

山岳トンネルの変位予測システム『4D-Super NATM』を開発 —NATM工法の掘削を4次元で計測管理—

戸田建設(株) (社長：今井 雅則) は、山岳トンネルNATM工法における計測管理手法として、変位を3次元で管理する手法に時間的概念を加え、4次元で管理するシステム『4D-Super NATM』を開発し、当社施工中のトンネル工事で適用性の確認を行いました。

本システムは初期段階の3次元の実測変位分布から、自動で最終的な変位収束値を予測し、3次元分布としての「見える化」にまで進化させた変位予測システムです。

NATM工法では、掘削により周辺地山の応力が解放されるため壁面の変位が発生します。一般的には切羽進行や時間経過に伴い応力が再配分され、変位量はある値に収束していきます。しかし、支保工の持つ変形を抑える力が小さい場合には、変位量が収束せず増大していき、周辺地山やトンネル支保工の破壊に至る場合があります。

このため、掘削の初期段階において、その後の変位量の変化を予測し、支保工の規格等を変更することで、安定した支保構造にすることが重要となります (図-1 参照)。

一方、トンネルは3次元のチューブ構造であるため、変形挙動はトンネル断面方向の2次元管理のみでなく、トンネル軸方向も考慮した3次元で管理する方が合理的です。さらに、地形や地質はトンネル軸方向にも変化していくため、軸方向の断片的な計測のみでは、局所的な変形を見逃してしまう恐れがあります。

このため、最近では3Dレーザスキャナにより、トンネル全壁面の変位量を3次元で管理する手法が研究されています (図-2 参照)。

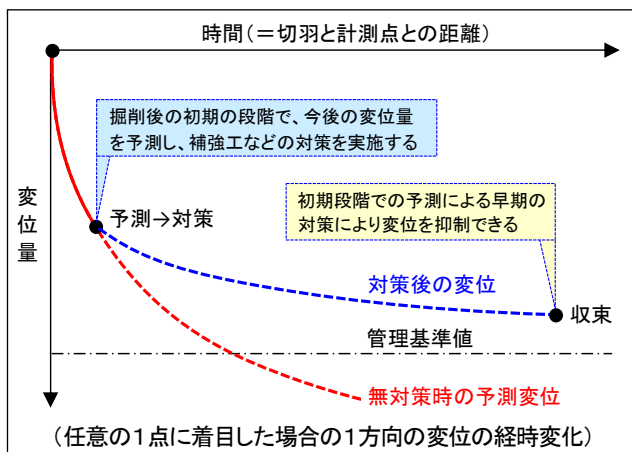


図-1 トンネル壁面の変位状況

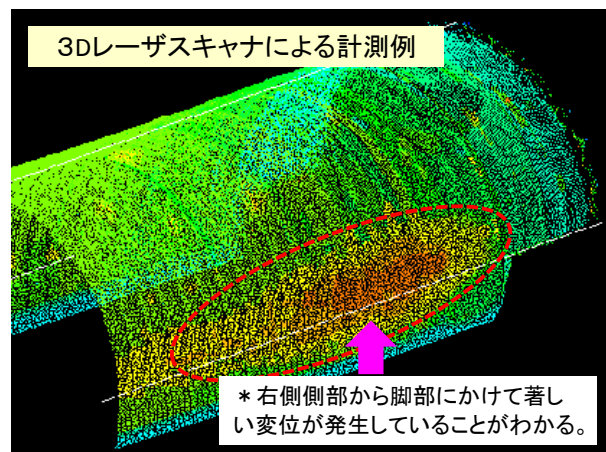


図-2 トンネル壁面の3次元変位

今回開発した『4D-Super NATM』は、3Dレーザスキャナによる3次元データと、変形量を予測できる3次元FEM解析との両者を融合させた4次元変位予測システムです。

本システムを適用すれば、初期段階で測定した3次元データを解析することで、現時点の変位量や変形モードだけでなく、任意時間後の変位量・変形モード等を3次元で可視化できます。これにより、補強対策や支保工の変更等の要否、対策の規模、対策の区間を合理的に判断できます。

