

逆解析結果を用いた予測解析によるトンネル工事の現場管理システム

(株) 竹中土木 ○正員 橋場 博史 山田 和男
竹中技術研究所 正員 下河内隆文 正員 浅井 勝稔

1. まえがき

NATM工法によるトンネル工事では、施工中に地山の挙動を計測管理することで設計・施工の妥当性を評価し、その結果を当初設計および次段階の施工の中に反映するという情報化施工が特徴となっている。しかし実際に現場で行う計測管理は計測時点でのトンネルの安全性の評価に主眼がおかれ、次段階の施工への反映は十分に行われていないと考える。その大きな理由は、計測データを反映した次段階の予測解析を作業所で手軽に行える現場計測管理システムが少ないためである。桜井らは上半掘削時点における内空変位の計測値を用いて逆解析（DBAP）を行い、直接ひずみ評価法で地山の安定性を評価する手法を提案している。

今回著者らは、この手法に加えて逆解析によって得られた地山応力と地山定数を用いて、リアルタイムに次の施工過程をFEMで予測解析する一連のシステムを構築した。このシステムは、日常の計測データの処理から逆解析、次段階の施工の予測解析までを現場に設置したパソコンで行うことができる。

本報告では、計測管理システムの概要と道路トンネルで試験的に適用した事例について述べる。

2. 計測管理システムの概要

図-1は、本システムをベンチカット工法に適用した計測管理システムフロー図であり、この計測管理システムにより通常現場で行うA、B計測の結果を次段階施工（下半掘削）の安全性評価に有効に活用できると共に、地山の安全確保のための対策工の検討等作業所でパソコンを利用して行うことが可能である。

以下に計測管理システムフローについて説明する。

- ① 上半掘削時点で逆解析を行って地山のひずみ分布を求め、地山の限界ひずみと比較することによって上半掘削時点の地山の安定性を評価する。
- ② 逆解析結果から得られた上半掘削後の地山応力と地山定数をFEM解析プログラムにファイルとして受け渡し、リアルタイムに下半掘削時点の予測解析を行って地山のひずみ分布を求め、①と同様に下半掘削時点の地山の安定性を評価する。

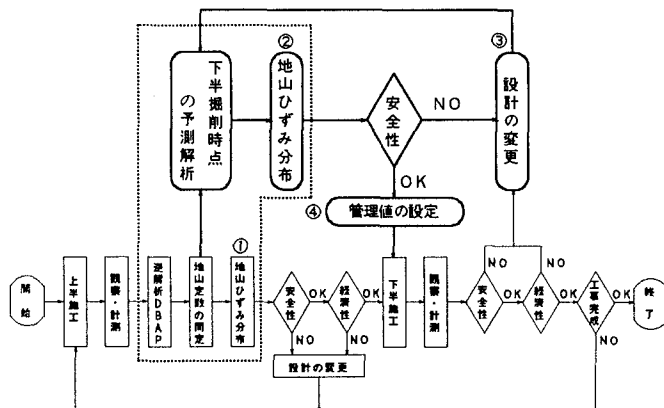


図-1 ベンチカッタ工法の計測管理システムフロー図

る場合には次の様な対策工を計画し、図-1 ベンチカット工法の計測管理システムを用いて、掘削進行に伴う地質・地盤の性状の予測解析で安全性を評価する。(予測解析により試行錯誤で対策工の検討を行う)

- ・インバートの施工またはインバート厚の強化。(インバート要素の追加と要素の剛性を高める)
- ・ロックボルトの増打ち。(覆工要素の剛性を高める)
- ・一次覆工厚の強化。(覆工要素の剛性を高める)

- ④下半掘削においては、予測解析で推定される計測測線の変位量を管理値として施工管理する。

なお、①の上半掘削時点で安全性が損なわれている場合、逆解析で得られたその時点の地山応力と地山定数を用いて③と同様の対策工を計画し、予測解析でその妥当性の評価を行うことができる。さらに未施工区間の掘削においては、隣接する計測断面の逆解析結果を基に地山条件の違いを考慮して地山定数を推定して予測解析を行い、支保仕様の適正評価を行うことも可能である。

同様に、大規模地下空間等における多段ベンチ掘削施工に対しても図-1の計測管理システムフローで、各ベンチ毎の掘削時点での逆解析による地山の安定性評価と次段階のベンチ掘削での地山の挙動の予測解析および計測管理を逐次行うことができる。

