

小特集 **建設施工にかかわるシミュレーション技術**
 建設技術のシミュレーション技術

採石場の採掘計画及び緑化計画シミュレーション

高柳 秀樹

採石の無駄のない採掘，原価低減そして市場の動きへの迅速な対応のため，正確な現況地形図をもとに綿密な採掘計画をスピーディーに行う必要がある。また，採掘跡地の自然と調和した緑化復元が求められている。こうした状況に対応するため，まず地形の3次元CAD化～採掘計画の中心となる採掘切羽の設計・岩石賦存量計算，盛土造成設計について採石専用CADのシミュレーション機能を使い，工数を如何に低減してスピードアップを図るかについて触れ，次に3次元CADと汎用CGソフトを組合せた3次元景観シミュレーションによる緑化計画について紹介する。
 キーワード：採石，採掘計画，緑化計画，採石CAD，CG，景観シミュレーション

1. まえがき

e-Japan，電子自治体への取組みが急ピッチで進められているが，採石業界では設計のCAD化が徐々に浸透してきており，将来の採石認可申請の電子化も現実味を帯びてきている。一方では，採石需要の低迷や採石製品の価格下落への対応として，採石製造の損益分岐点の引下げが生残りの必要条件となってきた。また，近年環境負荷の少ない岩石採取事業への転換が求められ，緑化復元費用が大きな負担となってきた。

建設機械メーカーにとっても，そうした状況への対応として，より経費がかからず耐久性の高い建設機械の開発にとどまらず，現場に最適な機械と台数・組合せの提案から更に採掘計画も含めた大型建設機械の設備計画の提案をするコンサルタントとしての役割が重要になってきている。

採掘計画は，採石事業の最上流に位置する最も重要なステップで，この計画が碎石の製造原価を大きく左右する。また，採掘跡地の緑化計画は環境への配慮と事業コストのトレードオフ関係から合理的に計画する必要がある。この二つの計画業務にCAD，特に3次元CADとCGの技術を連携させてフル活用することで，コストの低減と環境負荷の軽減の両立が実現できるので，このITシステムの概要と実施事例を紹介する。

2. シミュレーションシステムの概要

従来碎石場では，採掘計画を立案し手書きの計画図面を作成してきたが，ここ2～3年でCAD図面化が急速に進んでいる。ただし，2次元CADが多く，まだ十分にCAD設計のメリットを活用しきれていない。

