

トンネル掘削時における地すべり挙動の自動計測システム

Automatic monitoring system for landslide during tunneling

は	ね	だ	ひろ	み	こ	じま	ひとし
羽	根	田	汎	美*	小	島	均**
しろ	ま		ひろ	みち	てら	やま	かず
城	間		博	通**	寺	山	和
							お
							雄***

1. ま え が き

北陸自動車道、上越～朝日間は、全国有数の地すべり地帯を通過しており、これを克服しながら63年の開通に向け、急ピッチに工事が進められている。

その中の山王トンネル西工事は坑口部に地すべり地を抱え、動態観測を行いながらトンネル掘削等の施工を行っている。この動態観測において、パソコンを動態観測システムの中心に据えて遠隔自動計測を実施している。

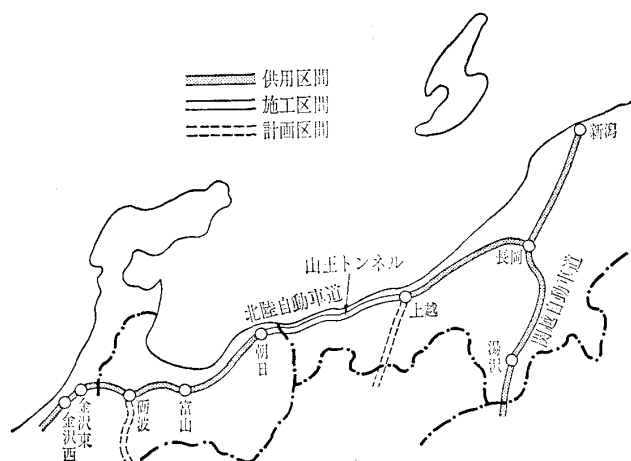
現在工事中の段階であるが、地すべり危険地域の施工はおおむね完了していることから、自動計測による動態観測について、ここに紹介するものである。

2. 工 事 概 要

山王トンネルは北陸自動車道、上越～朝日間の新潟県西頸城郡能生町に位置し、延長2216mのトンネルである。トンネル施工は東西の両坑口から2つの企業体でそれぞれ行っており、西側からの施工を受け持つのが山王トンネル西工事である。この西坑口付近は農林水産省の地すべり防止区域に指定された地すべり地であり、トンネル施工により地すべりを誘発させることが懸念されることから、地すべり対策工、および、動態観測の計画を行った。地すべり対策工として、垂直縫地ボルト、押さえ盛土、水抜きボーリングを行った上で、地すべり動態観測を行い地山の挙動を確認しながら、極力地山を緩めないようにトンネル掘削を行った。坑口部のトンネル掘削は側壁導坑先進工法($l=76$ m)を採用し、上半を NATM による掘削とし、慎重な施工を行うことに心掛けた。

3. 地形および地質

トンネル付近一帯は海岸線まで標高100～300mぐらいの低山性の山地が迫り、平たん地は海岸線のわずかな部分に存在するのみであり、トンネルはこの山地に沿うような形で計画されている。この山地を開析して日本海に注ぐ河川に山王川があり、トンネルの西坑口はその右岸に位置する。西坑口付近は図一2に示すように古い時代に活動したと考



図一1 現場位置図

えられる地すべり地形内に位置し、地すべり崩土もしくは崖錐性崩土に覆われており、地すべり性崩積土分布域である。地質は泥岩を主体とし、一部、砂岩、凝灰岩を挟在する新第三紀中新世の能生谷層が分布する。この能生谷層は、地すべりや膨圧が想定されるものである。地層構成は表層からN値10以下の崩積土が5～8mの層厚まで堆積し、その下部に風化泥岩、新鮮泥岩層と続く。風化泥岩層は粘土状、土砂状化し、軟質である。

4. 動態観測の目的と条件

4.1 動態観測の目的

坑口部が地すべり地の舌端部にあたり地すべりの運動方向に対してトンネルが向かっていくことになるため、トンネル掘削が及ぼす影響は大きいものと考えられる。また、坑口切付け、側壁導坑掘削、上半掘削、大背掘削と各々の作業段階においてその都度地すべりの誘発が懸念されることから、地すべり対策工の効果を確認しながら作業時の安全と施工の管理のために、地すべりの挙動を観測することとした。この地すべりの挙動として、地表面の移動、地中における変状、地下水の状況を把握し、地すべり抑止工にかかる力を確認することにより、地すべりの場所、方向、範囲そして規模の想定までも行えるような観測体制を行う必要がある。

