

## 山岳トンネル切羽情報管理システムの開発

渡邊 伸弘\* 武内 秀木\*  
菊地 正俊\*\* 三浦 忠\*\*

### 要 旨

山岳トンネル切羽情報管理システム(以下、本システムと記述する)は、1998～99年度の研究開発課題として、山岳トンネル工事現場における計測管理業務の省力化および関連部署における施工支援業務の効率化を目的に開発を進められてきた。本システムは、社内グループウェアソフト(以下、グループウェアと記述する)を利用した切羽観察記録と各種計測結果の図化处理支援ソフトで構成されている。2000年3月で本システムの開発を完了し、切羽観察記録ソフトを4現場、計測図化处理ソフトを2現場に導入して適用を開始した。本論文では、本システム開発の経緯と内容の詳細等について報告する。

### 1. まえがき

山岳トンネルは、地下に構築される線状構造物であるという特殊性から、事前に得られる地盤の情報の量および質に限界がある。トンネルの調査・設計においては、荷重となる土圧等をあらかじめ正確に把握することは困難であり、構造材料としての地山は不均質で力学特性が不明確なのが一般的である。トンネルの事前設計では、このような不明確な諸条件を基に、遭遇が予想される地山状況に対応した経験的な支保選定が行われる。これらのことからトンネル工事では、事前の設計における予測と実際の施工時のトンネルの挙動が異なるような事態がむしろ当たり前のように生ずる。この予測と実際の挙動の差を埋め、適切な施工を行って安全かつ経済的にトンネルを建設するためには、観察・計測による施工管理が重要となる。施工中の観察・計測結果に基づき、適宜当初設計をより実際に適合した実施設計に変更しながら施工することは、NATMの基本的な概念である。地山条件が当初の想定よりも悪い場合は、必要に応じて安全性確保のための増し支保等の措置を取る必要があり、逆に想定よりも良い場合は、安全性を確保した上で、支保の軽減や進捗速度の向上を図り、積極的に経済性を追求する必要がある。これらのことから、山岳トンネル工事における観察・計測は、他の土木工事と比較して特に重要な位置づけにあると考えられる。表-1に山岳トンネル工事で一般的に実施される計測項目<sup>1)</sup>を、図-1に山岳トンネル工事における観察・計測の位置づけの概念<sup>2)</sup>に本システムの役割を加筆したものを示す。表-1に示した各計測項目は、地山と支保の安定性に関する観察、地山とトンネルの挙動に関する計測、支保機能に関する計測、に大別されているが、これらの実際の運用にあ

