

14. トンネル断面自動測定システム

(株)熊谷組：*岡田 喬・所沢 豊

松枝浩太郎

富士物産(株)：木村 忠英

1. はじめに

日本の代表的なトンネル工法となっているNATMでは、断面形状の管理がこれまで以上に重要なウェイトを占めています。一方、今後ますます増加が予想される老朽化トンネルの改築立案に当たっても、トンネル断面形状の迅速で正確な測定技術の確立が望まれています。また近年は、石油、LPG等の地下備蓄、地下発電所等、大規模地下空間の建設が盛んでこれらの正確な断面形状、容積の測定が新たな課題として上がっている。このような背景のもと、空洞部の形状診断作業は、施工、供用中を問わず、あらゆる状況下でも測定が可能であること、測定したデータの処理は各ケース毎の要求に的確に対応できる幅広い解析、評価メニューが必要であり、かつこれらの作業（測定から評価）が高い省人化で迅速に行えることが要求される。本システムは、このような要求に答えるべく開発された、高性能、多機能なトンネル断面測定システムである。

2. トンネル断面測定装置と開発方針

近年、トンネルの形状を測定する装置はかなり進歩したが測定断面を設計断面と比較するために手間と時間の掛かる測定装置の位置検出作業があり、測定作業全体では相変わらず手間と時間の掛かる結果となった。このため、測定から評価まで全ての作業の合理化レベルの均一化を目指して開発方針を次のように定めた。即ち、

- ①測定装置設置作業の省力、効率化それぞれの状況にマッチした新しい位置決め、位置検出機能の開発。
- ②機動力の大きいシステム、ユニット台車システムの開発。
- ③連続自動測定システムとしてモノレール走行測定ロボットの開発
- ④汎用性の高い、測定制御および評価プログラムの開発。

が主なテーマである。

3. 開発技術と成果

開発方針によって実現化した項目は表-1のようになる。これらの項目は、各々に開発された要素技術の組合せにより成り立っており要素技術の組合せは表-2のようになる。以下個々の開発項目について説明する。

表-1 開発項目と成果

	用 途	能 力 比 較	
		開 発 機	従 来 機
ユニット台車測定システム	測定区間が長い場合（数 100~1,000 m）一定ピッチ（2~30 m）で連続測定する	1人で 6~8 分/断面	3~4 人で 20~30 分/断面
切羽における当り余り表示システム	作業中の切羽で迅速に測定する	1人で 10 分/断面	2~3 人で 20~30 分/断面
	現地で直接地山に当り・余りの表示を行う（マーキング）	測定位置ちにプレイバック、直接作業員に確認させる	従来機には無い
連続自動立体測定システム	短い区間を小さいピッチで迅速に連続に連続自動測定し、立体解析を行う。特に、2次掘工前の巻厚チェックに極めて有効	1人で4可換機セットを含めて、1区間（10~20m）20~30 断面の測定を1時間以内	従来機には無い
NATM計画システム	NATA計画の一環としての地山挙動把握をトンネル形状で測定し、直感的なトンネル形状変化で解析する	1人で 5 分/断面	従来機には無い
水平断面連続測定システム	立杭・ナイロ等、鉛直筒状構造物を水平断面で任意の高さを連続的に測定して形状・容積の三次元的チェックする	1人でセット（5分） 1断面 3分	従来機には無い

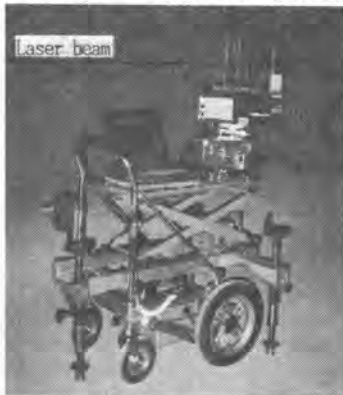
表-2 開発技術と用途の組合一覧表

開発した 要素技術	用途	切羽、当り余 根診断	吹付および覆 工厚診断	長区間、多断 面連続診断	縦横断面詳細 診断	立体断面測定	水平断面連続 測定	トンネル変状 断面測定
位置決めの位置検出 既設レーザ方式① 専用レーザ方式② 専用基準点方式③ 専用アンカー方式④		①	① ③ ④	② ④				⑤
ユニット台車		○	○	○				
モノレール走行、測定ロ ボット 水平断面⑥ 鉛直断面⑦					⑧	⑨	⑩	
評価メニュー(タイプ) 設計断面との比較① 測定断面同士の比較② 断面連続評価③ 立体評価④		①	②	① ②	③	④	⑤	⑥
測定制御ソフト(特殊) プレイバック① 測定断面指定②		①			②	③	④	