4.2 動態観測の条件

本工事における動態観測については当地が積雪地である

*日本道路公団新潟建設局 上越工事事務所 工事長

**日本道路公団新潟建設局 上越工事事務所

***(株)福田組・(株)本間組 共同企業体

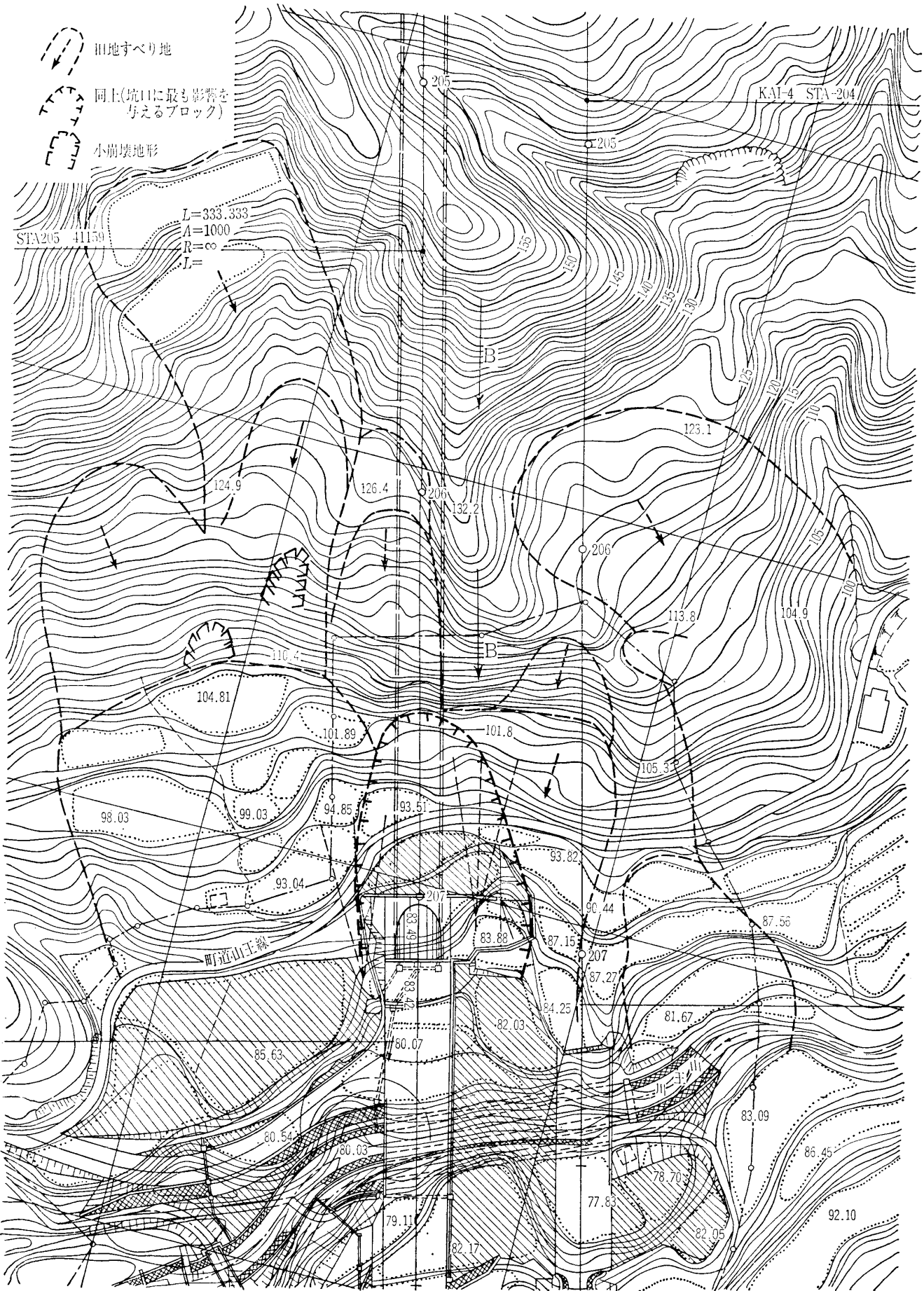


図-2 坑口付近地形図

こと、およびトンネル坑内に常に作業員が存在すること等から、必要条件をまとめると以下のとおりである。

- ① 地すべりの挙動を連続的に常時監視できること。
- ② 人為的誤差のない正確で迅速な観測ができること。
- ③ 夜間、降雪時および、雪崩や地すべりなどの危険がある場合においても観測ができること。
- ④ データの蓄積や図化などのデータ処理がスムーズに行えること。

5. 動態観測システムの概要

5.1 システムの概要

山王トンネル工事における動態観測に要求される条件を満足するシステムとして、図-3に示すパソコンによる遠隔自動計測システムを採用した。システムはパソコンを現場事務所に設置し、パソコンより遠隔操作を行う。なお、事務所は工事現場より約850m離れた地点にあり、NTT電話回線も利用できないことと、現場と事務所の間を車両

