

マイクロコンピュータを利用したトンネルの自動計測システム

日本道路公団

正会員 山田憲夫

大成建設株式会社

正会員 勝村健二

正会員 亀村勝美

正会員 平野逸雄

○正会員 竹田直樹

1. まえがき

近年、土木技術の進歩は著しいものがあるが、なかでもトンネル工事におけるNATMは急速に普及し、今や我が国におけるトンネル施工法の主流を占めるに至った。この背景には計測技術の向上が大きく寄与している。

その計測の例として、施工中の恵那山トンネルの自動計測システムについて述べる。恵那山トンネルは、岐阜県と長野県の県境に位置し、中央アルプスの南端を北西から南東に貫ぬく全長約8.6kmの道路トンネルであるが、数多くの断層が存在する上に、強度の熱のために粘土化した花崗岩を主体とする脆弱な地質地帯にあり、またトンネル内の大量の被圧湧水のために、施工が困難を極めている。

本トンネルの特長は、換気方式として、集じん機付立坑による送・排気縦流換気方式を採用していることにある。このために、本線トンネルと交差して集じん機室と地下換気所を設けなければならない。そのため、本線トンネルと同等もしくはそれ以上の大断面の連絡トンネルが交差し、交差部では掘削形状が3次元的となり構造的に不安定となる。したがって、工事の安全を確保する為に現場計測を実施した。計測システムの開発目標を次の3点においた。すなわち、(1)施工中の安全管理 (2)設計、施工計画への反映 (3)将来の設計・施工手法への反映である。

2. 計測項目

本工事では、連絡トンネルの掘削により、本線トンネルの支保工を切断する。このためトンネルの安定性を保つためには、支保工、PCアンカー、ロックボルトおよび鋼繊維コンクリートが補強構造として有効に機能しているか否かを監視することが重要である。以上のことから表-1の項目で計測を実施することとした。

表-1 計測項目一覧表

Measurement items	Equipments	Model	Measuring range	Accuracy	Operating temperature range	Dimension (W × H × D) (φ × L)
Convergence	Convergence meter	NH-15F	0.5 ~ 15 m	0.1 mm	15 ~ 65 ℃	50 × 230 × 399
Stress of steel support	Strain gauge	WFLA-3-350	$\pm 10000 \times 10^{-6}$	1×10^{-6}	0 ~ 80 ℃	3 × 1.9 (mm)
Axial force of PC bolt	Strain gauge	GB-15 ϕ -6	$\pm 10000 \times 10^{-6}$	1×10^{-6}	0 ~ 60 ℃	ϕ 32 × 15000
Axial force of rock bolt	Strain gauge	GB-9 ϕ -6	$\pm 10000 \times 10^{-6}$	1×10^{-6}	0 ~ 60 ℃	ϕ 24 × 9000
Ground displacement	Extensometer	PV-100-6	± 50 mm	0.5 mm	-10 ~ 60 ℃	ϕ 320 × 140
Ground displacement	Aluminum pipe meter	AP-9 ϕ -18	$\pm 2500 \times 10^{-6}$	1×10^{-6}	0 ~ 60 ℃	ϕ 50 × 9000
Stress of concrete	Strain meter	GS-10	$\pm 1000 \times 10^{-6}$	2×10^{-6}	-10 ~ 80 ℃	ϕ 22 × 100

3. システム構成

本工事に使用する自動計測システムを開発するにあたり、下記の事項に留意した。

(1) 施工管理に使用することを重点とし、CRTスクリーン上のデータをすぐにハードコピーできること。

(2) より高度の解析を上位コンピュータでおこなう事を予想し、得られたデータを容易に交換できるようにする。

(3) 操作をしやすく、出力図面が見易いように漢字処理とする。

(4) モデムを使用し、データの遠隔伝送をおこなう。

以上の条件を基本に開発した本システムのハードウェアとソフトウェアの概要を述べる。

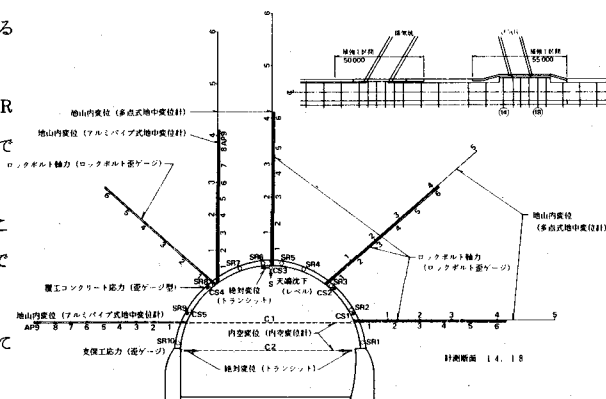


図-1 検出器配置例

Data flow diagram

3-1 ハードウェアの概要

図-1に示すように、各種検出器は地山内に設置され、その出力データは図-2で示すように伝送される。測定開始時には、マイコンからモデムターミナルを経てシグナルプロセッサに測定指令が入り、シグナルプロセッサは順次ローカルスキャナをコントロールして各検出器からのデータを取り込み、A/D変換後モデムターミナルを通じてマイコンに返送する。マイコンはこれらのデータを内蔵のフロッピーディスクに順次ファイルする。また、トンネル内空変位や天端沈下などの測定データはキーボードから入力され、同じくフロッピーディスクにファイルされる。

