

TBM坑壁画像解析システムの開発と実用化

DEVELOPMENT OF TBM WALL IMAGE PROCESSING SYSTEM AND ITS APPLICATION

篠川俊夫¹⁾・金内昌直²⁾・山本松生³⁾・古川哲男⁴⁾・今藤純朗⁴⁾

Toshio SHINOKAWA, Masanao KANAUCHI, Matsuo YAMAMOTO, Tetsuo FURUKAWA, Junro KONDO

TBM wall image processing system has been developed to take tunnel wall images by ccd cameras during TBM excavation and to analyze the geological structure of the tunnel using the images. The ccd cameras are fixed to the TBM machine, and tunnel wall surface is photographed continuously with the strokes of thrust jacks. Tunnel wall images will be combined and translated in a personal computer, and image maps will be printed out. Then, strike, dip and aperture of discontinuities are calculated by the geological analysis program. By applying this system to TBM excavation, the geological condition of tunnel wall can be grasped visually and the stability of tunnel under the influence of discontinuities can be estimated accurately. This system is applied to TBM pilot tunnel of Hamamatsu Tunnel East, Second Tomei Expressway, and satisfactory results are obtained.

Key Words: TBM, pilot tunnel, tunnel wall, image processing system, ccd camera

1. はじめに

山岳トンネルの施工では、切羽の自立性、地質状況、湧水状況等を観察して地山等級を評価し、地山条件に応じた適切な支保を選定するために切羽観察が日常業務として行なわれている。切羽観察では、切羽写真の撮影、切羽スケッチの作成および観察項目のチェックなどが行なわれる。

TBM（トンネルボーリングマシン）による施工でも本来切羽観察が必要となるが、切羽面がTBMのカッターヘッドで覆われているため、切羽の直接的な観察に基づく地山評価を常時実施するのが極めて困難な状況にある。また、TBMマシン通過直後の坑壁で地山観察が行われているものの、坑壁が現れる位置においてもマシンの機体設備があり、しかもTBMの施工速度が速いため、連続的な坑壁の観察、写真撮影やスケッチ作成が難しい状況にある。

そこで、TBMによるトンネル掘削時にトンネル坑壁をCCDカメラで撮影して、地質構造の解析を行うTBM坑壁画像解析システムを開発した。これにより、TBM掘削時において坑壁の地質状況を視覚的に把握できるとともに、不連続面の影響によるトンネルの安定性を的確に評価できるようになる。

本システムは、第二東名高速道路浜松トンネル東工事のTBM先進導坑に試験的に導入して良好な結果が得られており、現在も引き続き撮影を行っている。

1) 正会員 佐藤工業(株)土木本部技術部門

2) (株)レアックス 企画開発部

3) フェロー会員 佐藤工業(株)土木本部技術部門

4) 佐藤・住友・株木 JV 浜松トンネル東作業所

2. 従来の方法との比較

TBMの坑壁を撮影する方法として現在適用あるいは検討されている方法には以下のようなものがある。

- ① TBMマシン後方に複数のデジタルカメラを設置して一掘進毎に坑壁の状況を複数枚の画像で撮影する¹⁾。
 - ② ラインセンサーカメラを取付けた円形アクチュエータを設置し、一掘進毎に円形アクチュエータを回転させてラインセンサーカメラで円周方向に連続した画像を撮影する²⁾。
- しかしながら、上記のような方法では、一掘進毎に施工サイクルを止めて画像を撮影しなければならないとともに、撮影した画像データとトンネル掘進位置との関係を関連付けておかなければならない。また、①では円周方向および縦断方向に撮影した複数枚の画像を正確に合成することかなりの労力を必要とする。②では坑壁をカメラで撮影するために円形アクチュエータを別途TBMに設置しなければならない。

一方、今回開発したTBM坑壁画像解析システムは、CCDカメラをTBMマシンに固定して設置し、スラストジャッキの推進に連動してTBMルーフ直後に現われる坑壁を連続的に撮影するものである。撮影された坑壁の画像は、パソコン上で合成・変換され、展開図として出力されるとともに、地質解析プログラムにより不連続面の走向・傾斜や幅などを求めることができる。