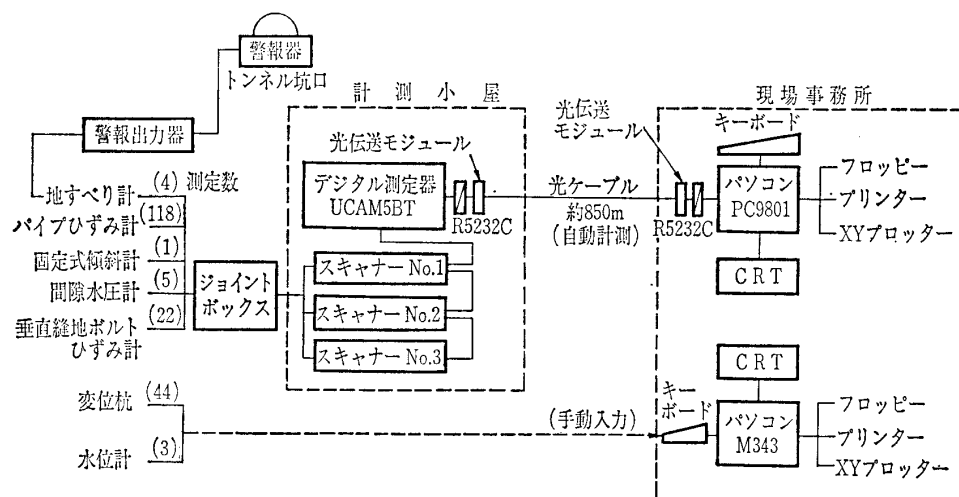


図-3 動態観測システム

表-1 構成機器の仕様

	機 器 名	型 式	容 量	数 量	製 造 会 社
データ処理系	パーソナルコンピューター	PC9801VM2		1	日本電気
	パーソナルコンピューター	M343		1	ソード
	プリンター	PC-PR201H		1	日本電気
	プリンター	PT-350		1	ソード
	プロッター	MP1000		1	グラフテック
	プロッター	PL-200		1	ソード
	マイクロ無停電源装置	TUPS-200	100V2A	1	高見沢サイバネティックスサービス
伝送系	光伝送モジュール	MBW3		2	山武ハネウエル
	光ファイバケーブル	FBC-AAH		850m	山武ハネウエル
測定系	小型万能デジタル測定器	UCAM-5BT		1	共和電業
	スキャナー	USB-50A		3	"
	絶縁トランス	UPT-300B	300VA	1	"
	地中埋設型地すべり計	BJ-100CS	100mm	4	"
	パイプひずみ計	SP-48A		4箇所	"
	土中埋設型傾斜計	BK-5FS	-5~5度	1	"
	間隙水圧計	PG-1G	1kgf/cm ²	5	"
	ひずみゲージ（垂直縫地ボルト）	KFW-2D-16-11		22点	"
	水圧計	NP型			測器舎
	変位杭			44本	

表-2 地すべり計の管理基準と運用

ランク	管理値 (累計変位量)	評価	作業員への措置	調 査	処 置
I	10mm	注意	連絡 注意喚起	計測頻度の増 4回/日→8回/日	変位速度に注意
II	20mm	警戒	作業一時 中止、坑 外退避	トンネル内計測の実 施、内空変位、天端 沈下、坑内観察	他の計測結果に異常 なければトンネル計 測の頻度を上げて作 業は注意して再開
III	他の計測 値等にも 異常が出 た場合	危険	坑内立入 禁止	自動計測のみ実施 (必要に応じて頻度 の増)	崩壊の時期・規模の 調査および推定、対 策工の検討

が頻繁に通過するため、ケーブルに導線を用いた場合ノイズが入り、データの信頼性がなくなることが懸念される。このため、ケーブルに光ファイバーを用いた。図-3の自動計測用のコンピューターは、設定された時刻になるとR5232Cインターフェース、光伝送モジュール、光ファイバケーブルを介して、測定器を作動させ、150点の原位置データを自動的に回収している。パソコンはこのデータに計測した日時を付けてフロッピーディスクにデータを記録する。必要に応じて、このデータからパソコンを使ってトンネルの切羽進行を併記した経時変化図、分布図等をXYプロッター、プリンターを用いて出力し、現場の施工に反映させている。また、工事現場に設置したセンサーと計測器を落雷から防護するために現場に避雷設備を設け、更に工事途中より自動計測用のコンピューターの電源に無停電電源装置を用いた。これは、一度落雷により、コンピューターが暴走し、フロッピー上のデータファイルが壊れるという事故があったためである。次に、レベルやトランシットを用いた変位杭の測定データや、水位計を用いた水位測定データは手動入力でキーボードよりデータを入力している。また、図-3で地すべり計から直接警報出力を行っているが、警報器はトンネル坑口部に取り付け、地すべり計のすべり変位が設定値を超えた場合、警報を発し、作業員に知らせるようにしてい

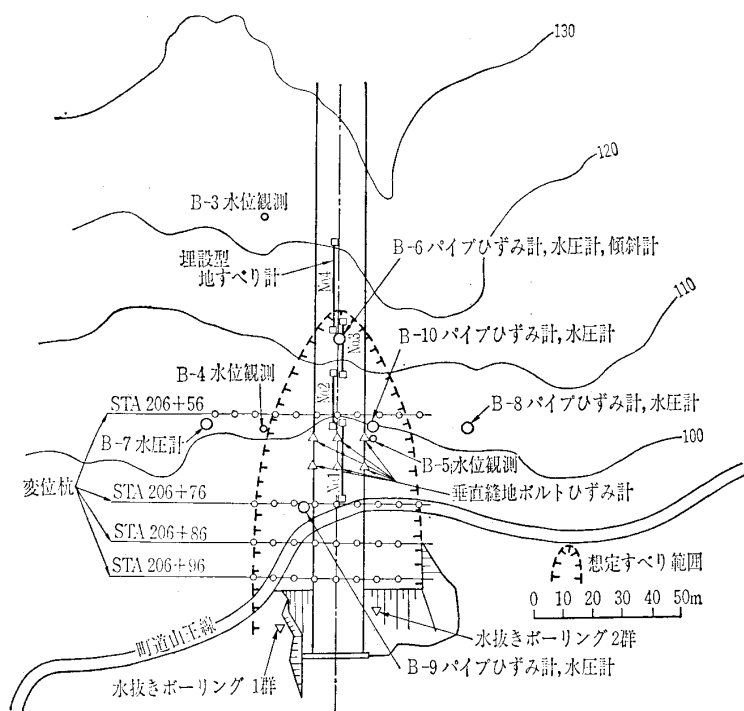


図-4 計測機器配置平面図

る。なお、システムの構成機器を表-1、計測器配置図を図-4～5に示す。

次に、本システムで行っている施工管理をフロー図で図-6に示す。ここで管理は地すべり計の値を用い、表-2に示すように管理基準を定め、これに従って計測管理を行っている。図-6の緊急性の有無の判断は主にトンネル切羽の進行に伴う地すべり計、変位杭等の経時変化が増加傾向にあるのか、収束傾向にあるのかを読み取ることと、パイプひずみ計と垂直縫地ボルトのデーターより断面的な動きを見ることにより判断を行っている。

