

II-8) デジタル画像を用いたトンネル切羽観察記録・3次元地層シミュレーションシステム

三井建設(株) 技術研究所 渡名喜 重
三井建設(株) 技術研究所 高田 知典

1. はじめに

トンネル工事において、掘削による地山の挙動と各支保部材の効果を把握する事は、その安全性と経済性を確保するためにも重要な作業のひとつであると言える。しかしながら、トンネルが線状構造物であるという特殊性のため、その施工位置における地山の特性を計画の段階から正確に把握し、施工に先立って予測を行う事は不可能である。このため、トンネルの設計段階においては、大局的に地山を評価して設計しなければならず、またそれが故に実際の施工中においては、トンネルの切羽の観察や、内空断面の形状の変位を計測し、実際の周辺地山の挙動、支保部材の効果等を正しく把握する事によって、それに基づく設計、施工方法の修正が必要となる。また、施工期間の長い現場や、多数の測点において観察、計測を行う必要のある現場では、これらの記録結果が膨大なデータ量となるため、これらのデータを管理するためにコンピュータによるシステムを利用する必要がある。

一方、デジタル画像を利用した技術は急速に発達し、一般的にも、廉価で高画質のデジタルスチルカメラや、あるいはデジタルビデオも利用されるようになってきている。建設分野においても、今後このようなデジタル画像の利用は、急速に広まっていく事が予想できる。デジタル画像を利用することで、画像データを簡単にパソコンへ取り込む事ができ、またデータベースを活用して画像データの管理が容易になる。また、現場における写真管理等の業務の省力化などが期待される一方で、アプリケーション・ソフトの利用によって、画像データをもとにした形状計測などの解析計算も可能となり、画像データに様々な付加価値を持たせることが考えられる。

筆者らは、既にパソコン画面上で、対象となる画像データの平面上におけるスケッチを行った上で、その線長や面積の計測が可能な「デジタル画像を用いた2次元写真解析システム」を開発している。本論文では、このシステムを山岳トンネルの切羽観察記録に対応したシステムとして改良し、計測したデータをもとにした展開図や縦断面図の作成を可能とし、またトンネルの天端の沈下計測や内空断面の変位を計測する「トンネル工事計測管理システム」と統合する事によって、トンネル周辺地山の地質の総合的に評価するためのシステムを開発したので、その概要を報告する。ただし、本稿では「トンネル工事計測管理システム」についての報告は紙面の都合上、省略する。

2. システムの概要

表-1 使用機器、及びソフトウェア一覧

使用機器	備考
デジタルビデオカメラ	3CCD、40万画素、デジタルズーム×20
静止画キャプチャボード	
パソコン	メモリ 32Mb 以上
ペン入力タブレット	スケッチが作成のための、自由曲線の記入を容易にするため。
カラープリンター	
使用ソフトウェア	
デジタルビデオ画像ビューソフト	テープに記録された画像を静止画としてパソコンに取り込む。
2次元写真解析システム	デジタル画像をもとにしたスケッチの作成、及び計測。
トンネル切羽観察記録ソフト	切羽観察記録作成(MS-Excelを基本とする)。
データベースソフト	観察記録結果、画像、計測結果のデータベース(MS-Excel or Access)
※トンネル工事計測管理システム	トンネル天端の沈下や内空断面の変位計測など(※検索時に関連付け)

(1) 構成

本システムの機器、及びソフトウェアの構成を表-1に示す。

(2) 作業手順

本システムの作業手順を以下に述べる。

(図-1)

- 1) この時、2次元写真解析を実施するために基準点を切羽面に設置する。(実際は、直交ロットを組み合わせた枠を切羽面に設置し撮影する事などが考えられる。)
- 2) トンネル切羽面をデジタルビデオカメラで撮影する(図-2)。
- 3) 現場事務所にビデオカメラを持ち帰りパソコンに接続し、ビューワーソフトによって再生した画像を見ながら、適当な静止画を抽出し画像データとして保存する。
- 4) 2次元写真解析ソフトによって、保存した画像ファイルを開き、射影変換によって解析計算を実施する(図-3)。
- 5) 2次元写真解析ソフトにおいて、画像データ上の切羽面の部分を範囲指定する。予め作成されている半円の形状の図形を画像上に表示させ、その大きさや位置をずらしながら実際の画像上の切羽面と一致するように設定する。
- 6) 画像上で切羽面上における亀裂や層理、節理をなぞる形でスケッチを行う。この時、なぞった線の線長や節理の間隔、亀裂走向角などを計測する事ができる。また、画像上に自由なコメントを記入する事も可能である。スケッチ終了後、各層の属性(岩種や岩石名、形成地質時代など)を、リストの中から選択し指定する。
- 7) 画像データ上で、切羽面の周辺部とスケッチによって描かれた層理面の線が交差する点が、座標値として記録される。また、スケッチした線のデータや、計測結果のデータなどは、切羽の画像データとは別に保存される。
- 8) 画像、及びスケッチしたデータは、切羽面を真正面から見た状況に変換して表示する事ができるので、

