

# 小型計算機を利用した計測施工システムの開発

—ACRUSS, NATM, HKP について—

日 比 一 喜  
大 西 雄 二  
(土木技術部)  
小 林 公 博  
(計算センター)  
蔵 田 忠 広  
(土木技術部)

## § 1. はじめに

近年、土木・建築の建設工事の大型化、多様化により超軟弱地盤上の超高層、LNG タンク、膨張性の地山における NATM 工法、ロックオイルタンク等の岩盤貯蔵の問題、市街地既設重要構造物に隣接した地下工事など高度の施工技術を要求される工事件数が多くなっている。現在、これらの工事に必要とされる仮設構造物は現行の種々の基準に基づいて、これに新しい理論を加えて計画、設計されてきた。しかし、これらの特に土を相手とした地下構造物は十分な調査を行なった上で計画されているが、施工中の土水圧、地盤の変形などは当初とは異なった状況となることもある。この意味で、計画時点で予想し得ない要素を施工中に測定し、修正を加えながら進める計測施工の重要性が強調されるようになってきた。計測管理の位置づけを図-1に示す。工事中に計測を行ないながら施工を進めることは今に始まった訳ではなく、従来から行われてきたことであるが、特殊条件下で施工例の少ない工事は当然計測項目も増え、その密度も高まってくる。

工事規模が大きくなってくると200~300の計測点数から、特殊な工事では1000点を越えることもある。このような計測施工においては計測自体が現場としても大きな業務となり、その合理化、システム化はコスト面か

ら重要となる。最近の小型計算機の低価格化は、単一現場で、しかも計測業務専用を導入しても十分に経済性を得ることが可能となってきている。

従来からも、軟弱地盤における山止め架構の計測管理は数多く実施され、大型計算機のオンライン利用の例も報告されている。しかし、大型機のオンライン利用もその運用体制、通信コストを考えると必ずしも有利とはいえない。開発したプログラムの共用化、プログラムのメンテナンスなどでメリットはあるが、最近のマイクロコンピュータの出現による計算コストの低減化は、通信コスト、大型機との接続のハード、ソフトのコストの中で十分に独立の処理システムを構成することが可能となってきた。

このような技術環境の中で、東京日比谷の超軟弱地盤で富国生命本社ビル、第一勧銀本社ビルの2つの超高層の建設に伴い、基礎工事の山止め架構の施工に本格的な計測管理が行なわれることになった。計測点数から人手による計測、処理は不可能と判断され、大型機とのオンライン化も検討されたが、マイクロ・コンピュータを利用した使い易い製品が発表され始めてきたこともあって、現場で独立したシステムを導入し、その効果を確認する意味で本システムを開発し、これを ACRUSS と名付けた。

これに続いて NATM 工法（ニュー・オーストリアン・トンネリング・メソッド）における計測管理も実施されることとなった。NATM によるトンネル工法は、一般に地山の強度を利用し、計測により支保の効果を確認しながら施工を進める柔軟な工法といわれ、従来工法に比較して計測とその処理の迅速さが重要視されている。ACRUSS と比較すると、トンネル工事という特殊条件から計器と計算機は接続されていないが、重要な測定点が工事の進行とともに移動し、収録するデータ量の変化が大きいため、ACRUSS に比較して小規模であるが、データのファイリングに柔軟なソフトウェアが必要となるため、これに適したプログラムを開発したので、その



図-1 山止め計測管理

考え方を紹介する。

最後に、前述した2つのシステム、つまり ACRUSS、NATM の特徴を合せ持ち、より大規模な計測施工の例として HKP (博多地下鉄) システムが最近計画され、現在稼動中であるので紹介する。この工事は、博多地下鉄工事による国鉄博多駅構内の掘削に伴う既設構造物の仮受けの施工管理を目的とするもので、計測点数も1500点に達する規模のものである。このシステムは、計測すべき場所が分散していること、高速のデータ取り込みが必要なこと、NATM と同様に計測の点数、密度が工事の進行と共に大きく変化するため、データのファイリングシステムは NATM で利用したものをさらに発展させたものとなっている。HKP では、その規模から中規模のミニコンピュータを利用したシステムとなり、前2者に比較して規模の大きなシステムとなっている。