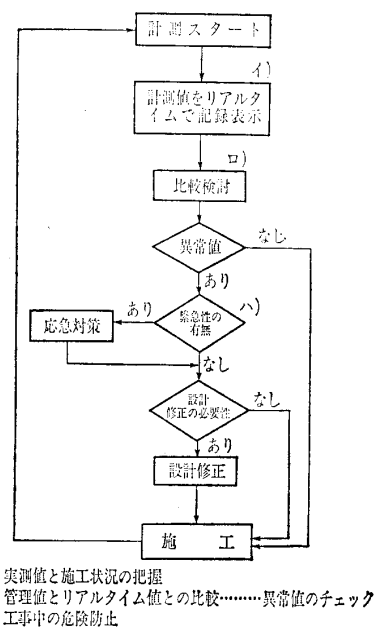


図-6 システムの流れ

5.2 プログラムの概要

プログラムは大きく分けて自動計測用のものと手動入力用のものの2種類を作成した。自動計測用のプログラムは次の点を考慮している。

- ① データーの定時回収時間を任意に設定できるようにしたこと。
- ② データーの任意時間回収が可能である。
- ③ すべての経時変化図にトンネルの切羽進行を併記したこと。
- ④ パイプひずみ計のデーターを縦断面中に描かせ、断面的にすべりをとらえることができるようにしたこと。
- ⑤ プログラムをメニュー選択方式にし、次のタスクへ分岐して行けるようにしたこと。