3. システムの概要

システムの概略を図-1に示す。今回、天端用1台および左右側壁用各1台の計3台のCCDカメラをルーフ直後のマシン本体に設置した。切羽からカメラまでの距離は約5mである。CCDカメラ本体を写真-1に、設置状況を写真-2～4に示す。カメラには防振、防水対策が施されている。カメラの撮影範囲は約100°である。設置場所の関係から3台のカメラでは上半部の一部に写らない範囲があるが、不連続面などの地質構造の解析に支障はない。また、運転室にTBMマシンの掘進位置やスラストジャッキの推進ストロークなどのマシンデータおよび画像データを取込むためのパソコンを、管理室に取込んだ画像データを解析す

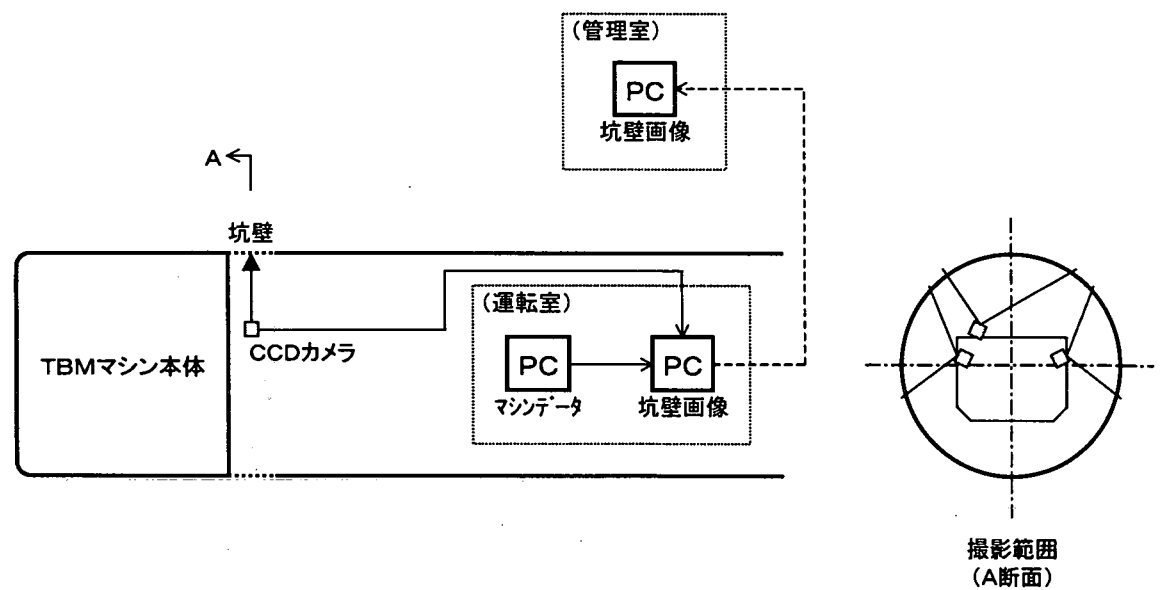


図-1 システム概略図

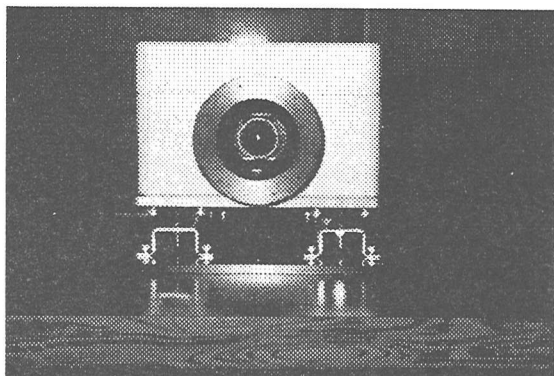


写真-1 CCDカメラ本体

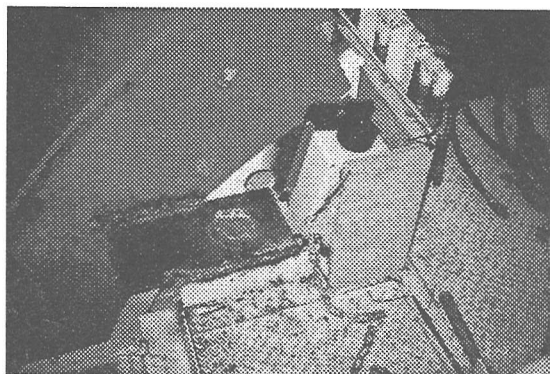


写真-2 天端用カメラ



写真-3 左側壁用カメラ

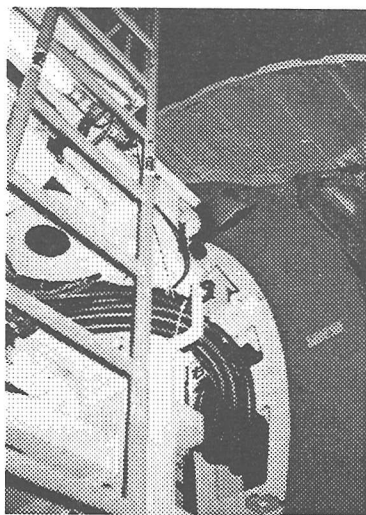


写真-4 右側壁用カメラ

るためのパソコンを置いている。

本システムは以下のようなフローで実行される（図-2参照）。

- ①TBM掘進に連動して4mm 毎にTBMルーフ直後に現われる坑壁をマシン本体に設置したCCDカメラにより自動的かつ連続的に撮影する。