演算処理された出力は、CRTに表示されるが、必要によりハードコピーされる。また、経時図や分布図などの作成はX-Yプロッタによりおこなわれる。

現在このシステムの操作のために1人の計測要員が勤務しており、主としてデータの監視・整理・メンテナンスなどをおこなっている。

3-2 ソフトウェアの概要

本システムは、特定の計測要員を配置しなくても、誰でもが操作できるようにジョブメニュー方

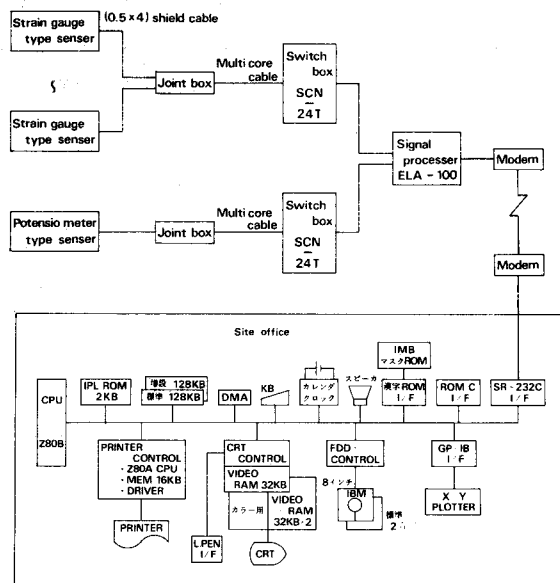


図-2 データフロー図

System	Local scanner	SCN-24R	24 point		0 ~ 40 °C	480 × 150 × 250
	Signal processor	ELA-100	(Total number of scanner) 32	0.1 mV	0 ~ 40 °C	480 × 100 × 350
	Modem	OTR-100	10 km		0 ~ 40 °C	480 × 100 × 350
	Micro computer	IP-800 MODEL 30	(Graphic 640×400 dots) (Operating system CP/M) (Memory 256KB) (5inch floppy disk 1MB)		10 ~ 35 °C	560 × 705 × 515

式を採用し、CRT上の指示に従って必要な計測プログラムを選択し、実行させることとした。

図-3に示すように8本の計測プログラムの他に、7本のシステムユーティリティによって構成されている。

出力は、

- (1) 数表(生データ 演算データ)
- (2) 経時数表(5回分の数表)
- (3) 分布図
- (4) 経時分布図(5回分の分布図)
- (5) 経時変化図

の5種類で、メニューによって、任意選択可能である。

なお、上位コンピュータによる高度の解析のためにIBMフォーマット変換プログラムも別に開発した。

図-4に作図出力の1例を示す。図表例については、紙面の都合上省略するが、計測断面名、月日、検出器名、計測位置などを漢字で表示し、設置番号、データ、単位などは英数字で表し、見やすいように工夫した。

管理上では、図によって定性的な傾向を一早くキャッチし、定量的なデータを数表より把握することによって全体的な挙動と局部的な挙動を早期に察知することを可能としている。特に、経時変化図が示す挙動は管理上大変重要な指針となっている。

4. マイコン導入による効果

本自動計測システムは昭和58年8月末現在で本計測中であり、詳細な導入効果については次回以降の機会に譲るが、少くとも次に述べる事項については、その有用性がすでに実証されている。