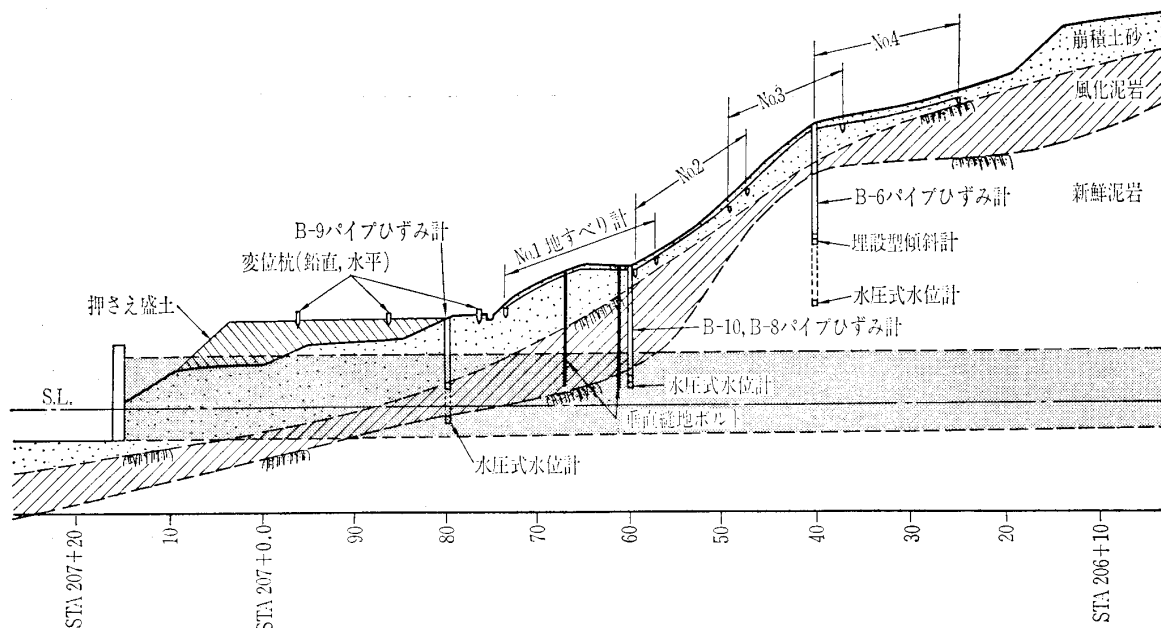


図-5 計測機器配置断面図

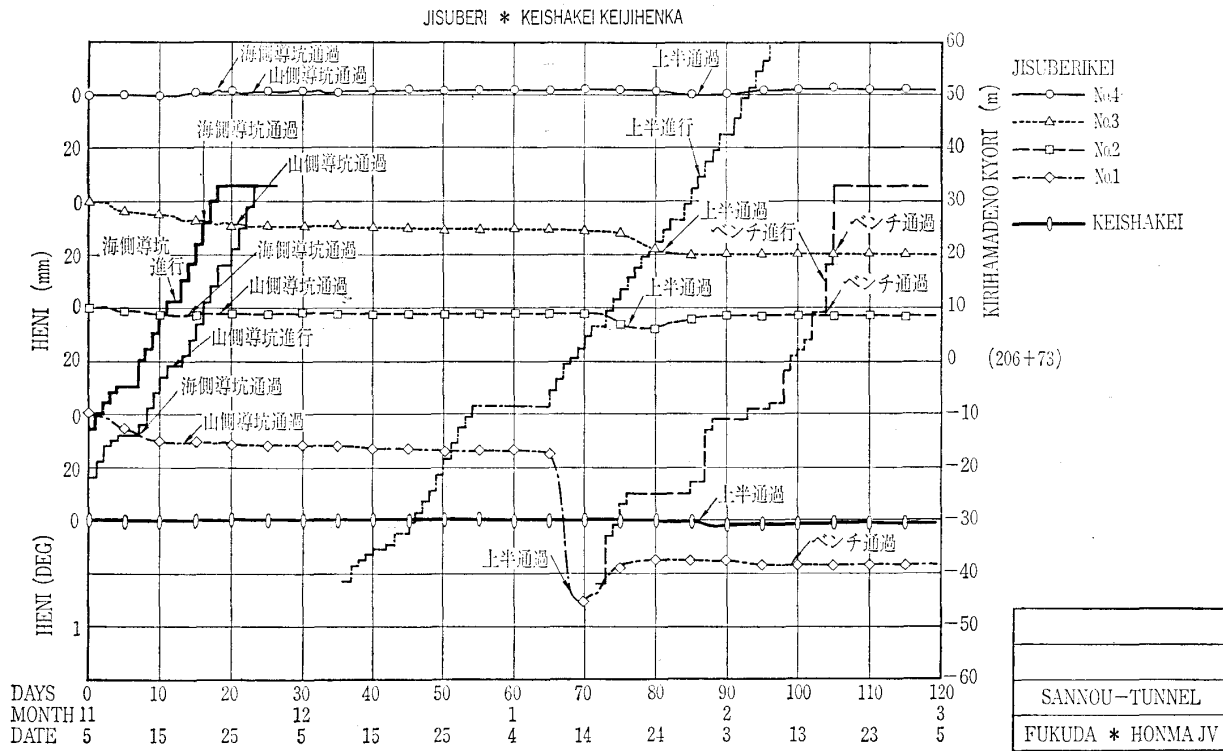


図-7 地すべり計, 傾斜計経時変化図

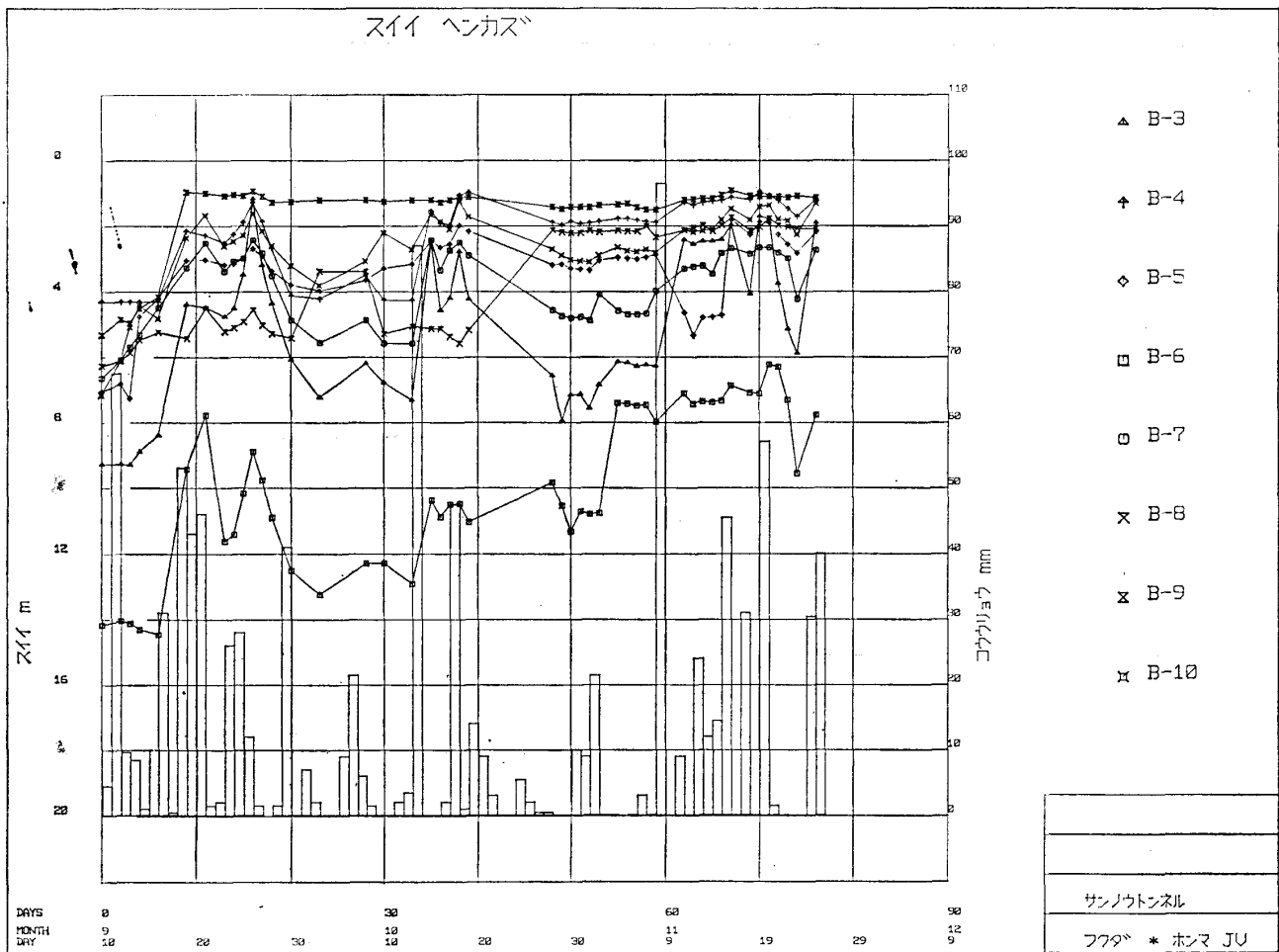


図-8 日降水量 - 地下水位経時変化図

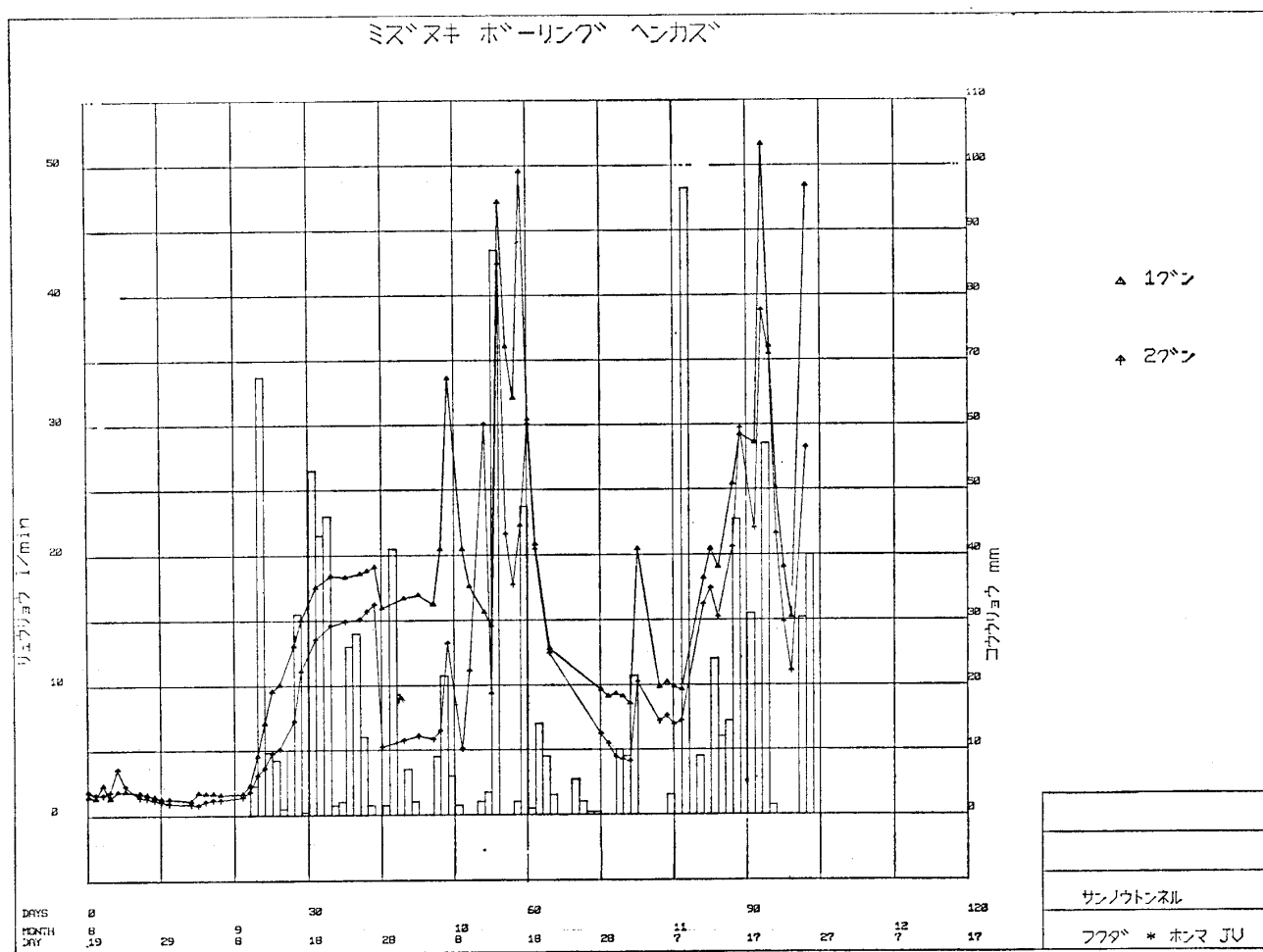


図-9 日降水量-水抜きボーリング流量経時変化図