本報告は、これら3種類の異なったシステムを紹介しそれぞれの特徴を比較し、今後の利用の参考となることを目的とする。

## § 2. 各システムの特徴

### 2.1 ACRUSS (山止め計測システム)

- ・計測点数は100~500点の範囲。
- ・1~2週間(1日4回測定)のデータをカセット・テープにより計算センターへ持ち込むことができる。
- ・BASIC 言語(会話型の簡易プログラミング言語)を利用しているため、プログラムの作成、修正は容易である。
- ・図化処理の機能が高い。
- ・計算センターの大型機でデータの蓄積、次段階の掘削の予測等のプログラムが完備している。
- ・計器(土水圧計、鉄筋応力計、傾斜計など)は全て計算機と結ばれ、任意の時点で計測可能である。

### 2.2 NATM (トンネル計測管理)

- ・計測点数は100~300程度である。
- ・計器は、内容変位の測定等、オンライン化しにくいものがあり、環境条件も特殊なため、データは人手で計算機に入力している。
- ・計測の密度が工事の進行とともに変化するため、データのファイリングに柔軟なシステムを用意した。
- ・今後のソフトウェアの共用化を目標として FORTRAN 言語を採用した。

### 2.3 HKP (博多地下鉄計測システム)

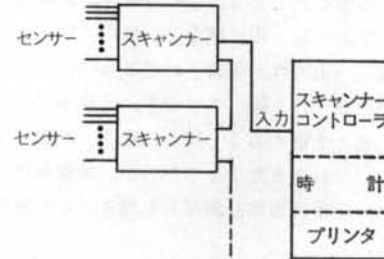
- ・計測点数は500~1500点の範囲である。
- ・計測の間隔が10分に1回程度可能である。
- ・NATM と同様に計器の増設、取りはずしによる計測項目の変更に柔軟に対処できる。
- ・中規模のミニコンピュータを利用しているため、プログラムの多重処理が可能であり、他の業務も実行可能である。
- ・精度の高い沈下測定のため、新しい沈下計を開発適用した。

## § 3. 各システムのハードウェア

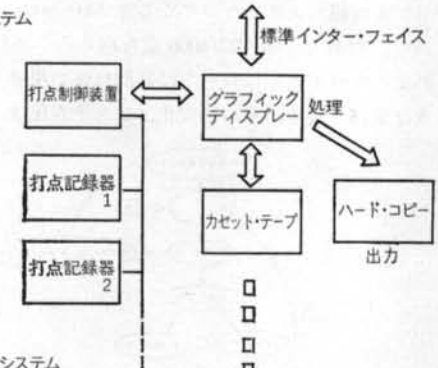
### 3.1 ACRUSS

本システムは、土圧計、水圧計、鉄筋計、傾斜計、切梁ひずみ計、切梁荷重計などの計器を利用しているが、これらの計器には、その電気変換方式により、ひずみゲージ型、カールソン型、しゅう動抵抗型、振動弦型、差動変圧型などの各種の方式があるが、長期安定性の点から差動変圧型が採用された。欧米では振動弦型が広く利

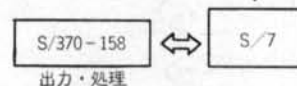
#### (1) 計測システム



#### (2) 図化システム



#### (3) センターシステム



図一2 ACRUSS のシステム構成



写真一 ACRUSS システム

用されているようであるが、国内ではあまり普及していない。ACRUSS システムの構成を図一2に示す。システムの中核となるのは、グラフィック・ディスプレイの付属した TEKTRONIX 4051 である。この計算機（むしろ端末機と呼ぶべき）はマイクロ・コンピュータ（モトローラ 6800）を利用したもので、BASIC 言語でプログラミング可能なもので、最近30万円前後で購入可能なパーソナル・コンピュータと呼ばれるものの前身となったものである。計測器とは GP-IB と呼ばれる国際規格による標準の計測器接続方法によっているため、このシステム専用のハードウェアは存在しない。したがって、他の計測器を接続する場合、計算機を他に流用するときにより有利である。現在、土木関係の計器の仕様はメーカーによりまちまちであり、計算機による計測システムを構成するとき障害となる。このため、計器とそのデータを計算機で読み取り可能な形式に数値化するまでは1つのメーカーで完結させて、前記の標準規格で接続する方式を取ることにより、複数メーカーの計器を混在されることが可能となった。