3-1 ユニット台車システム

図-1、写真-1に示すように、走行動力を持つ機動性のある台車に水平およびX, Y, Z方向の位置決め機能を搭載した台車測定システムである。位置決めは、直線区間では、レーザと二重ターゲットを用い、カーブでは、測点上に鉛直ロッドを使用する。また、切羽で測定する場合は、掘進方向を示す、既設の測量用レーザから直角反射ミラー付ターゲットを使用して迅速かつ簡便に位置検出を行う。(図-2、写-2)

本システムは、一般的には一度に多断面、長距離の測定を行う場合に効果が高い。



ユニット台車

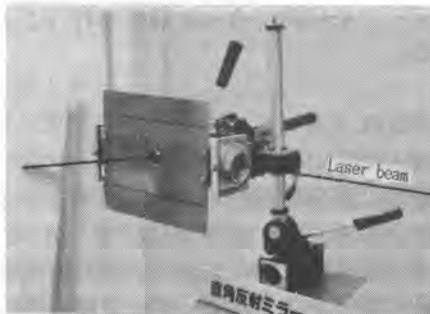


写真-2 直角反射ミラー付ターゲット

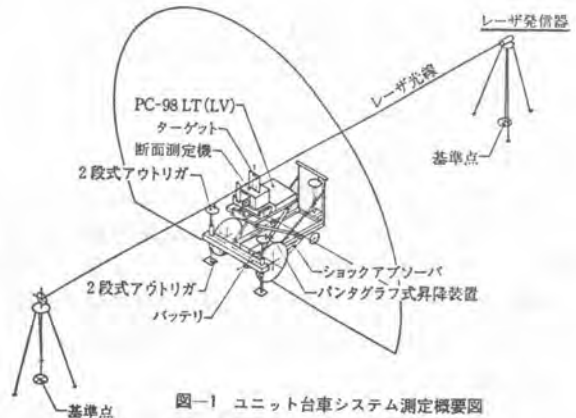


図-1 ユニット台車システム測定概要図

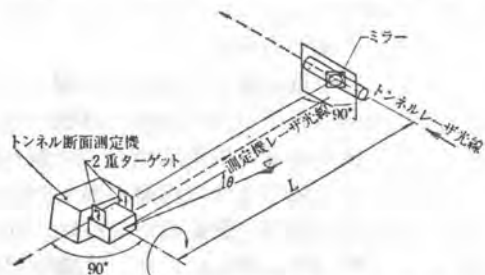


図-2 レーザ光線による測定器計置と位置検出原理図

3-2 モノレール式走行測定ロボット

トンネル縦断方向にも細かいピッチで断面を自動的に測定するロボットである(図-3、写-3)。ロボットはモノレール上を走行する走行部と測定部からなりコンピューターを介して各機能が集中コントロールされている(図-4)。モノレールは、測定機のレーザー光と専用のターゲット台車を使用して、簡便かつ迅速に直線状に敷設することができる。各測定位置はモノレールの始点と終点の座標を入力すると、ロボットの走行量に合わせて自動的に補正入力される。

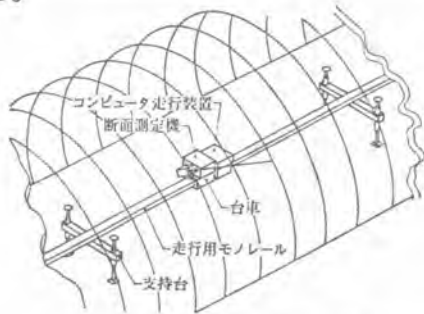


図-3 連続立体自動測定システム概要図

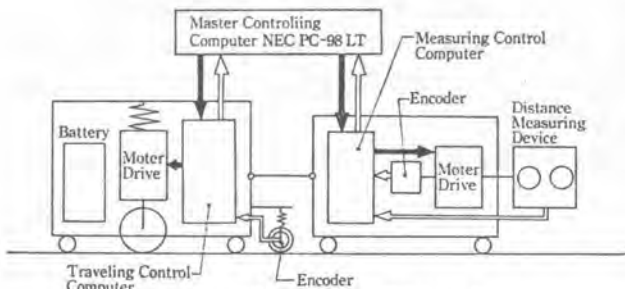


図-4 立体測定用、走行、測定ロボット



写真-3 立体走行測定ロボット(上)と測定状況(下)

3-3 定地点測定システム

同一断面を繰り返し測定するシステムである(図-5)。本システムは、同一地点へ測定装置を正確、簡便にセットできる特殊アンカーとチャッキング金具より構成されている。断面形状の経時的変状を測定できるためNATMの断面管理に効果が期待されている。

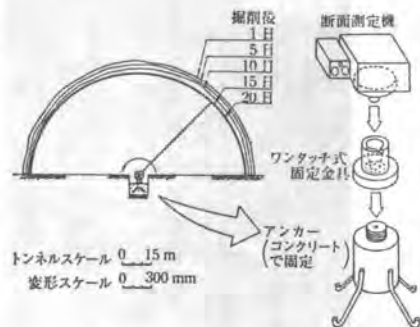


図-5 トンネル断面変状計測システム

4. 評価

3で説明した各システム(機構)によって得られたデータを目的に合った解析を行うことのできる多くの評価メニューのプログラムを開発している。

4-1 当り・余掘りの評価

- (1) 当り余掘り量の表示および覆工ボリューム計算(図-6)
- (2) 現地における当り余掘り診断システム(図-7)