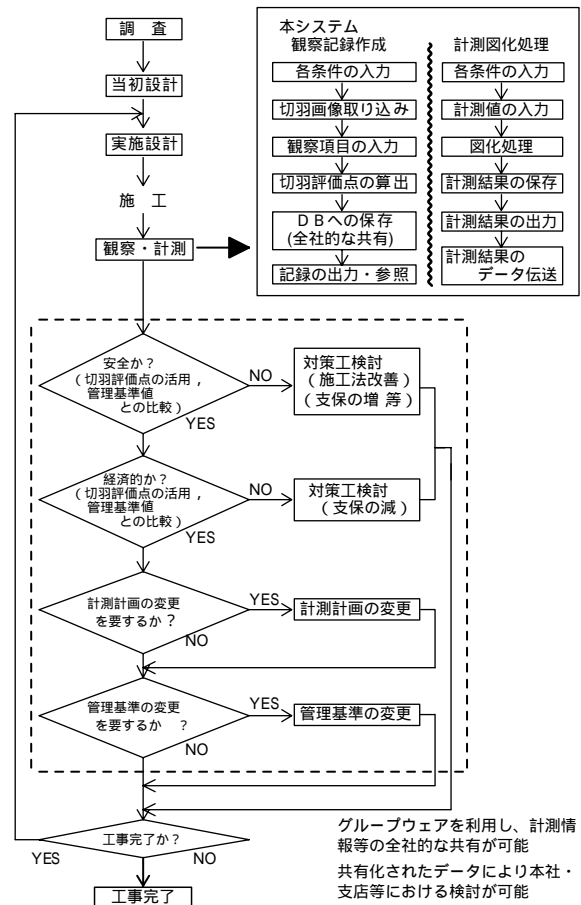


図-1 観察・計測の位置づけの概念

たっては、個々の現場条件に応じた独自の項目選定が必要となる。選定された観察・計測項目は、適切な頻度で実施し、その結果は、以後の施工に反映しやすいように速や

\* 技術研究所 \*\* 情報システム部

表 - 1 トンネル工事における主な観察・計測項目

分類	観察・計測項目	位置	対象となる事象	結果の活用	種別
地山と支保の安定性に関する計測	観察調査	坑内	・掘削面の地山および既 施工区間の支保・覆工状況	・掘削面の安定性評価 ・地山区分の再評価 ・地山状況と地山挙動との相関性検討 ・今後の地山状況推定	A
		坑外	・地表の状態	・掘削影響範囲の検討 ・周辺地山の安定検討	A,B
地山とトンネルの挙動に関する計測	内空変位測定	坑内	・壁面間距離変化	・周辺地山の安定検討 ・支保部材の効果検討 ・二次覆工打設時期検討	A
	天端沈下測定	坑内	・天端、側壁の沈下	・天端周辺地山の安定検討 ・脚部支持力検討	A
		坑内	・インパートの隆起	・インパート部地山の安定検討	A
	地中変位測定	坑内	・周辺地山の半径方向変位	・緩み領域の把握 ・ロックボルト長の妥当性検討	B
		坑外	・周辺地山の地中沈下 ・周辺地山の地中水平変位	・掘削以前からの地山挙動検討 ・地山の三次元挙動把握 ・切羽前方地山の安定検討	B
地表面変位測定	坑外	・沈下 ・地すべり	・掘削影響範囲検討 ・切羽前方地山の安定検討 ・地すべり挙動の監視	A,B	
支保機能に関する計測	ロックボルト軸力測定	坑内	・ロックボルト発生軸力	・ロックボルト長、本数、位置、定着方法等の妥当性検討	B
	吹付けコンクリート応力測定	坑内	・吹付けコンクリート応力 ・作用荷重	・吹付けコンクリート厚、強度の妥当性検討 ・鋼製支保工との荷重分担検討	B
	鋼製支保工応力測定	坑内	・鋼製支保工の応力、断面力	・鋼製支保工の寸法、建込みピッチの妥当性検討 ・吹付けコンクリートとの荷重分担検討	B
	覆工応力測定	坑内	・覆工コンクリート応力 ・鉄筋応力	・覆工コンクリートの安全性検討 ・覆工打設時期、設計の妥当性検討	B

\*種別 計測A：日常の施工管理のための項目、計測B：地山条件に応じ、計測Aに追加して実施する項目

かに処理し、まとめなければならない。本開発では、図 - 1 に示すように、現場技術者が日々行わなければならない切羽観察記録や計測結果図の作成業務を、極力容易に処理できるようなソフトを製作するとともに、グループウェアを利用してそれらの観察・計測データや非正常時の現場状況等を、全社的に共有可能とするシステムを構築した。