採石分野におけるプラットフォームとして卓越した拡張性

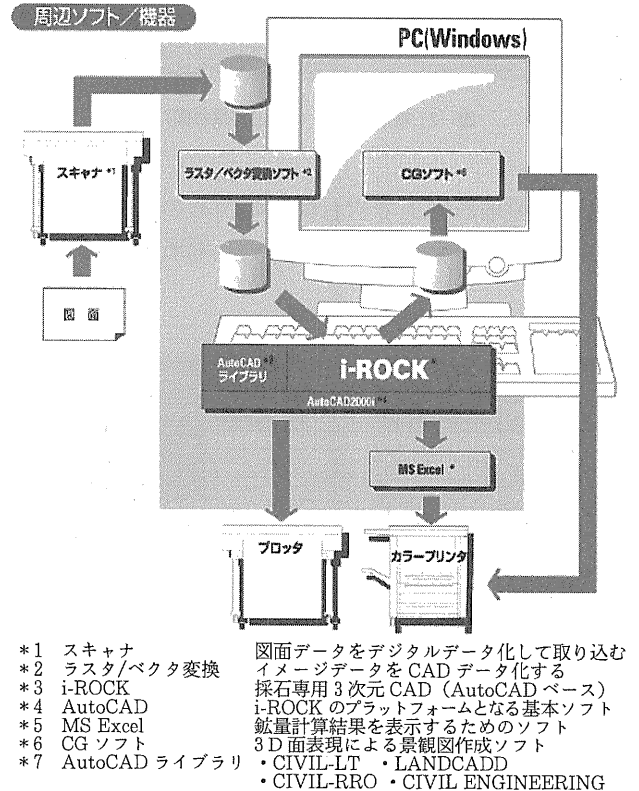


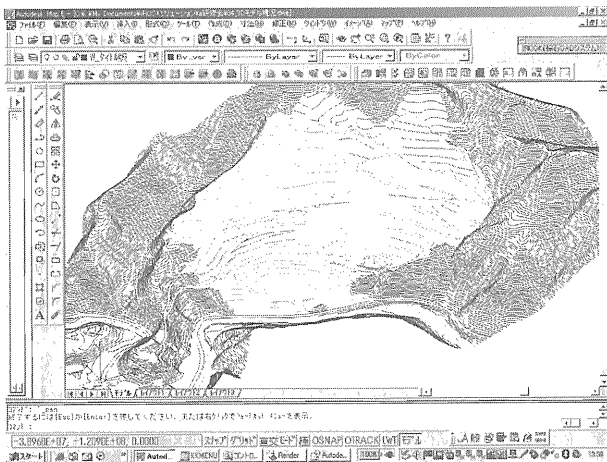
図-1 シミュレーションシステム概要図

緑化計画での景観シミュレーションをするには、3次元のCAD地形図が基本であり、その意味からも3次元CAD化は今後ますます必要である。まず、採石専用の3次元CADシステム及びそれと連携する景観シミュレーションシステムの概要を図一1に示す。

以下に本システムを使った計画とシミュレーションの流れを見ていくこととする。

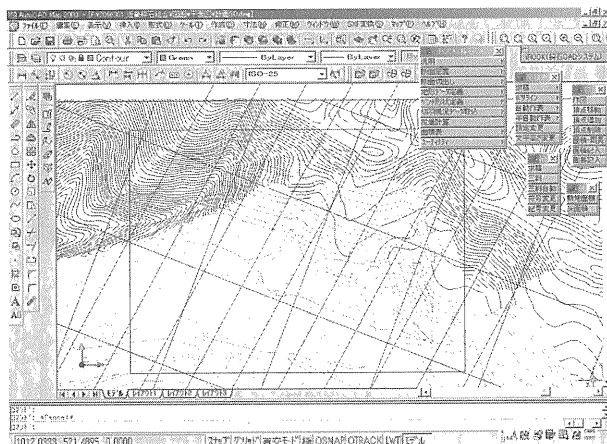
3. 3次元CADによる採掘計画

CADによる設計の処理手順を見る。まず、図一2に示すように現況の地形図をCAD図にする。手書き図面からスキャナで絵（ラスターデータと呼ぶ）としてデジタル化した後、ベクトル変換ソフトにより等高線を3次元化している。



図一2 現況地形図（3次元等高線図）

次に現況地形図上で岩石採取のための採掘場所の候補を選びシミュレーションを行い、場所と形状を決定する。



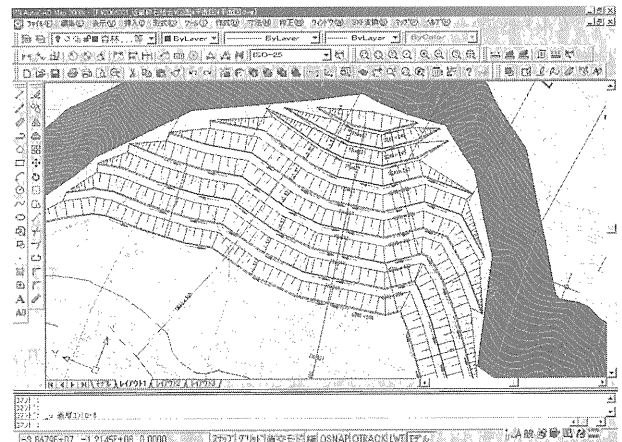
図一3 採掘計画シミュレーション

図一3はシミュレーション実施状況を示す。中央部の法面、犬走りラインが切羽で、図一2の切羽現況の右上部を採掘する計画である。本システムのベースは「AutoCAD 2002」でアプリケーションソフトとして採石専用CAD「iROCK」が載せられている。そのメニューがフローティング形式で図一3右上に見えている。採掘計画に関する自動処理メニューがボタンを押すだけで実行できる。

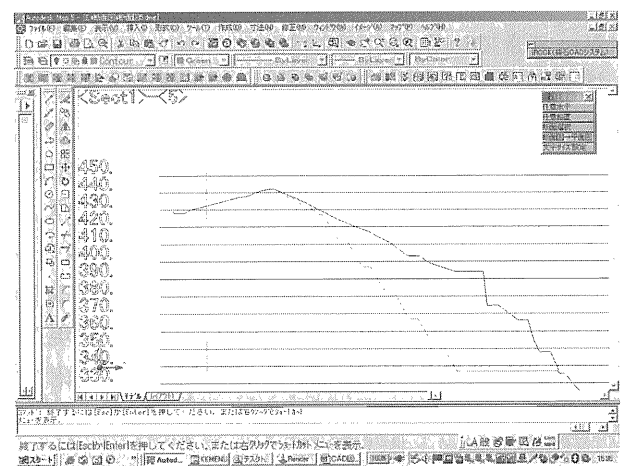
図一4は切羽の規格（法面の傾斜角、高さ、犬走り幅）を設定して、ベンチ形状を設計した例である。