- ②撮影されたものの中から予め設定した位置（4mm分）の画像を取込む。
- ③取込んだ画像をパソコン上で合成し、地質解析プログラム用に変換する。
- ④トンネル坑壁の展開図を作成する。
- ⑤トンネル坑壁の展開図から地質構造を解析して不連続面の走向・傾斜や幅などを求める。

なお、撮影ピッチおよび画像取込み幅（今回：4mm）は任意に設定できる。また、④展開図の作成および⑤地質構造の解析にはBIPシステム³⁾を採用する。

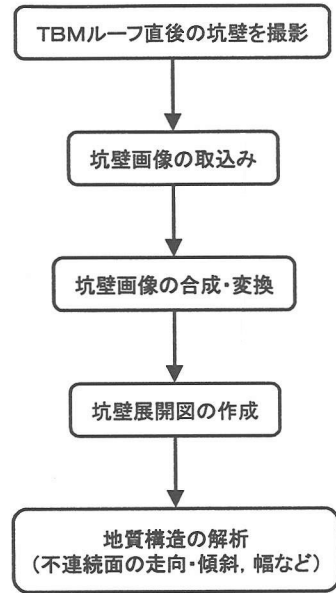
4. システムの特徴

実施工のTBM掘削時に坑壁を連続的に撮影するということは、施工サイクルを妨げる、特別な労力や装

置を必要とするなどの理由から従来行われていなかった。しかしながら、本システムでは、最初にプログラムを起動させるだけで、あとは人間の手を煩わせることなく坑壁の撮影および画像データの取込みがすべて自動的に行われる。

本システムの特徴をまとめると以下になる。

- ① TBM掘進中に、施工サイクルを妨げることなく、掘進に連動して自動的かつ連続的に画像を撮影することができる。
- ② TBMマシン本体には撮影装置以外に特別な装置を設置する必要がない。
- ③ 撮影された坑壁の画像は展開図として出力できる。
- ④ 坑壁の展開図から不連続面の走向・傾斜や幅などを求めることができる。
- ⑤ 本システムで求められた不連続面データから、キープロック解析システム⁴⁾により、崩落の危険性がある岩塊を抽出し支保の対策を立てることができる。