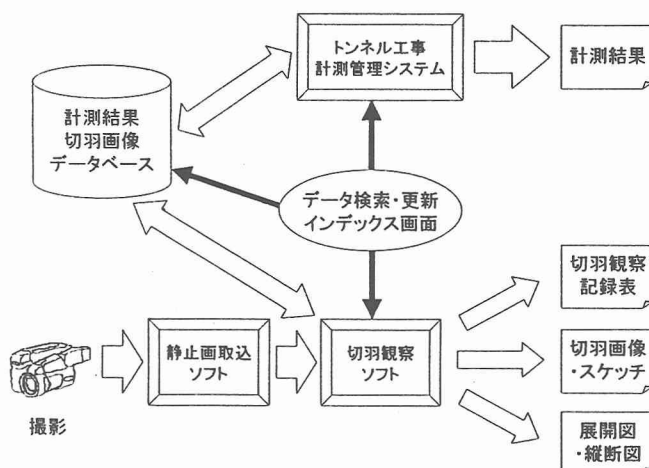


図-1 システムの構成と作業概要

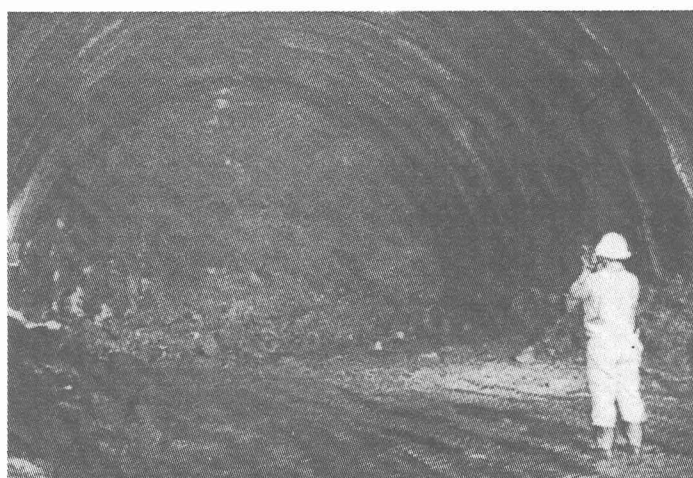


図-2 撮影状況

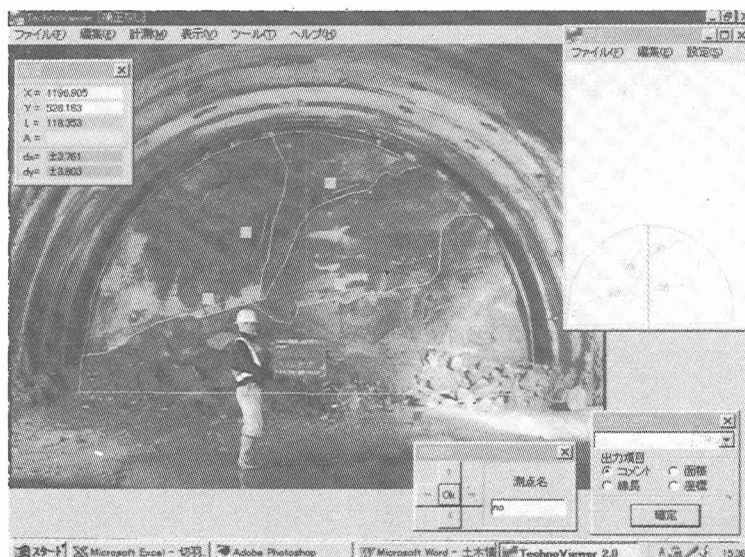


図-3 切羽面のスケッチ状況

これを観察記録に表示させる。

9) 切羽観察記録の各記録項目に関して、ダイアログの項目から選択する形式で状況を記録する(図-4)。

10) 切羽観察記録の各記録項目、及び画像やスケッチのデータはデータベースに随時登録される。

11) データベースの内容は、記録日や距離程で検索する。また、検索のためのインデックスとして、トンネルの縦断面図に切羽観察を行った面が表示されるので、その中から検索する箇所を指定して内容を参照する事ができる。また、その切羽面の天端の沈下計測、及び内空断面の変位計測結果も参照する事ができる(図-5)。