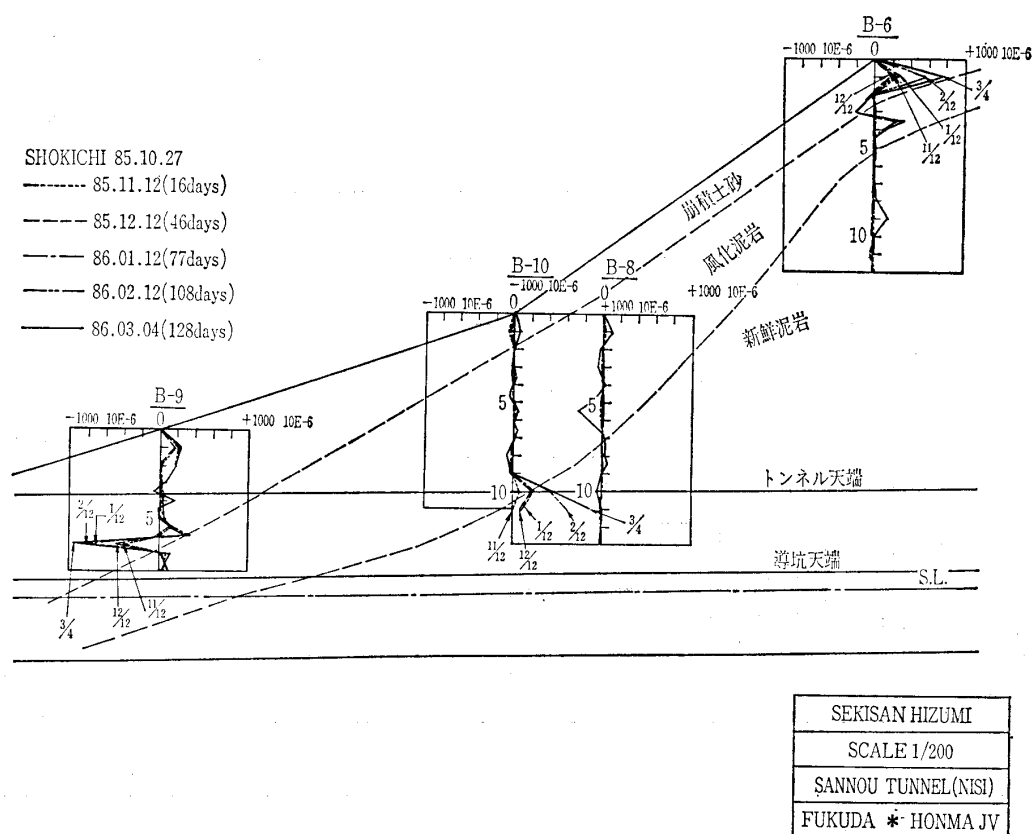


図-10 パイプひずみ計による積算ひずみ

- ⑥ 図のスケールや日付などを会話方式で入力できるようにしたこと。

手動入力方式のプログラムに考慮した点は次のとおりである。

- ① データー入力を簡易言語を用いて行い、入力の便を良くするとともに、入力データーのプリンターへの出力、訂正なども簡易言語のコマンドを用いて行っている。
- ② プロッターへの経時変化図の出力は BASIC で上記入力データーを取り扱っている。
- ③ プロッターへの出力プログラムはメニュー選択方式、会話方式を用いている。