## 2. 開発の目的

本開発の目的としては、以下の点があげられる。

トンネル現場で日々作成する切羽観察記録や計測結果図の処理を容易にし、計測管理業務の省力化を図る。

グループウェアを活用して現場施工記録(切羽進捗、観察記録、計測結果等)を関連部署や他現場で参照・評価できるよう共有化を図る。

トンネル施工中に、現場だけでは対応不可能な非正常の事態が発生した際、関連部署等への詳細かつ迅速な状況報告・支援依頼等を可能とする。

図 - 2 にこれらの目的に対応したシステムの運用イメージを示す。

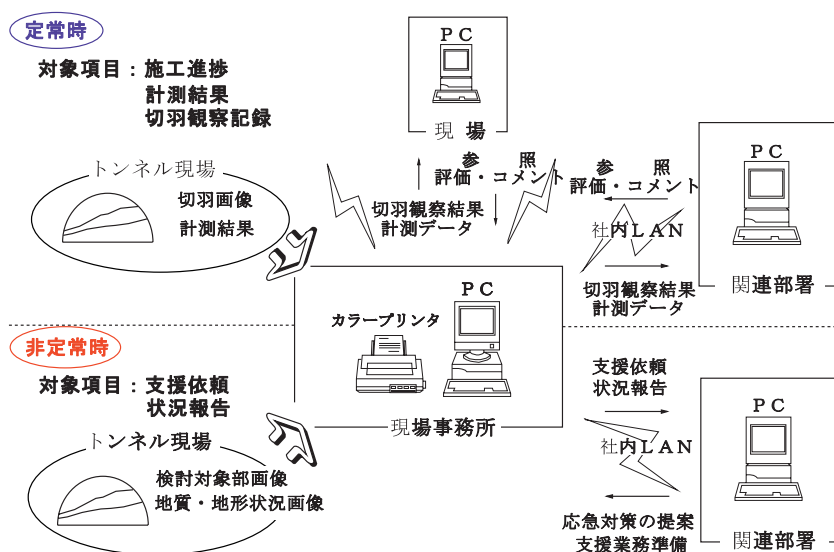


図 - 2 システムの運用イメージ

に関しては、グループウェア上で切羽デジタル写真の貼り付け、簡単なマウス操作等によって切羽観察記録を作成、保存できるようにした。また、各種計測結果を整理・図化し、現場における計測処理業務を支援するソフトを製作した。

に関しては、グループウェアを利用することにより、切羽観察記録や計測結果を全社的に共有化することを可能とした。データの共有化により、関連部署による、計測結果や切羽評価点の設計変更検討業務への活用、現場から関連部署への定期的な報告業務（工事進捗等）の簡素化、類似条件現場における施工記録の有効活用等が期待できる。

に関しては、トンネルの変状や切羽の崩落等、現場だけでは対応不可能な事態が発生した場合、関連部署や全国の現場に散在するベテラン技術者等へ支援を求める場合がある。デジタル写真を活用した詳細かつ迅速な状況報告を可能とし、的確な応急対策工の提案等に役立つものとする。

これらのように、トンネル工事の持つ特殊性とグループウェアを利用する上での利点とを組み合わせ、現場計測業務の省力化および現場支援業務の効率化を図ることが本開発の目的である。

### 3. 各機能の説明

#### 3.1 切羽観察記録

切羽観察は、計測だけでは把握できない地山情報を得ることを目的として実施するもので、主として切羽の地質の状態と地質の変化状況とを目視調査するものである。原則として1切羽/1日程度の頻度で実施し、それらのデータは支保等の実施設計の重要な資料となる。

##### 3.1.1 観察記録の入出力・保存

前述したように、切羽観察記録はグループウェアソフト上で、入出力、保存、データベース化する。図-3に日本道路公団(以下、JHと記述する)様式の観察記録出力例を示す。観察記録の様式は、各発注者毎に定められており、工事現場単位で1つの雛形をグループウェア上に作成する。観察記録は図-3に示すように、トンネル名、測点等の現場情報、切羽デジタル写真、地山状態の観察項目、既施工区間の観察項目等で構成される。観察記録の作成手順は以下に示すとおりである。

現場において目視による切羽観察を行い、切羽状況を野帳等に記入する。

デジタルカメラにより切羽画像を撮影する。

観察記録のシートに切羽デジタル画像を貼り付け、現場情報や切羽状態に関する記事を通常のワープロ入力と

切羽観察データシート

現場代理人	監視技術者	担当者
トンネル名: Wt-シタル	観察年月日:平成11年11月19日	
測点: 50m 100+000	坑口からの距離: 50m	断面番号: 106-00
土質: 高さ: 50	岩石名: 地質時代: 花崗閃緑岩	支保パターン: D1+α
特殊条件: 状態	重要構造物: 接続	岩石名コード: 03

切羽スケッチ



記号  
左側部より10%1/分程度の湧水認められる。

評価点: 77	【岩体強度】	左側: 29	右側: 22	左側: 29	右側: 19
【岩石性状】	左側: 20	右側: 20	左側: 20	右側: 14	
【湧水調整点】	左側: 0	右側: 0	左側: 0	右側: 68	