上段3段は表土部分で下部6段が岩盤部のベンチであり、犬走りに沿って開削の排水路が設計されている。このベンチの横断面をシステムで自動的に切出してみたのが図一5である。外側の現況地形断面線の内側に設計切羽の断面が描かれている。従来の手作業での平面図からの高さ読み取り作図に比べ格段に省力化される。

これを3次元の色付け機能で簡単な景観図として見たものが図一6である。平面図ではイメージし難い立体イメージが確認できる。現況地形の中に右上の明色の部分が設計した切羽である。



図一4 切羽計画平面図



図一5 切羽横断面図

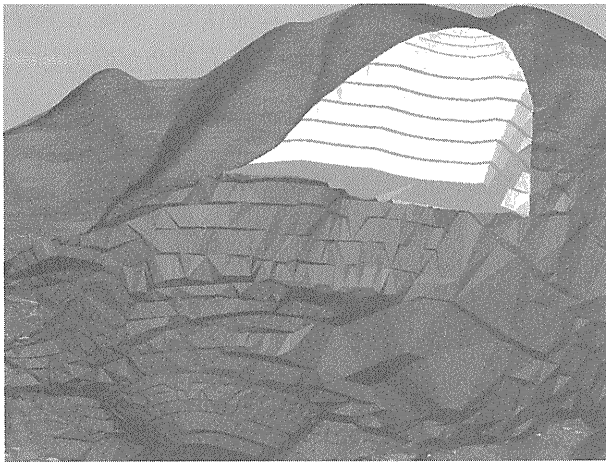


図-6 切羽周辺景観図

また、本切羽設計での岩石採掘量は平均断面法で自動的に計算し Excel 表に出力される（図-7）。計算根拠となる断面積も別シートで参照可能である。

Microsoft Excel - 04_岩石採取量					
ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 挿入(I) 書式(O) ツール(T) データ(Q) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)					
H39					
A	B	C	D	E	F
1					
2		岩石採取量計算書			
3					
4			ピッチ	全体	
5					
6	1		0.00		
7	2		40.00	0	0
8	3		40.00	36,028	0
9	4		40.00	116,893	0
10	5		40.00	165,574	0
11	6		40.00	189,404	0
12	7		40.00	184,073	0
13	8		40.00	38,516	0
14	9		40.00	9,138	0
15	10		40.00	0	0
16					
17		合計		789,627	0
18				(m ³)	
19					
20					

図-7 岩石採取計算表

左側の 1~10 は横断面の番号であり、その右側の列は断面間のピッチ 40 m、その右側の列は各断面間の岩石採取量である。この切羽からは合計約 79 万 m³ 採取できる。図-3~図-7 までの一連のシミュレーション処理を何箇所かの採掘候補区域で行うことにより、必要な種類の岩石採掘量の確保と採掘コストの低減を両立させる採掘計画の策定が可能となる。

4. CG による景観シミュレーション

採石場の開発区域の景観保全や開発跡地の緑化復元、里山化のため、各自治体は採石認可申請時やその後の採石場パトロールなどを通して採石跡地の恒久緑化を求めている。既に景観条例を制定して、法的に緑化の義務付けを実施している自治体も増えている。

しかし緑化復元には多大な投資が必要であり、綿密

な中長期計画に基づき必要最小限の経費で最大の緑化効果を出すことが求められている。

効率的に緑化復元を進めるためには、まず合理的な緑化復元計画を立てなければならない。緑化計画のベースとなるものは、採掘計画図である。採掘計画のベンチ設計に基づく採掘後の現況地形 CAD 図より、CG を使い、以下に説明する方法で緑化計画及び緑化シミュレーションができる。

採掘計画時の景観図の実例を図-8、図-9 に示す。図-8 は碎石場全景が見渡せるよう採石上空に視点を設定して鳥瞰図として見たものである。図-9 は同じ採石場の採掘切羽部分を中心に視点を変えて見た鳥瞰図である。