6. 動態観測結果および考察

6.1 導坑掘削時

昭和60年10月上旬より坑口部を側壁導坑先進工法にて施工開始した。図-7の地すべり計・傾斜計経時変化図と変位杭の経時変化図から導坑切羽が計測器、変位杭設置位置を通過する前より先行変位が始まることを見たが、変位量が少ないため、観測データーに注意しながら施工を行い、切羽が通過した後、変位データーが収束傾向にあるのを確認しながら施工を進め約2か月で導坑の掘削を終了した。また、この間の地下水位の動きは図-8に見るように11月に降水量が増加したときB-3, B-6, B-7孔の水位が3mぐらいに上昇しているが、地すべり計の変位傾向が収束していること、および図-9より水抜きボーリング流量が増加していることから施工を続行した。このときの地すべり計の変位傾向を次の上半掘削のときの資料とした。

6.2 上半掘削時

上半掘削は12月上旬より開始したが、間もなく降雪が始まり、1月からは積雪が2mを超え、雪崩の危険があるため、動態観測範囲には立入りを禁止し、自動計測のデーターのみを基にトンネル施工を行った。なお、積雪はその後増し、3mを超え、戦後最大を記録した。

図-7に見るようにNo.1の地すべり計の下端に上半切羽が1D(Dはトンネルの径)手前に近づいた所からNo.1地すべり計の変位が始まり、切羽が下端部を通過した頃に急激な変位を生じ、坑口の警報器が作動した。そのため、作業を一時中断し坑内に変状があるかどうか調べ、また、内空変位、天端沈下に異常値が出ていないかを計測したが、坑内には変状が認められなかった。また、このとき、No.1以外の地すべり計・傾斜計は動いていないことから変位はNo.1地すべり計下部付近の局所的なものと考えられ、測定頻度を1日8回に上げ、パイプひずみ計(図-10)などの動きにも注目しながら施工を続行した。その後の変位速度は図-7のように弱まり、No.1地すべり計上部が切羽が近づくにつれ下方へ変位していることが見られた。これは図-7では変位が元へ戻ったように見えるものである。

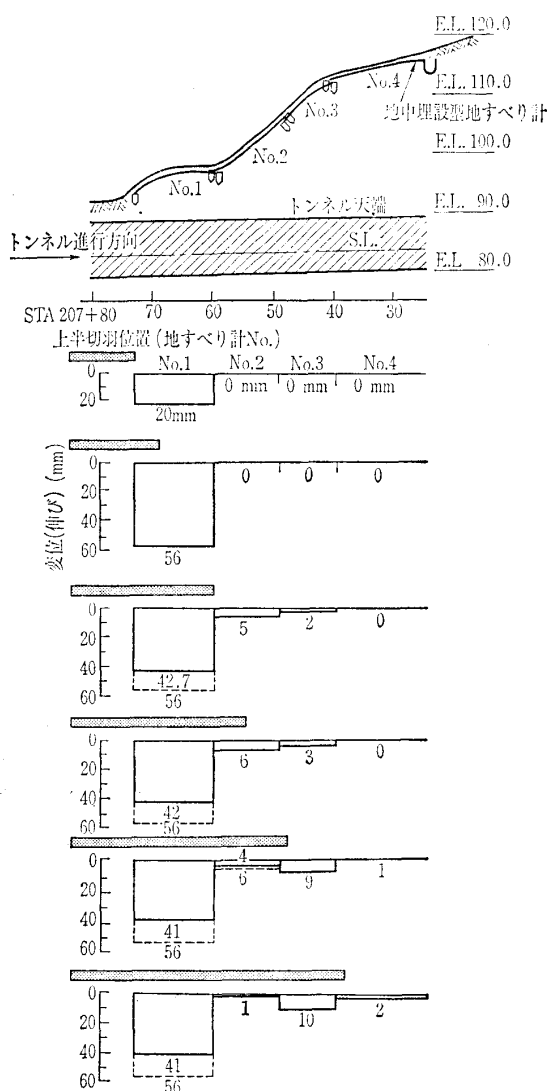
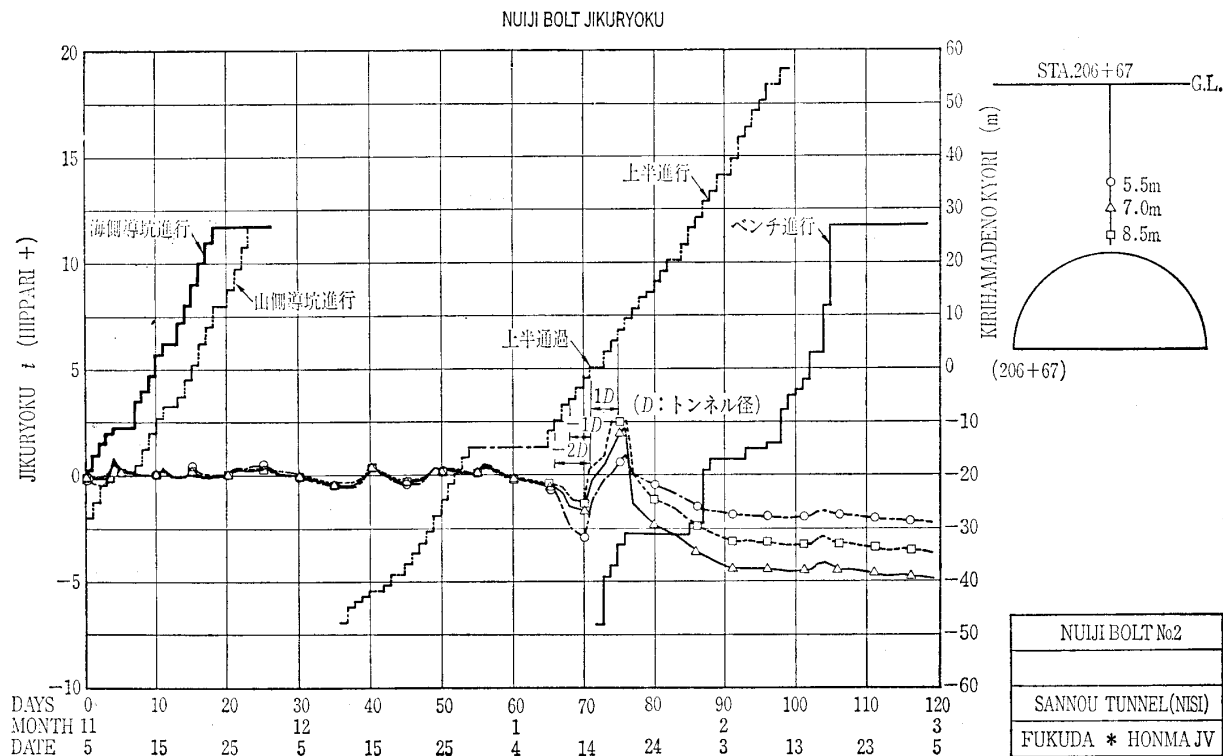