図－２ システムフロー図

５．TBM先進導坑への適用事例

本システムを第二東名高速道路浜松トンネル東工事のTBM先進導坑に試験的に導入した。

本工事は、先進導坑 3,114mをφ5.0mのオープンタイプのTBMによる全断面工法で施工するものである。また、ズリ搬出は連続ベルトコンベア方式を採用している。

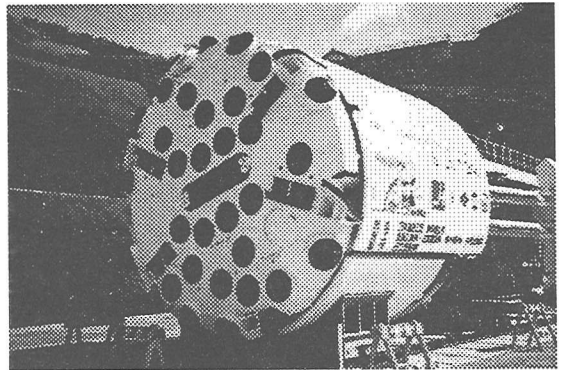
トンネルの地質は、中生代の秩父帯から構成され、チャート、粘板岩、輝緑凝灰岩を主体とし、石灰岩、千枚岩、変輝緑岩、変斑れい岩等が分布している。

TBMは本年４月より掘削を開始し、８月上旬までに約 1,370mを掘削しており、来年３月の掘削完了を予定している。

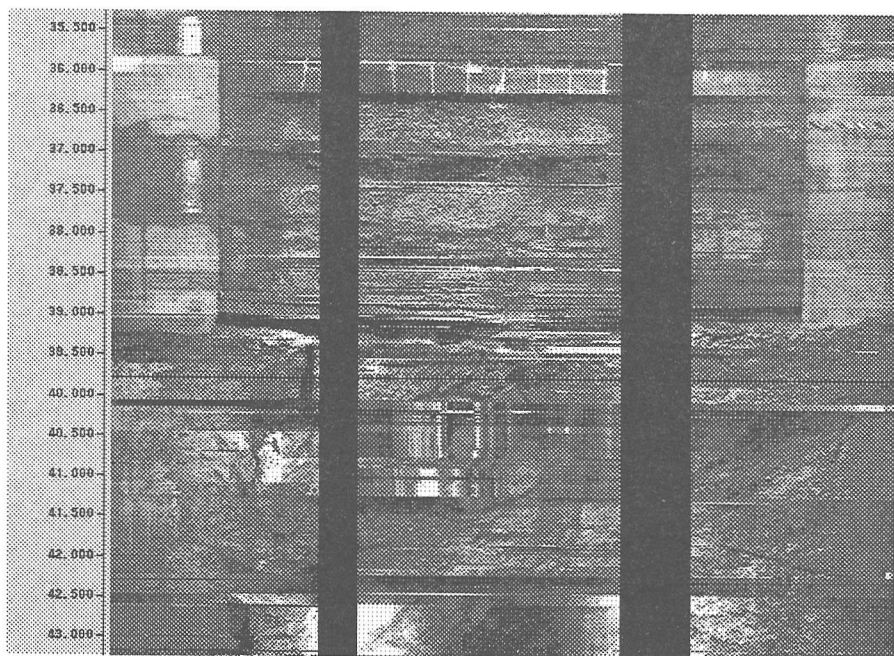
本システムによる坑壁の撮影はTBM発進時点から行っており、掘削完了まで行う予定である。撮影した画像データの一例を図－３に示す。図－３はTBM発進位置付近の画像であり、TBM発進のための反力壁が上半分の左右に明瞭に撮影されていることがわかる。BIPシステムで解析し不連続面を抽出した画像データの一例を図－４に示す。BIPシステムでは、画像データに現れている不連続面上の任意の３点をクリックして図－４の白線のようにサインカーブ（sin 関数）で近似することにより、不連続面の走向・傾斜を簡単に求めることができる。