12) データベースに保存されているデータをもとに、展開図、縦断面図を作成し表示する(図-6)。

(3) システムの特徴

以下に、本システムの特徴を述べる。

- ・ 現場事務所に戻った時点で、テープに記録された動画のデータから、最適な画像を選択し利用する事ができる。そのため、撮影の失敗による撮り直しが大幅に減少し、かつ記録される画像は、その状況が最も良く判断できるものを利用する事ができる。
- ・ 画像データをはじめとする、各記録項目はデータベースにより管理されるので、必要なデータの検索を容易に実施する事ができる。
- ・ 画像データを下地にしたスケッチを作成する事ができるので、正確なスケッチの描画ができる上に、そのスケッチ画作成の作業のみで、展開図、縦断面図の作成を行う事ができる。
- ・ 予め、設計図面をもとに、距離程に対応したトンネル天端の高さを設定しておく事で、切羽面のスケッチによって計測された箇所の座標を、天端の高さを基準と

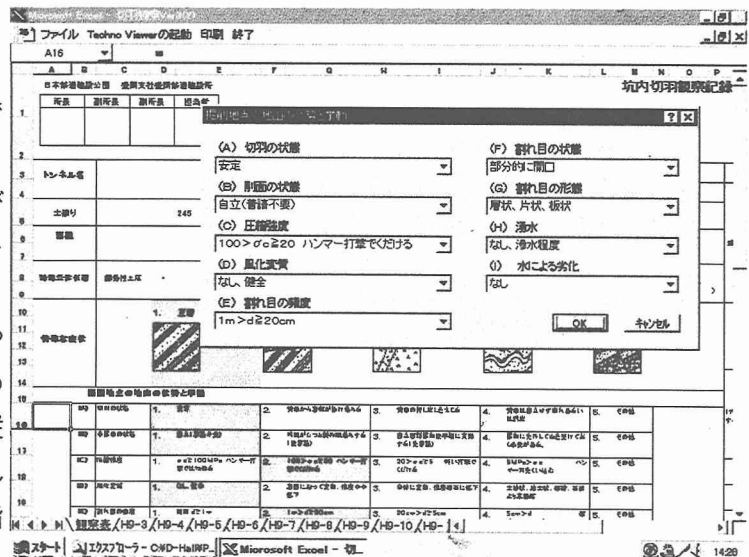


図-4 切羽観察記録表の作成

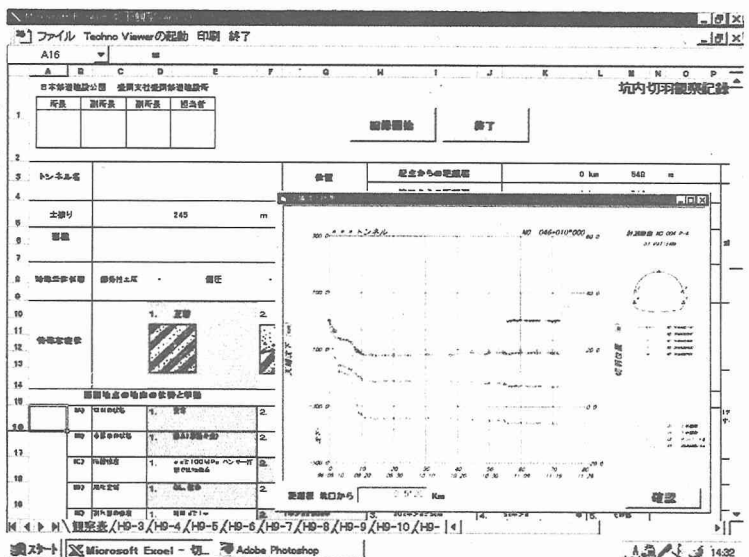


図-5 天端沈下計測結果の参照

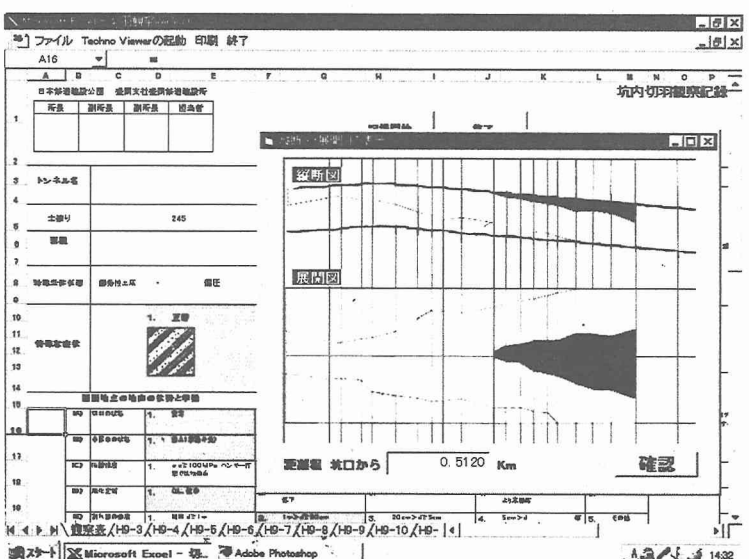


図-6 縦断面図・展開図の表示

した絶対的な3次元座標値として記録する事ができる。

トンネル切羽観察用の2次元の画像解析ソフトを利用する以外は、データベースも含めてMS-Excelを基本に作成されたシステムである（本システムは、データベースの機能を充実させるために、MS-Accessを利用したシステムの2種類がある）。現在では、ほとんどの現場事務所において使用されているソフトウェアなので、導入にかかるコストを大幅に押さえる事ができる。

・トンネル工事計測管理システムと連携したシステムとした事で、切羽の状態を総合的