3. 適用事例

1) 対象トンネルの概要

- ①用 途：2車線道路トンネル；②掘削延長：862m
- ③断面積：65.4 m²；④地 質：頁岩、砂岩、砂岩頁岩互層

2) システム適用断面の概要

今回システムを適用した断面の土被り厚は36mであり、地山の風化が進行しており地山変位の発生する危険性があった。

図-2に当断面の支保仕様と計測位置を示す。

3) 計測管理の結果

図-3に④逆解析による上半掘削時点の地山の最大主ひずみと⑤上半の逆解析結果を用いた下半掘削時点の予測解析による地山の最大主ひずみ分布を示す。④では支保工右下端部で、地山の限界ひずみ（ $\varepsilon_c = 0.30\%$ ：岩石の一軸圧縮強度より設定）を越える部分が現れたが、微小範囲であり地山観察からも地山は安定しているので対策工は不必要と判断した。⑤では限界ひずみを越える部分が支保工の左上部と右中間部に現れたが（ $\varepsilon_{\max} = 0.40\%$ ）、分布状態が局所的であり地山の安定上問題がないと判断し、前述2-③で述べた対策工の計画は行わなかった。下半施工では予測解析で推定されたC測線変位の増加量（5.60mm）を管理値として施工を管理した。図-4にC測線の変位量として④下半掘削時点の予測解析値、⑥実測値、⑦FEMの事前解析値と切羽距離との関係を、また表-1に⑥、⑦、⑧の下半掘削時点でのC測線変位の増加量を示す。この結果、下半掘削によるC測線変位の増加量は3.30mmであり問題なく施工を完了した。なお、事前解析値は実測値と大きく異なっており、実施工の管理には不十分なものであることがわかる。

4. おわりに

本システムにより、現場の計測管理はより有意義なものとなる。今後、事例の蓄積と事例を通じて対策工のモデル化等の研究を進め、現場計測管理システムの信頼性を一層向上させる予定である。

最後に際し、貴重なご助言を賜りました神戸大学桜井春輔教授に心から感謝致します。

【参考文献】

- 1) 桜井春輔：トンネル工事における変位計測結果の評価法，土木学会論文報告集，第317号，1982.1
- 2) 桜井春輔：NATMにおける現場計測と管理基準値，土と基礎，1986.2

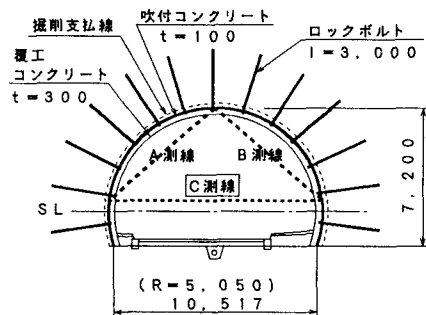


図-2 支保仕様と計測位置

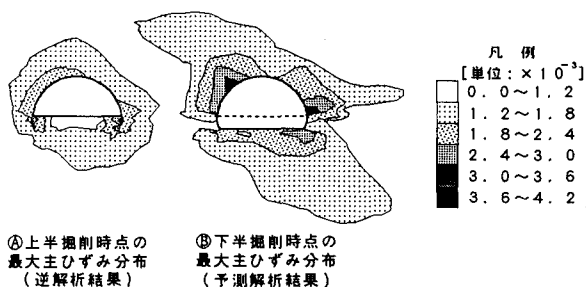


図-3 上半・下半掘削時点における最大主ひずみ分布

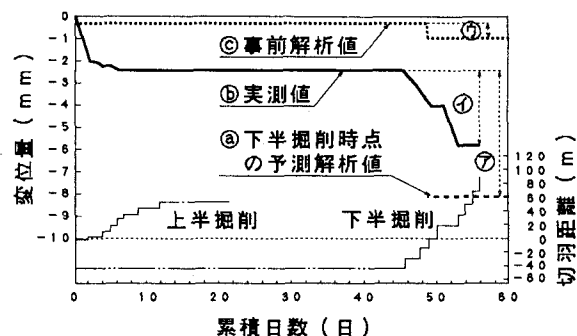


図-4 C測線の変位量と切羽距離の関係

表-1 下半掘削によるC測線変位の増加量

⑦予測解析値（管理値）	5.60mm
⑥実測値	3.30mm
⑧FEMの事前解析値	0.75mm