### 3.2 NATM

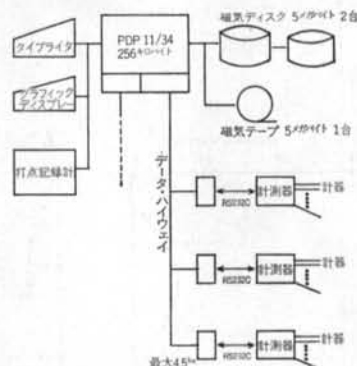
このシステムは、計器と直接つながれていない処理専用の小規模システムである。計測データは、担当者がタイプライタから手で入力することにより処理を行なう。システム構成を図一3に示す。利用した計算機はDEC社のPDP 11をマイクロ・コンピュータ化したもので、ミニコン並の種々のプログラムが実行可能である。

主記憶64キロバイト、補助記憶512キロバイト、図化装置、タイプライタで構成されている。

使用している計器は、内空変位（トンネルの断面の径の変化）測定用のコンパージュンスメジャー、岩盤のゆるみ領域測定用のエクソテンソメータ、などである。当初、ACRUSSと同様に計算機に各計器を直結すること



図一3 NATM 計測システムの構成



図一4 HKP のシステム構成

を検討したが、内空変位測定を自動化する方式がないため断念した。

### 3.3 HKP

このシステムは、掘削に伴う既設構造物の沈下計測を軸に、仮受け、山止め、地下街、コンコース地表面などの広い範囲について沈下計、傾斜計、ジャッキの荷重、仮受け杭の変位計、鉄筋計、仮受ブラケットのずれ、モルタル温度、山止壁の土水圧などの各種計器を接続する必要がある。計器は、測定期間の短い項目を除いて基本的には差動変圧型を利用している。測定項目が多いため複数のメーカーの計器を接続する必要があり、また各所に分散しているために図一4のような構成となった。使用した計算機はDEC社のPDP 11/34で、主記憶256キロバイト、補助記憶10メガバイト、磁気テープ1台、タイプライタ1台、図形出力装置1台を備えた中規模のミニコンピュータシステムとなっている。このシステムの特徴は、一般的にデータ・ハイウェイと呼ばれる計算機と離れた場所のデータを2芯のケーブルで統一的に収集する伝送方式を採用したことにある。この方式により計器の増設が簡単になり、雑音に強い強力なデータ伝送方式を確保することができる。計器とデータ・ハイウェイとの接続は、ACRUSSとは異なるが、RS 232Cと呼ばれるより簡単な標準規格を採用している。