図-7 現場事務所における作業状況

に評価する事ができる。

4. 適用事例

本システムは、山岳トンネルの現場において、既に導入されている。実際の現場における撮影を行うのは、地質調査等に関して熟知した、特別な技能を有した係員でなくてもかまわない。これまでの切羽観察と同様に、切羽面の撮影を行った後は、スケッチ作成も含めてすべての作業を現場事務所にて実施する（図-7）。作業は、ソフトウェアのダイアログに表示される通りに作業を進めていくだけであり、また作業が終了した時点で、データベースは自動的に更新され、展開図、縦断図も作成される。

また、デジタル画像を利用している事から、切羽面の状況は、緊急を要する場合などネットワークを介して、本支社部門でも随時参照する事ができる。

5. 今後の展開

本システムでは、切羽面上でスケッチされる線のデータが絶対的な3次元座標値として記録されるので、このデータをもとに簡易にCGを作成し、トンネル周辺の地質の状況を立体的に参照する事ができるシステムの開発を進める予定である。また、現場においては、坑道内に遠隔から操作できるビデオカメラを設置し、切羽画像の取得から、観察記録作成等の一連の作業を現場事務所にて一括して実施する事ができるシステムの開発を行う予定である。

一方、建設CALSの研究が進められている中で、統合データベースの利用といった観点から、本システムを、インターネットを活用したネットワークシステムとする事によって、トンネル施工現場において蓄積されるデータを、施工会社の本支店やコンサルタント会社、施主などに対して随時参照が可能とするための開発を進めていく考えである（図-8）。

・参考文献

1) トンネル標準示方書（山岳編）・同解説

（社）土木学会 土木学会トンネル工学委員会

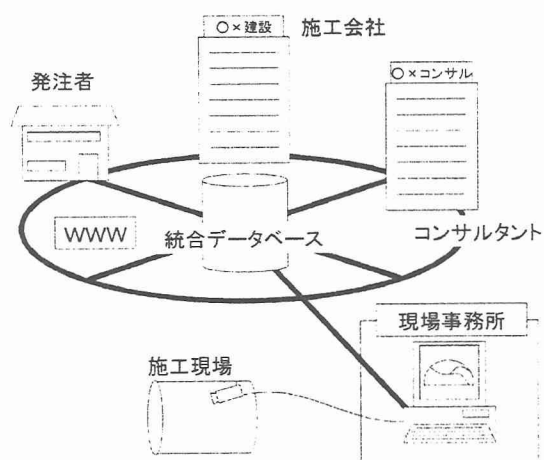


図-8 ネットワークを活用したシステム像