観察項目	評価区分				
	100以上	100-90	90-25	25-10	10-3
A. 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	4以上	2以上	1以上	0.3以上	3以下
評議区分: 左側	1	2	3	4	5
評議区分: 右側	1	2	3	4	5
B. 風化実質	風化新鮮	新鮮に近い風化実質	風化実質	風化実質	主砂状風化、本洞窟主砂
評議区分: 左側	1	2	3	4	5
評議区分: 右側	1	2	3	4	5
C. 断面間隔	d≧1m	1m>d≧50cm	50cm>d≧20cm	20cm>d≧5cm	5cm>d
評議区分: 左側	1	2	3	4	5
評議区分: 右側	1	2	3	4	5
D. 断面状態	断面の性状	断面が一部崩れている(崩れ<1mm)	断面が一部崩れている(崩れ<1mm)	断面が一部崩れている(崩れ<1mm)	断面が一部崩れている(崩れ<1mm)
評議区分: 左側	1	2	3	4	5
評議区分: 右側	1	2	3	4	5
E. 走向傾斜	走向傾斜	走向傾斜	走向傾斜	走向傾斜	走向傾斜
評議区分: 左側	1	2	3	4	5
評議区分: 右側	1	2	3	4	5
F. 湧水	湧水量	湧水量	湧水量	湧水量	湧水量
評議区分: 左側	1	2	3	4	5
評議区分: 右側	1	2	3	4	5
G. 劣化	劣化	劣化	劣化	劣化	劣化
評議区分: 左側	1	2	3	4	5
評議区分: 右側	1	2	3	4	5

図-3 切羽観察記録出力例 (JH様式)

同じ要領で行う。

各観察項目において、観察した切羽に該当する評価区分をマウス操作により選択する。

全項目記入後、記録を保存し、必要に応じてA3対応のカラープリンタによって出力する。

以上のように、観察記録作成・保存・出力までの操作は極めて容易に行うことができる。切羽デジタル写真は従来の切羽スケッチに替わるもので、手書きスケッチ、色塗りの手間が省略されるとともに、観察者による個人差をなくし、客観性を向上させることができる。

図-4は、保存した観察記録の一覧を示す画面である。図のようにトンネル名、測点、切羽評価点、観察年月日が断面毎に記録されるので、保存記録の参照が容易となる。発注者に観察記録の提出を指示された際には、保存記録の中から指定された断面だけを出力すればよいので清書化の必要がなくなり、提出物の質の向上も期待できる。従来のように提出物の控えをファイリングする必要がなく、現場におけるペーパーレス化にも寄与する。また、本社のサーバーを利用しているため記録の確実な保存が可能であり、データを施工中のトンネルに反映させるのは当然のことながら、完成後のトンネルの維持管理や類似条件でのトンネル施工等で参考にできるよう、整理・保管することが可能である。

工事名	測点	評価点	作成日
Sta598+30.1	56	12年 1月 12日	
Sta598+33.1	55	12年 1月 12日	
Sta598+40.6	59	12年 1月 13日	
Sta598+45.1	54	12年 1月 14日	
Sta598+51.1	49	12年 1月 15日	
Sta598+52.6	52	12年 1月 17日	
Sta598+55.6	36	12年 1月 18日	
Sta598+63.1	47	12年 1月 19日	
Sta598+69.1	56	12年 1月 20日	
Sta598+75.1	57	12年 1月 21日	
Sta598+81.1	59	12年 1月 24日	
Sta598+87.1	60	12年 1月 25日	
Sta598+91.6	59	12年 1月 26日	
Sta599+05.1	59	12年 1月 28日	
Sta599+12.6	61	12年 1月 31日	
Sta599+17.1	42	12年 2月 1日	
Sta599+21.6	45	12年 2月 2日	
Sta599+27.6	54	12年 2月 3日	
Sta599+33.6	59	12年 2月 4日	
Sta599+38.1	57	12年 2月 7日	
Sta599+44.1	53	12年 2月 8日	
Sta599+50.1	60	12年 2月 9日	
Sta599+56.1	62	12年 2月 10日	
Sta599+60.6	58	12年 2月 11日	
Sta599+69.6	59	12年 2月 14日	
Sta599+77.1	59	12年 2月 15日	
Sta599+84.6	61	12年 2月 16日	