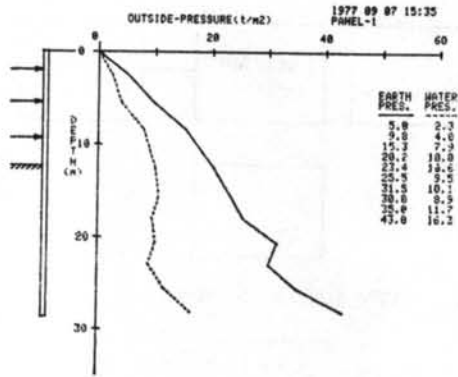


図-5 土水圧

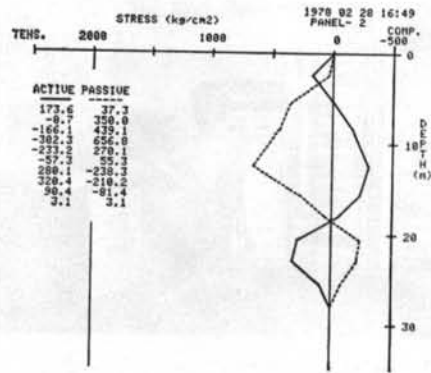


図-7 山止壁の鉄筋応力

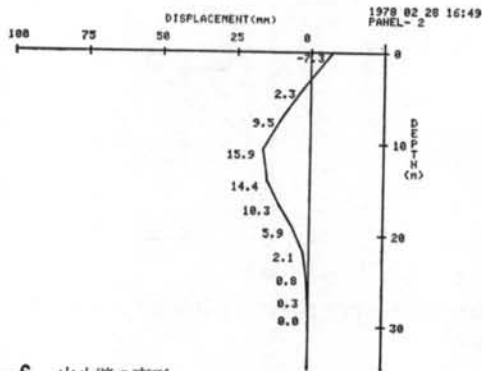


図-6 山止壁の変形

この工事は既設の新幹線の下を通るため、沈下の許容値も3mmと少なく、精度の高い沈下計測を要求されている。また、配管経路の制約から従来の水盛式と呼ばれる沈下計が設置できない。したがって、特殊な型式の圧力沈下計が開発され、設置されることになった。精度が高いため温度補正等の測定値の補正、列車振動などの雑音の除去に計算機のソフトウェアは大きな役割をすることになる。

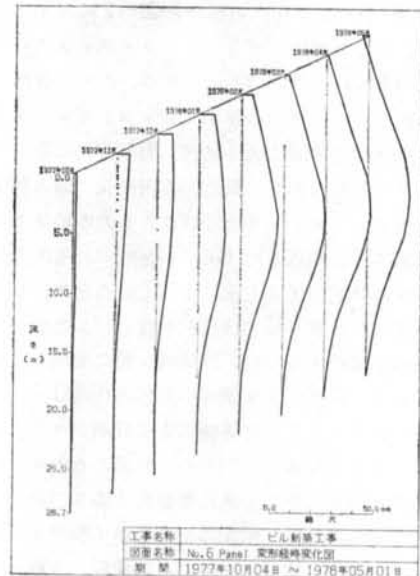


図-8 計算センターにおける山止壁の変形出力

この計算機はデータを保存するための補助記憶装置がカセット・テープであり、容量も少ないため、過去のデータを検索することは行っていない。データの異常を発見するには時間的変化を見るのが最も早い、この目的には打点記録計を使用している。

従来は、計器の出力を直接打点記録計に接続していたが、このシステムでは処理結果を GP-IB 経由で打点記録計制御用のマイクロ・コンピュータへ伝送している。

処理の概要は以下のとおりである。

- ・測定値の1次変換
- ・各種演算
  - 傾斜計から山止壁の変形を算出
  - 切梁ひずみ計から切梁軸力を算出
- ・測定量の断面図の出力
  - 山止壁の深度方向の変化等

## § 4. 各システムのソフトウェア

### 4.1 ACRUSS

プログラムは、BASIC 言語を使用して開発されている。特に、図化処理専用機的な性格の強い機種のため、グラフ作成用の命令が強化されている。このシステムでは、システムの導入効果を少ない開発コストで確認するために、このような構成となっている。測定値の数値化、切換器の制御、カレンダーの管理などは計器側のマイクロ・コンピュータ（東芝 TLCS 12, インテル 8080 等）に任せている。出力例を図-5 から図-9 に示

