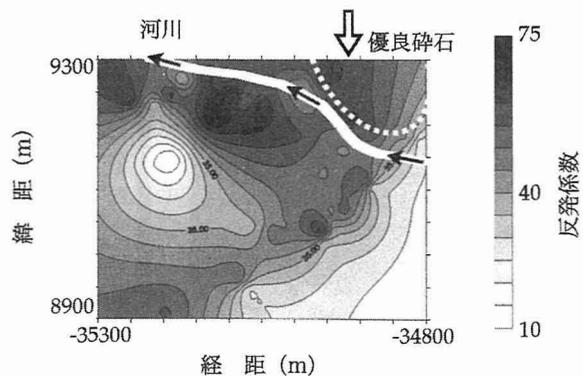


図11 シュミットハンマによる採石場の岩盤強度分布

には、東向きに斜面を広げてはならないことがわかる。したがって、出来るだけ北側に向けて斜面を開発しなければならないことがわかった。

以上のように、GPS や写真測量法を用いて、採石場および周辺の地形データや碎石の品位分布データを簡易的に取得することで、景観の予測をしながら長期採掘計画を立てることが可能となった。

5. おわりに

本研究では、GPS 測位法および地上デジタル写真測量法など簡易測量法によって、採石場の品位分布データおよび地形データを取得し、これらデータを用いて景観を考慮した採掘計画を立てる手法について検討した。

その結果、本法によって、測量の経験の無い学生でも、測定装置とソフトウェアの操作に慣れるだけで、景観を考慮した採掘計画に必要なデータを、ある程度得られることがわかった。

今後は、GPS 測位装置のみを携帯し、採石場の斜面頂部を歩くだけで、採石場すべての地形データを得るような、より単純で簡易的な手法を検討していきたい。

謝 辞

本研究に携わり、熱心に研究に協力していただいた、秋田大学学生加藤貴および坂本一哲の両君に、心より感謝申し上げます。

引 用 文 献

- 1) 中筋章人、小野尚哉、丸山智康 (2005) : 溪流調査におけるレーザスキャナデータの利活用方法、日本応用地質学会平成16年度研究発表会講演論文集、pp. 149-152.
- 2) 村木広和、田中成典、古田均 (2000) : デジカメ活用によるデジタル測量入門、森北出版.
- 3) 飯村友三郎、中根勝見、箱岩英一 (1998) : TS・GPSによる基準点測量、東洋書店、pp. 174-270.

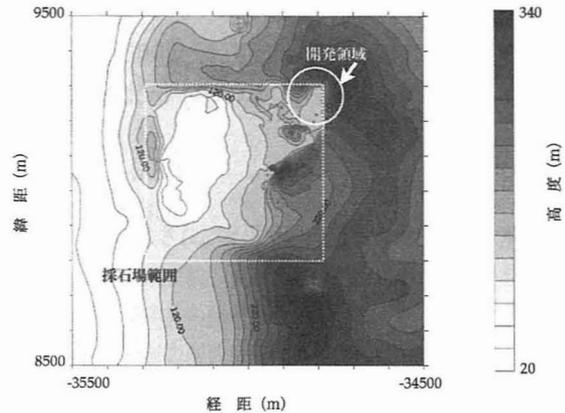


図12 岩盤強度を考慮した採石場の開発による将来の地形改変予測

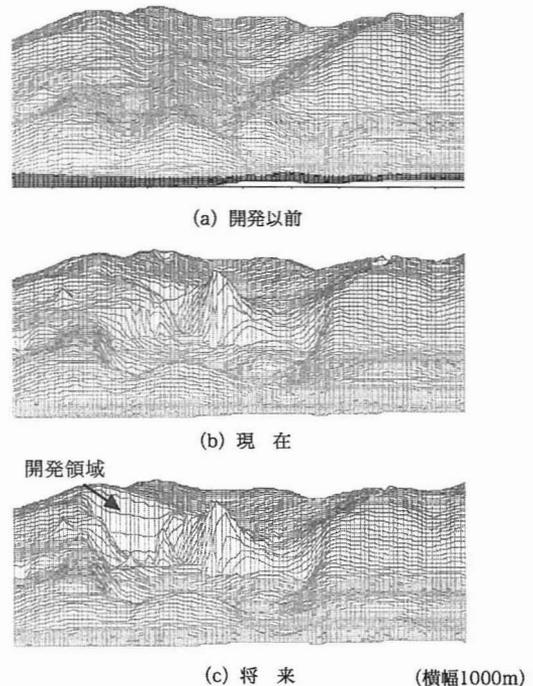


図13 採石場の景観予測

Support System for The Design of Open-pit Mining by The Digital Photographical Survey and
The Global Positioning System

IMAI Tadao, FURUZUMI Mistumasa, KAMOSHIDA Naoto
SUGIMOTO Fumio, YAMAZAKI Takahiro, OTSUKA Naohiro