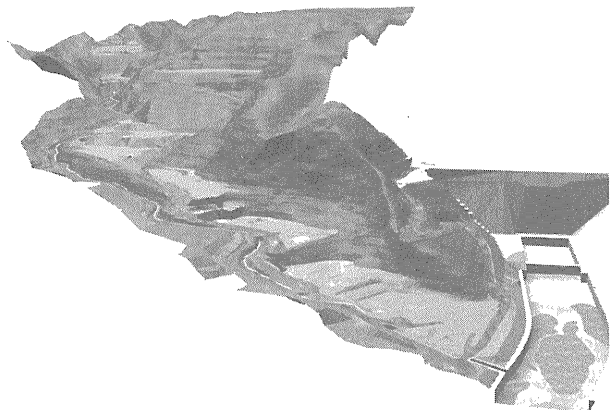


図-8 採掘全域の景観シミュレーション (例 1)



図-9 採掘切羽の景観シミュレーション (例 2)

もう一つの例として海上に浮かぶ島の東端に位置する採石場の景観シミュレーションを見てみよう。真上（図-10）と東側上空（図-11）から見た景観図をそれぞれ示した。場内全体にわたり切羽や調整池などの位置や形状が良くわかる。

このように様々な視点より採石場の景観シミュレーションを行う事ができるので、採石場の開発計画の検



図-10 真上から見た景観図

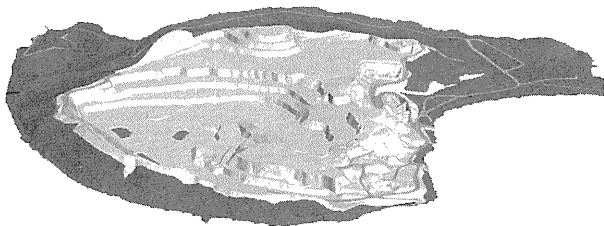


図-11 東側から見た景観図

討やそれがどのように景観に影響するかの評価が容易になる。

また、緑化は現地形に植栽してすぐに効果ができることはなく、樹木の伸びに従って緑が徐々に復元されていくことになる。

グラビヤに緑化評価を行った現場での、緑化のシミュレーションを行った結果を示す。

視点 A から見た緑化進捗予想、B 点及び C 点から視点を変えて見た場合の景観予想が確認できる。従来平面図で説明してきた緑化計画をこうして景観シミュレーションにすることで、地域住民や地方自治体との景観保全の協議に役立てられる。

5. 景観評価の具体的適用例

採石場の採掘時の景観への悪影響を少なくし、採掘跡地の緑化を促進するため、京都府では昭和 46 年に「風致条例」が制定されたが、最近では年度毎に上記のような景観図を風致委員会に提出するようになった。当然緑化シミュレーションに従い、植栽がきちんと進んでいるかどうかは、採石パトロールでチェックされる。

兵庫県でも同様に平成 13 年 10 月より「環境の保全と創造に関する条例」が施行された。自然景観との調和や早期の植生の回復を図るため、県下区域を三つ

(第一種、第二種、第三種)に分けて、造成工や緑化工の規格を定めている。行政と砕石組合が協力して、計画の実施状況のフォローを実施しているのは、京都府と同じである。

現在ではこの他の自治体でも同様の動きが多くなってきており、計画段階で景観シミュレーションによる採掘切羽の露出度合いや緑化による修復度合いの評価をして、実地でフォローする仕組みが必須のものとなってきている。

6. CAD・CG シミュレーション技法の応用

採石業務の最上流である採掘計画や景観シミュレーションは事業計画を立案する際に利用されるが、更に発展的な応用例を二つ挙げる。

(1) 採石認可申請の電子化への対応

採石認可申請時には、申請図書として様々な申請書類や図面を添付するが、現在書類はワープロ化され、図面は CAD 化されてきている。従って、全て電子データで提出することが可能である。ただし、電子申請は受け側である自治体の体制や法整備が必要であり、次の 2 段階のステップで進んで行くことが予想される。

(a) 第一ステップ：CD-ROM での提出

書類・図面の電子データは CD-ROM に入れて、図面類は A3 判程度に縮小コピーして提出する。こうすることで、全体を見る場合は縮小コピーで見ても、詳細を見る場合には電子図面をブラウザで拡大して見ることができる。これまで、10 cm 以上の分厚いファイルで提出していた図書が非常にコンパクトになるので、保管も容易になる。