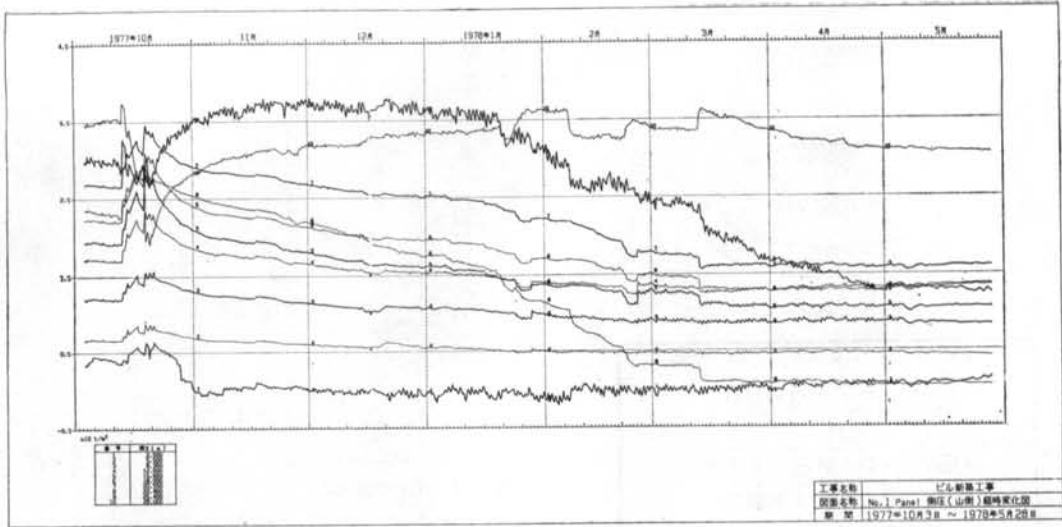


図-9 計算センターにおける経時変化出力



写真-2 カセット・テープ

- ・打点記録計への出力
- ・日報の作成

カセット・テープで計算センターへ入力されたデータは、過去のデータの検索、次段階掘削の予測計算、他の類似の施工計画に対する設計資料として利用される。

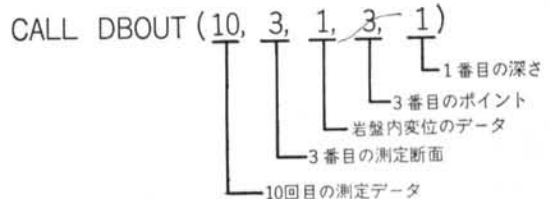
#### 4.2 NATM

本システムは、データは人手により入力しているため処理は測定値の保存、図化が中心となる。トンネルの計測は、切羽の進行と共に測定の重要地点が移動し、増設も順次行なわれる。ある測定場所から見れば、切羽が遠ざかれば地山も安定するため、計測の間隔も長くなる。このため、毎日入力されるデータの量にはばらつきがある。また、施工管理もデータの時間的変化を中心に利用するため、過去のデータを簡単に検索ができるようになっていなければならない。補助記憶に制限のある機械にこのような柔軟なシステムを開発することが、このシステムにおいては重要なポイントである。また、今

後の利用を考え、かつ開発を大型機で先行することを考えて、FORTRAN 言語を採用した。

このソフトの考え方は、施工管理に必要なプログラムを準備する人間が補助記憶の構造、読み出しのための複雑な約束ごとを考えずに、計測計画と直観的に対応してデータを検索することができることを目標としている。

読み出しの例を FORTRAN 言語で示す。



上図のように、指定されたデータを過去に蓄積されたデータ・ファイルから読み出せという命令である。各項目の順序、数字との対応、例えば岩盤変位は1、内空変位は2といったキーワードは計測の計画者が任意に決めればよい。現場に対応してデータのファイリングのプログラムを作り変えることはない。データのファイリングの概念を図-10～図-12に示す。

#### 4.3 HKP

このシステムでは、何種類かの計器が同時に動作し、また測定結果の異常を調べるプログラム、測定データを図化するプログラム、若干の解析のためのプログラム等を同時に実行する必要から、DEC社のRSX 11 Mと呼ばれる多重処理用の管理プログラムを利用している。このプログラムの利用により、計測中でも何人かのプログラマが同時にプログラムの修正、データの検索を行なう