図-11 切羽進行と地すべり計変位量の関係

しかし、このNo.1上部の動きはNo.2下部の動きから見るように、大きなものではないことが分かる。また、切羽進行に伴い、地すべり計の変位が収束することが確認された。その後、トンネル掘削は順調に行われ、No.1地すべり計は引き続き収束傾向を示し、No.2地すべり計以降はそれほど大きな変位を観測することはなかった。

図-11に切羽進行と上半の掘削の影響による地すべり計の変位量および土被りの関係をまとめてみたが、土被りが10m以下のNo.1地すべり計設置箇所の変位が土被り10m以上のNo.2以降の地すべり計設置箇所と比較して極めて大きかったことが分かる。

また、図-12の垂直縫地ボルトの動きより、上半切羽が到達する2Dぐらい前から、縫地ボルトに圧縮力が加わり切羽が1Dぐらい進むまでの間、一時的に引張り力が働き、その後徐々に圧縮力が働いている。これと同様の動きが、日本道路公団技術情報、第75号の“トンネル坑口と切土のり面”において報告されている。これは図-13に示すように、①切羽到達前に地山が緩み、縫地ボルトに圧縮力が生じる。②切羽が到達し、1Dぐらいの間は切羽を切ったこ



図—12 垂直縫地ボルト軸力経時変化図

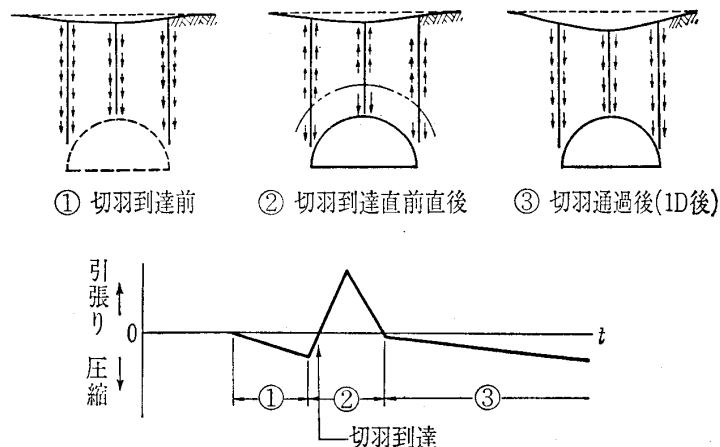
とによる緩みが切羽外周部に伝わり、一時的に吊り下げ作用が働く。③ 1D経過後、緩み領域が全域に伝わり、再び圧縮力に転じ安定するものと考えられる。

7. あとがき

今回のパソコンを使用した地すべり挙動の自動計測システムにおける成功点、反省点をまとめると次のとおりである。

- ① 豪雪の中でも雪の影響を受けることなく、観測を施工に生かした。
- ② 観測頻度を簡単に増やせることから、警報作動時に細かい施工管理ができた。
- ③ 垂直縫地ボルトを地すべり抑止工として実施したが、トンネル掘削における安定効果を確認することができた。
- ④ 地すべり計の計測範囲が±50 mm と狭く、No. 1 地すべり計で大きな変位があった後、再セットが必要となった。

まだ、若干の覆工等の作業が残っていることから、完全に地すべり地を完了したわけではないが、ほぼ満足の行く結果であった。



図—13 垂直縫地ボルト軸力変化模式図

参 考 文 献

- 1) NATMの計測指針に関する調査研究報告書, 日本トンネル技術協会, 1983.
- 2) 土木学会岩盤力学委員会: トンネルの地質調査と岩盤計測, 土木学会, 1983.
- 3) 山岳トンネルの地表沈下防止および不良地盤対策に関する調査研究(その2)報告書, 日本トンネル技術協会, 1981.
(原稿受理 1986. 4. 2)