図-4 保存観察記録表示画面

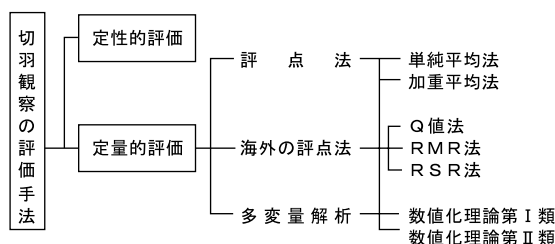


図-5 切羽評価手法の分類

表-2 JH様式切羽評価項目

観察項目	評 価 区 分
A.圧縮強度 (N/mm)	4以上 100以上 100-50 50-20 20-10 10以下 5以下 3以下
B.風化変質	概ね新鮮 岩盤は健全 変質は見られない 1 2 3 4 5 6
C.割目間隔	d 1m 1m > d 50cm 20cm 50cm > d 20cm > d 5cm > d 80以上 80-50 60-30 40-10 20以下
D.割目状態	割目は密着している 割目は一部が開口している(幅<1mm) 割目の多くが開口している(幅<1mm) 割目が開口している(幅1-5mm) 割目が開口し5mm以上の幅がある 割目の疎度 粗い 割目が平滑 一部に鏡肌 薄い粘土を挟む5mm以上 厚い粘土を挟む5mm以上
F.湧水量	なし、滲水 1? /分以下 1 2 3 4
G.劣化	なし 1 2 3 4

表-3 評価区分毎の配点例(圧縮強度)

岩質 / 評価区分		1	2	3	4	5	6
圧塊	硬質岩	3 6	2 9	2 2	1 4	7	0
	中硬質岩・軟質岩	3 2	2 6	1 9	1 3	6	0
縮層	中硬質岩	3 6	2 9	2 2	1 4	7	0
	軟質岩	3 9	3 1	2 4	1 6	8	0

### 3.1.2 切羽評価点の算出

切羽観察は前述したように、切羽の状態や風化変質、割目の状態、湧水状況等の観察を行い、記録表にまとめるものである。トンネル工事では、これらの観察結果を評価し、支保選定等に反映させる必要があるが、既存の評価手法は図-5のように整理される。定量的評価に分類される評点法は、切羽の状態をより客観的に評価する方法として、各観察項目を評点により集計し、点数により評価しようとするものである。

我が国では、この切羽評価点に関する研究は、JHにおいて最も多くの実績がある<sup>3)</sup>。JH試験研究所では、過去に施工された膨大な切羽観察に関するデータを用いて観察項目相互間と支保パターンとの関連性を統計分析し、支保選定に関して影響度の強い4つの観察項目を抽出した。これら4つの観察項目に、湧水関連の観察項目を加えたJHの最新の様式の切羽観察項目とその区分を表-2に示す。この新観察表を用いた評価と、各岩種グループ毎に定められた配点表(表-3)および湧水状況による調整点に基づき、新切羽評価点は算出される。JHでは、平成11年4月1日から2車線断面の全トンネルで、新観察表の採用と新切羽評価点評価法による地山評価を義務づけ、新切羽評価点の支保設計指標としての活用を推進している。

本システムにおけるJH仕様の観察記録では、通常どおりに観察表を作成することにより、入力された岩種グループと選択された評価区分に対応した点数が加算され、新評価点を自動的に算出する。図-6に、過去の実績に基づく、岩種と支保パターンおよび新切羽評価点との関係を示す<sup>3)</sup>。算出した新切羽評価点は、このような図と照らし合わせることで、支保選定の目安とすることができる。本機能では、新切羽評価点の計算手を省略するとともに、観察記録の作成という日常業務を行うことにより、採用支保パターンの妥当性を日々確認することを可能とした。また、図-5に示したQ値法、RMR法、RSR法等、その他の地山評価点を算出するための観察表と計算用ファイルも、グループウェア上で共有する予定である。

### 3.2 支援依頼定型シート

トンネル工事では、切羽の崩落やトンネル変状、坑口部の困難な施工等、非正常的事態が発生した際に、対策工の選定やその根拠となる検討書作成に関して現場だけでは対応しきれないことが多々ある。このような場合、本社や支店の関連部署に現場から施工支援を依頼するが、図-7に示すようなグループウェア上の定型シートを利用して状況報告や支援依頼を行うことができるようにした。検討対象位置の地質・地形条件や発生が予想される問題点、問題箇所のデジタル画像や図面ファイル等を入力・添付し、迅速かつ詳細な状況報告を可能とする。各関連部署や過去に同様の問題を経験した他現場の技術者等は、ネットワーク上で書類を閲覧し、問題点を把握した上で応急対策工や支援体制等について現場に返信することができる。従来と比較して、デジタル写真を活用して実際の現場の状況を見ることができるといことは非常に大きな利点であり、より迅速で的確な対策工の提案等が期待できる。

### 3.3 計測結果図化处理

トンネル工事において計測は、掘削に伴う周辺地山の挙動や各支保部材の効果を定量的に把握し、設計の妥当性を検討するとともに、工事の安全性および経済性を確保するために実施される。得られた計測データは、トンネルの現状を把握するために迅速に図・表等に整理し、設定した管理基準等と比較することにより、今後の予測や設計・施工に反映していかなければならない。