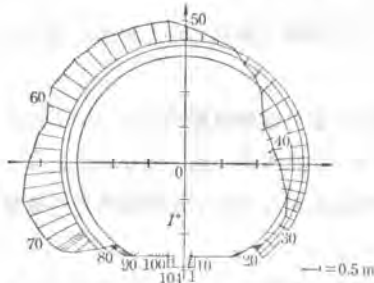
測定直後に現地で当り・余掘り量を評価し、該当地点をマーキングするシステムで掘削管理の指導に最も効果的な手段となる。測定制御コンピューターの画面に作図、数値表示を行い、かつプレイバック機能により当り余掘り箇所を実際の地山面にレーザー光線で自動的に表示するシステムで、現位置評価のため掘削管理の指導に最も効果的手段となる。

4-2 NATM施工時の経時的トンネル断面変状評価

定位置での繰り返し測定によるデータは、重ね合わせることで、そのトンネル断面の経時的変状を見ることが出来る。特に、変形量の拡大倍率を変化させることにより変状特性や予測の判断資料として利用できる(図-5)。

4-3 立体評価

立体測定した断面データを評価するメニューで構造物容積の計算は基よりの立体図から展開図、さらに多断面の統計的処理(作図および数値表示)がある。石油備蓄等の地下空洞のタンクテーブルの作成に威力を発揮する(図-8, 9)。



膨張性地山における内空変形測定事例
(鶴立山トンネル)

図-6 ユニット台車システムによる測定結果(例)

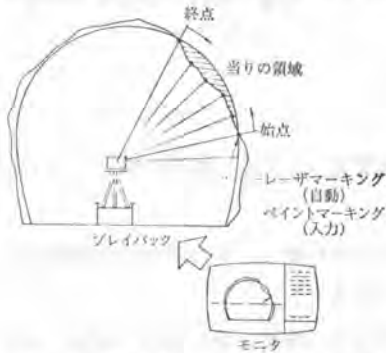
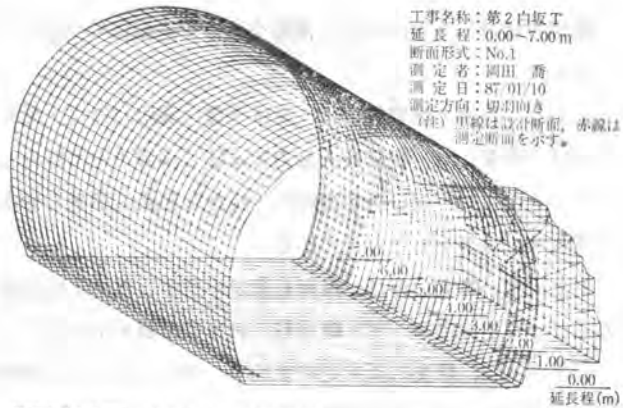
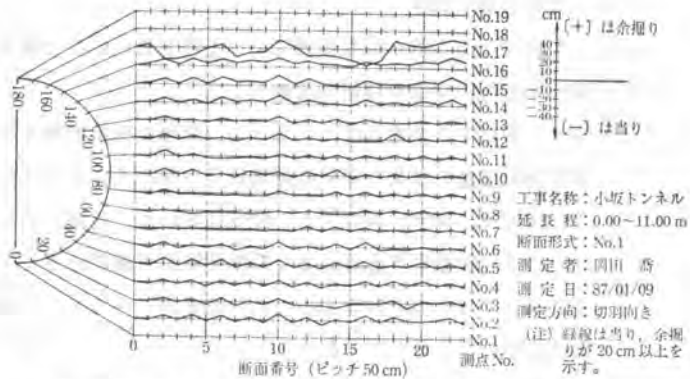


図-7 当り・余掘り現地(切羽)診断システム



連続自動立体測定システムにおける解析事例
(第2白坂トンネル)

図-8 立体測定評価例(バース)



連続自動立体測定システムにおける解析事例2)
(小坂2号トンネル)

図-9 立体測定評価例(展開図)

5. あとがき

以上説明したように、本システムは現場状況に合わせた多種の機能を持っているため、各現場の状況、目的に合致した最も確な測定と評価を行うことが出来る。このため、現在までに多くの現場で2,000断面以上の測定実績を持つに到っている。データ採取(測定)が容易でしかも信頼性が高くなれば利用範囲も拡大するわけで、現在トンネル等地下空洞のみならず明かりの法面形状をはじめ、建築構造物(サイロ、溶鉱炉)等の形状診断にも用途を拡げている。今後も、これらの要望(利用範囲)の拡大を目指し、さらに幅広いシステムとして開発を進めていきたい。