【計測管理の手順】

- ① トンネルの線形・断面・支保パターン・地形等の各種の3次元情報を『4D-Super NATM』専用ソフトに入力。
- ② トンネル掘削を開始し、切羽や先進ボーリングコア等から地山の諸物性値とその変化予測情報を入力し、位置情報と共に専用ソフトに入力。
- ③ 初期値および一定の時間毎（概ね1回/日）の壁面位置を3Dレーザスキャナで測定し専用ソフトに入力後、自動で統計的データ処理を実施。
- ④ 変位予測を行いたい範囲および変位予測したい時間を指定し、自動で変位予測を実施。必要に応じて、変形モード図等を3次元可視画像として出力。
- ⑤ 変位の予測結果と事前に設定した管理基準値を比較することで、対策の要否・規模・範囲を判定。

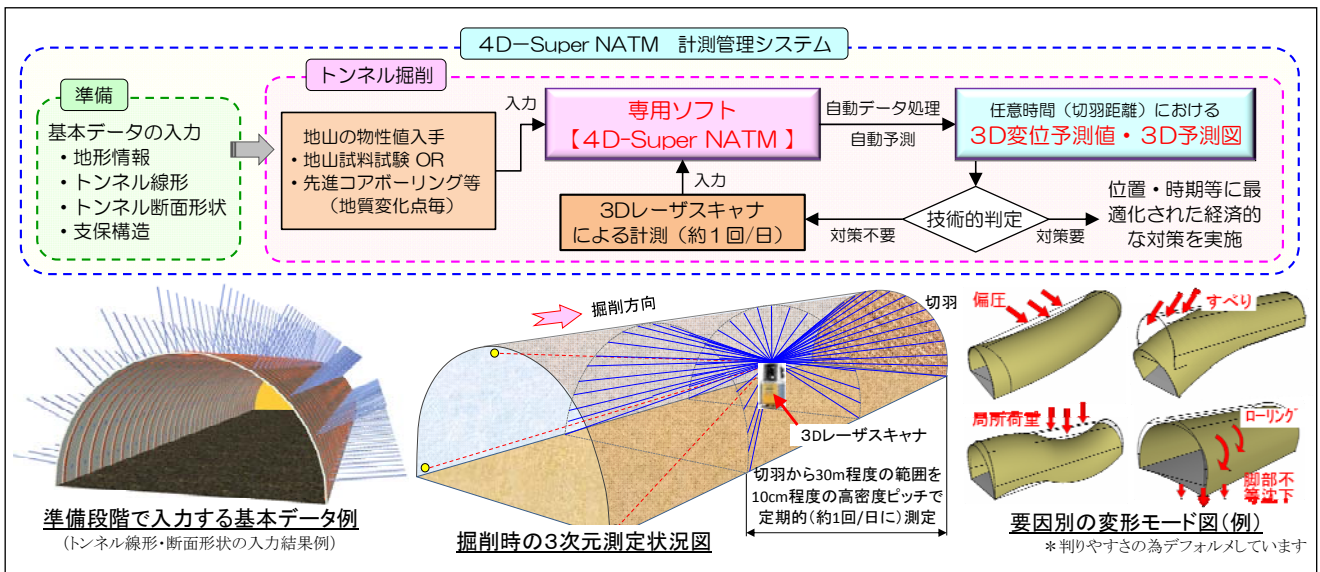


図-3 4D-Super NATMによる4次元変位予測の流れ

【従来の計測管理との相違点・優位点】

- 従来の20m毎に5測点程度の計測ではなく、数十万個の点群データを統計的に処理した面的な管理のため、チューブ構造全体の挙動を把握でき、偏圧による変形、すべりによる変形、脚部の不等沈下等を3次元で把握できます。これにより、補強工の規模・範囲を必要最小限に抑えることができ、経済的な対策を行うことができます。
- 従来の現場技術者の経験則や煩雑な統計処理等による最終変位量の予測ではなく、地山の諸物性値を考慮した上で、計測初期段階のデータから専用ソフトにより最終変位量を自動予測するため、迅速な補強工等の判断や切羽へのフィードバックができます。これにより、長期的に安定したトンネルを速やかに構築することができます。

【今後の展開】

- 今後、当社にて掘削を開始するトンネル工事に本格的に運用し、専用ソフトの操作性の向上や変位の予測精度の向上を図っていきます。
- 本システムは3次元データに時間的概念を加えたシステムであり、近年急速に開発が進んでいるCIM(Construction Information Modeling)との統合を念頭に、今後は属性データ(切羽進行記録・切羽写真・支保構造の品質管理データ etc)の取り込みを行い、全般的な施工管理と供用後の維持管理資料のツールとして発展させていきます。