(b) 第二ステップ：WEB サイトからの申請

CAD 関係の技術進歩により現在では図面と図面管理項目などの文字情報をリンクさせて扱えるようになった (DesignXML 言語) ため、図-12 のように WEB

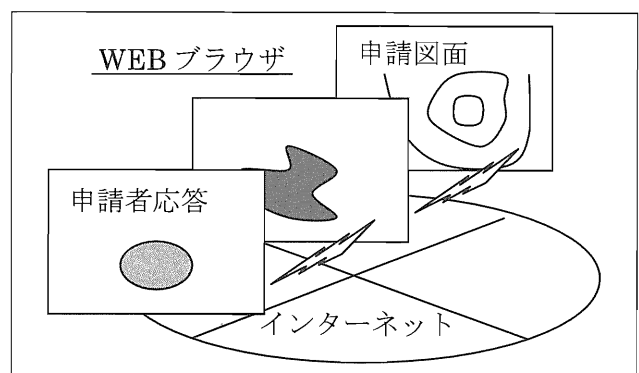


図-12 電子申請と修正対応

サイトから申請図書を電子申請したり、審査側から申請図面の朱書き修正をWEB上で指示することができる。修正指摘と対応がこれまで一々面談にて行われてきたので、審査のスピードアップとなり、申請者・審査側双方の工数が大幅に低減できる。

(2) 重機積算シミュレーションとの統合化

現在、碎石場で使用される掘削ブルドーザ、積み込み機械、運搬機械については、稼働条件に合わせて最適な機種と台数及び組合せをシミュレーションで求めるソフト（OFR：Optimum Fleet Recommendation System）がある。採掘計画シミュレーションの結果から、OFRに必要なデータを出力すれば、それをもとに重機積算シミュレーションが行える。

込み機、運搬機の選定を行う。幾つかの採掘計画案でシミュレートして比較検討して設備投資を最小化することができる（図-14）。

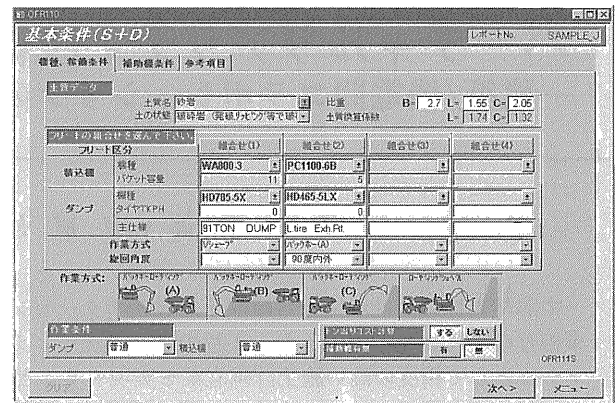


図-14 OFRシミュレーション画面

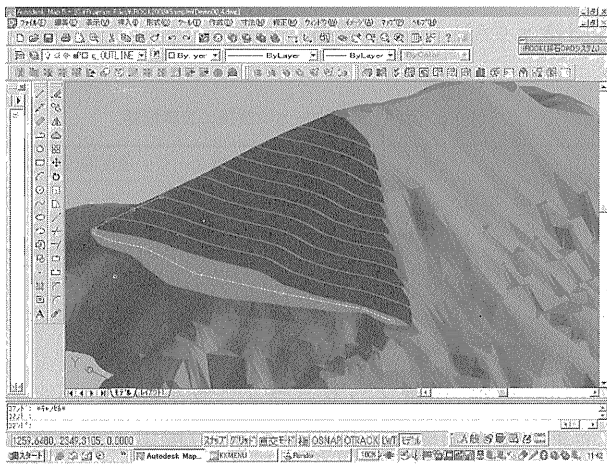


図-13 CAD図で運搬路設定

図-13のように長期採掘計画（3次元のCAD図）上で運搬路を設定して、運搬路データ（運搬走路の区間ごとの距離・勾配）データをシミュレーションソフト（OFR）に転送してコストミニマムの工法及び積

7. おわりに

CADやCGを使った採掘計画や緑化計画シミュレーションにより、例えば採石認可申請業務コストは実績ベースでも3~4割程度低減している。更に、原石採掘の重機積算シミュレーションとも連携して設備を精査すれば、碎石の原価低減に役立つことは明白であり、今後こうしたITツールの徹底した活用が必要と考える。

JCM/A

【筆者紹介】

高柳 秀樹（たかやなぎ ひでき）
 株式会社小松製作所
 建機マーケティング本部
 CS推進部