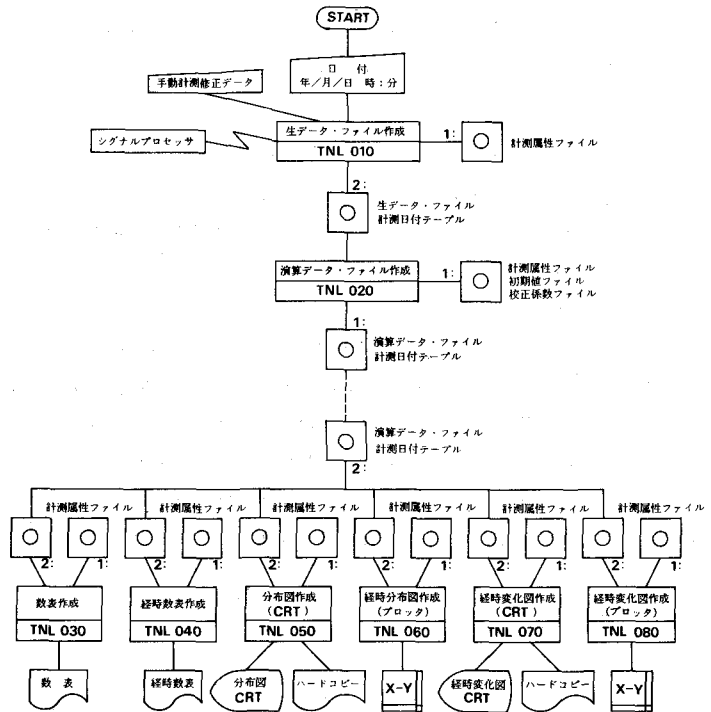


図-3 ソフトウェア構成

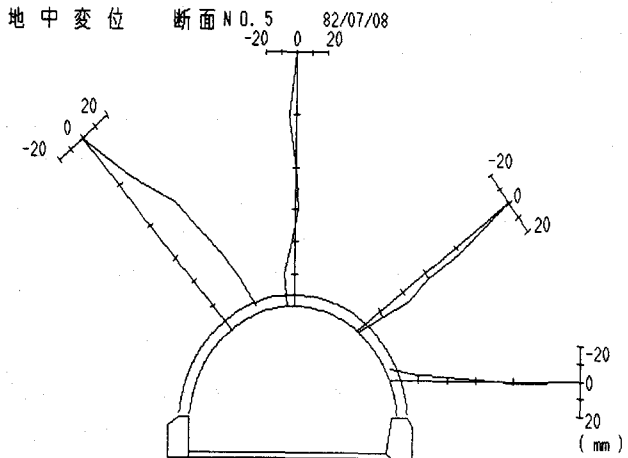


図-4 作図例

(1) 省力化が可能になった

従来のような入力による計測では、少くとも2～3人の計測要員が丸1日以上時間をかけて測定と記録をしなければならなかったデータ(本計測の場合1,544点)を約3時間で自動的に集録でき、大巾なコスト低下をもたらしている。

(2) 迅速な施工へのフィードバックが可能になった

1544点ものデータを解析・作表・作図すると、やはり数人の計測要員が半月以上もかかり、施工に迅速に反映することができないが、本システムでは、表示は即時、作図・作表も数時間で自動的に行い、施工管理に大きな貢献をしている。

(3) 安全である

トンネル内の危険箇所長時間計測員が入り、梯子や重機の上で計測をする事は大変危険で、仕事の邪魔にったり事故の危険があるが、自動計測により大巾に改善され、作業ロスも軽減された。

計測結果は、鋼繊維コンクリート覆工の効果の確認、ロックボルトの長さや設置密度の決定などに関する貴重な情報をもたらしている。このように、計測データの積極的な収集と活用は、今までに明確にされていない地山の力学的性質の定量的な把握ばかりでなく、施工方針の決定に大いに役に立つものである。得られたデータは将来の同種トンネルの設計・施工と解析に重要な資料となろう。

5. 今後の問題点

(1) 処理スピードの向上

1500余点にもなる膨大なデータの処理をするには、現在の8ビットマシンでは時間がかかりすぎる。また、X-Yプロッタの作図時間が長いのも大きなネックになっており、CRT上のデータを数秒でハードコピーがとれる周辺機器の出現が待たれるところである。

(2) 画像処理の簡易化

トンネルの計測断面の模式図上に測定点を表示する場合、工程上からしばしば変更する必要があるが、この場合の修正をプログラムではなく、デジタイザのようなもので簡易化すると作業が非常に楽になる。

(3) 伝送ラインの改善

本システムはモデムでデータの遠隔伝送を行っているが、伝送ラインは1本の電線で山中を引き廻している為に落雷の影響を受け故障の原因となった。コストの問題さえ解決すれば光伝送にしたい所である。

(4) カラープロッタ

折角CRTがカラーで、美しく明快な作図ができていのに、ハードコピーをとるとモノクロームになり、複数の検出器の経時図や分布図ではどれがどれだか判別出来なくなる。カラーハードコピーの実用化が待たれるところである。

(5) 自己診断機能

本システムのように大規模で複雑になると構成部品が多くなり、ハードウェアのMTBFの低下はまぬがれない事である。万一の場合の欠測期間をできるだけ少くするためにシステム全体の自己診断機能をもっと充実させる必要がある。

6. おわりに

本システムの最終的評価は数ヶ月後の計測終了時まで待たなければならないが、開発に際し、多大のご援助を賜った関係各位の方々に厚くお礼を申し上げる次第である。