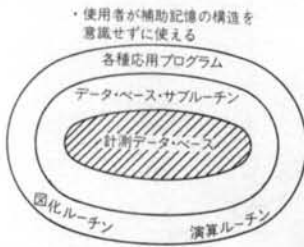


図-10 データ・ファイルの概念

VOL-ID: データ・ベースの定義
TERM-ID: 計測項目の認識
FILE-ID: データ・ファイルの認識
LOCATION-ID: 計器設置の座標
DATA-FILE: データの領域

図-11 データ・ファイルの構造

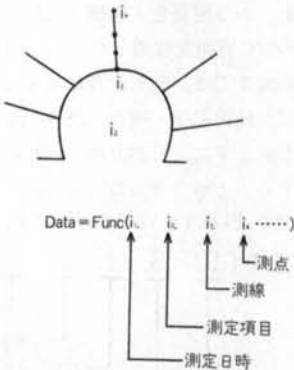


図-12 データ・ファイルのアクセス方法

ことができ、開発の効率は大きく向上した。

HKP においても NATM と同様に計器の増設、変更が多く、データ・ファイリングのシステムには柔軟性が要求され、NATM のファイリング・プログラムを大きく拡張したものになっている。

処理プログラムとしては、ACRUSS、NATM と比較して計測項目が多いだけに多岐にわたっている。山止め管理に関するものは ACRUSS と同様であるが、沈下管理に関するものは従来になかったものである。

また、測定結果の監視を、従来に比較してより多くをプログラムにより行なっている。重要な項目については打点記録計を利用しているが、点数が多いため警報プログラムはある程度必要と思われる。設定値の多重化、設定値以下であっても、時間的に変化の大きなものに対して警報をタイプライタ上に打ち出すようにしている。

グラフィック・ディスプレイへ出力した例を図-13～図-18に示す。

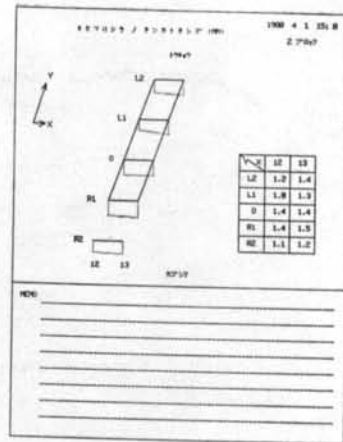


図-13 沈下の透視図

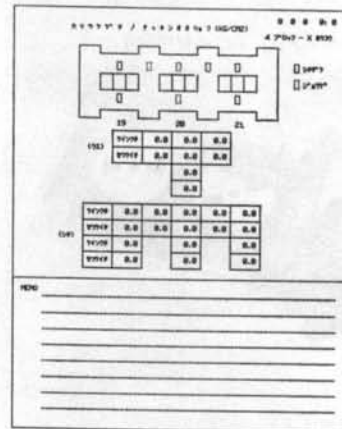


図-14 仮受桁の鉄筋応力

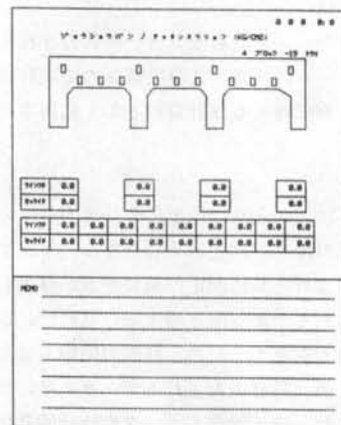
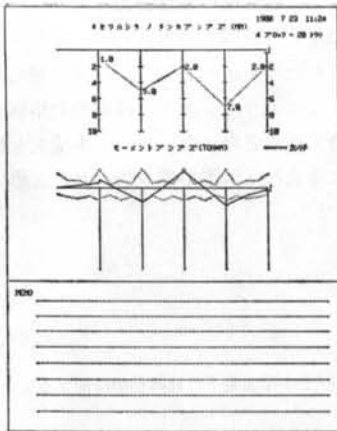