今回作成した計測結果図化处理ソフトは、現場技術者が計測データを分かりやすく整理し、活用するための支援をするもので、トンネル工事で一般的に実施される計測項目のほぼ全てを図化处理することができる。また、本ソフトは市販のデータベースソフトと表計算ソフトを利用しており、計測結果のデータベース登録から図化处理

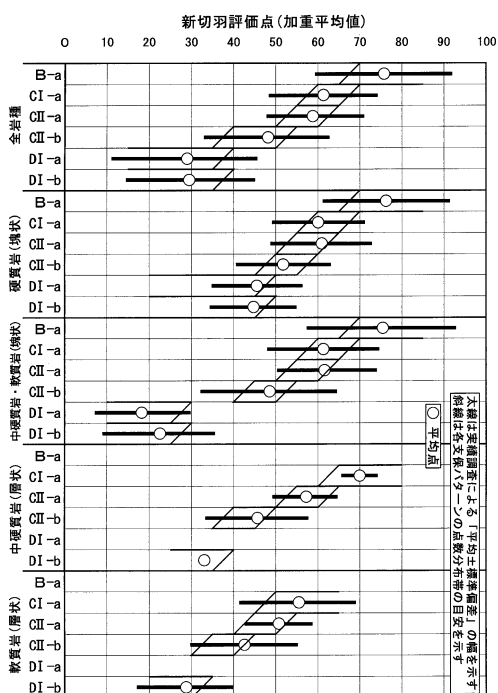


図-6 新切羽評価点と支保選定の実績と目安

ト	工事名称	Aトンネル工事	発注者	日本道路公社
ン	施工者	五洋・日建設JV	協力業者	C建設機
ネ	トンネル種類	道路	工期	2000年1月~01年12月
ル	トンネル延長	1000 m	施工範囲	坑口部
概	掘削断面積	100 m <sup>3</sup>	掘削工法	上半先進シャフトベンチ
要	掘削方式	掘削	支保パターン	DIII-a
	特殊条件	偏圧・土壌リ小・重要構造物近接		
	制約条件等	特になし		
地	地質岩種	風化花崗岩、マサ土		
山	土壌リ	3m	圧縮強度	5~10MPa(1MPa=10kgf/cm <sup>2</sup> )
条	弾性波速度	0.5~1.0 Km/sec	N 値	-
件	湧水状況	やや多し		
	発生が予想される問題点	切羽安定性の欠如、偏土圧、地耐力不足		
	その他特殊事項等			
	参考資料	坑口部画像2.jpg 坑口部画像1.jpg		

図-7 支援依頼シート記入例

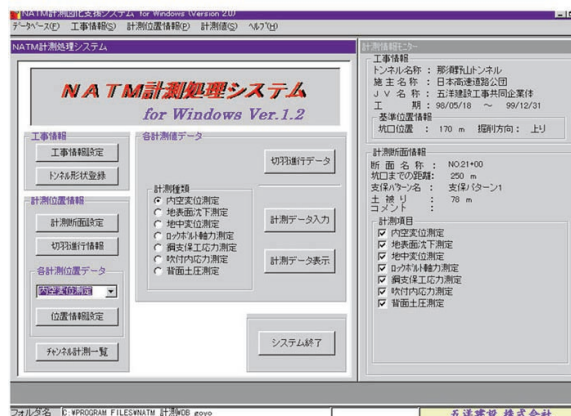


図-8 図化处理ソフトメニュー画面

までを Windows OS で実施できる。そのため、現場計測データもグループウェアを介して容易にデータの共有化を図ることが可能となっている。図 - 8 に本ソフトの初期メニュー画面を、表 - 4 に本ソフトで処理対象としている計測項目と出力形式の関係を示す。

図 - 9 ~ 図 - 11 は、適用現場における出力例である。出力図は、変位等の時間的変化を見る経時変化図、切羽の進行に伴う変化を見る経距変化図、支保応力等の断面分布図の例である。本ソフトでは、メニューに従い、計測項目、作図種類、作図期間等の作図条件を入力することにより、必要な入力計測値をデータベースから取り込み、図化処理する。これらのように、各種計測結果を適切な出力形式で迅速かつ容易に整理することができ、計測結果の設計・施工への的確な反映に役立つ。