本システムを浜松トンネル東工事に適用したところ、以下のような成果・知見が得られた。

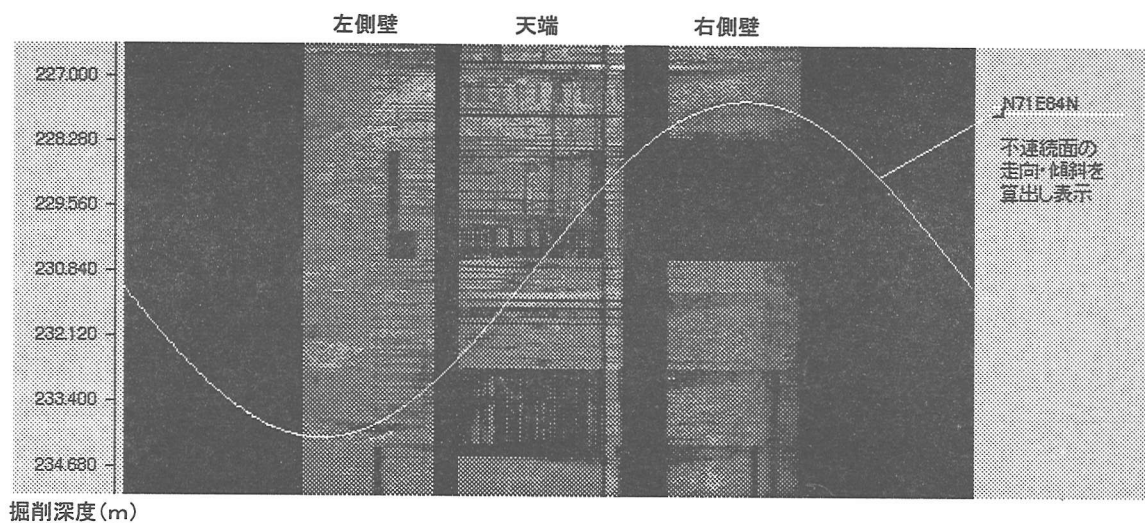
- ① TBMの掘進に合わせて施工を妨げることなく坑壁の画像を連続的に撮影することができた。
- ② TBM施工時において坑壁の地質状況を視覚的に把握できた。



写真－５ 浜松トンネル東工事TBM



図－３ 浜松トンネル坑壁撮影画像



図－４ 浜松トンネル坑壁解析画像

今後は解析した画像データから不連続面を抽出してキープロック解析を行い、不連続面の影響による本坑拡幅時のトンネルの安定性を的確に評価することにより、安全性および経済性の向上を図った合理的な本坑拡幅工事を行っていきたいと考えている。

6. おわりに

TBMを先進導坑とする大断面トンネルにおいては、TBMで掘削された先進導坑を大規模な水平ボーリ

ング孔として捉えると、本システムの解析結果はボーリング孔で撮影したポアホールスキャナーのデータそのものとなる。これにより、本坑拡張に先立ち事前に地質状況を的確に把握することができ、安全性および経済性の向上を図った合理的な施工が可能になる。したがって、本システムは、特に、第二東名・名神高速道路などの大断面トンネルの先進導坑にTBMを採用する場合に非常に有効な成果を発揮するものと考えられる。

今後の課題としては、地山の崩落や吹付けコンクリートのはね返りからのCCDカメラの防護方法；最適な照明方法や簡単なメンテナンス方法などの検討があげられる。

参考文献

- 1) 高速道路技術センター：第二東名高速道路のトンネル支保構造等に関する評価検討報告書，pp. 59-63，1997
- 2) 稲生道裕，山本拓治，青木謙治：トンネル壁面地質観察システムの開発，土木学会第53回年次学術講演会（CS），pp. 302-303，1998
- 3) 亀和田俊一，岡野吾一：孔壁展開画像記録解析装置（BIPシステム）とその応用，土木学会誌，Vol. 78，No. 2，pp. 10-12，1993
- 4) 篠川俊夫，須藤芳雄：パソコンによるキープロック解析システムの開発，土木学会第53回年次学術講演会（Ⅲ），pp. 436-437，1998