図-15 上床板の鉄筋応力



図一16 既設柱の沈下分布図

	1	2	3	4	5	6
1	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0
2	139.5	139.5	139.5	139.5	139.5	139.5
3	177.3	177.3	177.3	177.3	177.3	177.3
4	171.1	171.1	171.1	171.1	171.1	171.1
5	129.0	129.0	129.0	129.0	129.0	129.0
6	88.6	88.6	88.6	88.6	88.6	88.6
7	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9

図一17 切梁軸力の一覧表

	12	13
L2	1.5 1.4 1.6 1.3	1.4
L1	1.3 1.5 1.6 1.5	1.3
0	1.7 1.1 1.3 1.4	1.4
R1	1.7 1.4 1.3 1.2	1.5
R0	1.2 1.3 1.4 1.5	1.2

図一18 既設柱の沈下、傾斜の一覧表

## § 5. 各システムの利用実績とその問題点

### 5.1 ACRUSS

ACRUSS は富国生命本社ビル、DKB 本社ビル、手賀沼下水処理場、帝国ホテル新館などに利用され、袖ヶ浦 LNG タンクにも利用される予定である。

システムの故障率は計算機は年1~2回、計器は当初切替器などで故障が多かったが、現在は安定してきている。このACRUSS に利用した計算機は端末器的な小規模のものであり、他の業務と並行して利用することは不可能で計測業務単独で使うことが望ましい。

### 5.2 NATM

北海道稲里トンネルに適用され約1年使用したが、故障率は零で、全く問題はない。寒冷地での使用ということで心配されたが、これも問題はなかった(現場事務所内に設置)。補助記憶の容量が256キロバイト2台と若干少なく、データの保存、プログラムの作成には現在の2倍の容量はあった方がよい。

### 5.3 HKP

このシステムは昭和55年7月に稼働を開始したばかりで、計測点数が最大になるのは昭和56年以降となるので、ピーク時の性能評価は今後の問題である。今回採用したミニコンピュータ・クラスの機種は、通常の事務室程度の環境であれば十分問題なく使用できる。ただし、補助記憶には本格的なディスクを採用しているので、ある程度以上の環境と都市部に近い、メーカーのメンテナンス要員の出張に時間のかからない場所での利用が望ましい。このクラスのミニコンピュータは、ソフトウェアも一昔前に比べると本格的な管理プログラムが完備され非常に使いやすくなっているが、ACRUSS、NATM に利用した機種に比較すると、導入、メンテナンス等の負荷は大きくなるので、ある程度以上大規模な計測でない限りメリットはないであろう。

## § 6. まとめ

以上、ACRUSS、NATM、HKP と3種の異なる計測システムを紹介した。ACRUSS、HKP は任意の時点で測定データの処理結果が即時に得ることができるため、現場の施工状態に対応した仮設構造物の挙動を刻々把握することができ、より安全で、より合理的な施工が可能となった。データの収録、処理にほとんど人手を要

しないため、係員は測定値の工学的判断に専念すればよいわけで、大きな省力化が可能である。しかし、これらのシステムを運用するに当って仮設建造物の安全性を判断するのは、計測システムではなく担当する技術者にあるということを強調したい。

なお、本システムは現場、土木技術部、計算センタ

ー、建築技術部、研究所の密な協力により完成されたもので、昭和52年8月富国生命本社ビルにACRUSSシステムが導入されたのを最初として、以後何現場かで導入されてきた。このようなシステムは現場の積極的な協力があって始めて可能となったもので、本論文を借りて関係者の方々に多大なる感謝の意を表したいと思います。

#### <参考文献>

- 1) 日比, 小林: "Graphic Display を利用した大型山留め計測管理システム" 土木学会電子計算機利用に関するシンポジウム (1977)
- 2) 青山, 小林, 日比: "Graphic Display を利用した大型山止め計測管理システム" 第1回日本建築学会電子計算機利用シンポジウム (1979)
- 3) 日比, 藤田, 高崎: "NATM 計測システムにおける計測データベースの試み" 土木学会電子計算機利用に関するシンポジウム (1979)
- 4) 稲垣, 吉田, 小林: "Graphic Display を用いた大型山留計測管理 System" 土木学会年次学術講演会講演概要集 (1978)