4. まとめ

本開発の経緯や目的、処理機能等について述べてきたが、その特徴は以下のようにまとめられる。

切羽観察記録の作成および計測結果の図化処理が簡素化され、現場計測管理業務の省力化が図られる。

関連部署や他現場でも対象現場の状況を参照、評価することができ、支援依頼や進捗報告等に際し、有効な情報の共有が可能である。

各計測結果の電子情報による有効な保管・検索・再利用が可能となる。現場におけるペーパーレス化に寄与し、余計なコピーや色塗り等の業務が不要となる。

蓄積された計測数値データの支保設計への活用が容易となる。

以上のように、グループウェアの持つ利点をトンネル現場の日常的な計測管理業務に活用することにより、計測情報の共有、迅速な伝達および有効な保管、再利用等が可能となる。将来的にはネットワークの増強により、現場動画の共有等も考えられるようになってきている。今後、引き続き本システムを各トンネル工事に適用して必要な機能の追加・更新を進めながら、現場業務の省力化、支援業務の効率化に活かしていく所存である。

参考文献

- 1) (社)土木学会：トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説、pp.191、1996
- 2) (社)日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針、1993
- 3) 赤木渉・吉塚守ら：新しい切羽評価点法の適用に関する研究、トンネル工学研究論文・報告集、VOL.8、pp.277 ~ 282、1998

表 - 4 図化対象計測項目一覧

計測項目	経時変化	経距変化	断面分布
A計測			
天端沈下・内容変位			-
地表面沈下			
地中変位			
ロックボルト軸力			
鋼製支保工			
軸力			
曲げモーメント			
せん断力			
吹付け内応力			
背面土圧			

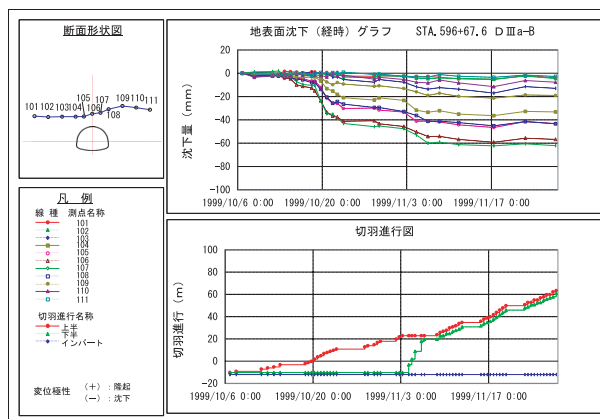


図 - 9 経時変化図例 (地表面沈下)

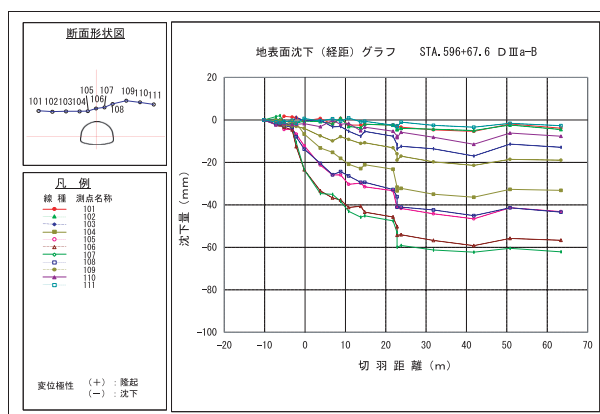


図 - 10 経距変化図例 (地表面沈下)

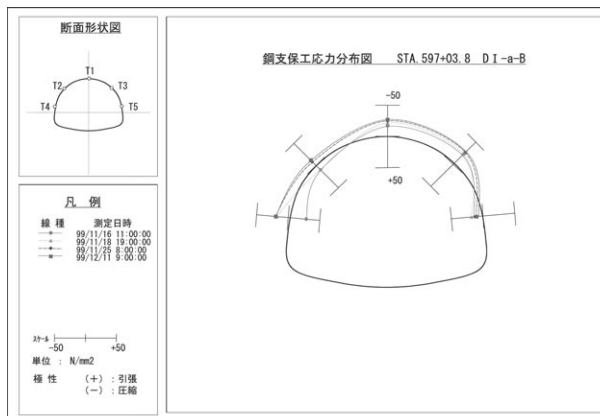


図 - 11 断面分布図例 (鋼製支保工応力)