

23. トンネル断面測定装置の開発

清水建設(株) 久保裕之・梶岡保夫・山室保夫

1. まえがき

トンネルや地下構造物の建設工事は地質条件などに大きな影響をうけ、一品生産的な要素が強い。したがって施工の各段階においては、現状をすみやかに把握し、問題点を解明して適切な対策を構ずるといふ、一貫した管理システムが必要となる。

本装置の開発はこのような背景から、施工管理の一端を担うべく着手されたもので、具体的にはトンネルの掘削断面形状を迅速かつ正確に把握し、削孔状況を発破パターンにフィードバックすることによりトンネルの余廻りの減少をはかることを目的としている。

また、本装置は小型コンピュータ(シャープ・PC-1500・ポケットコンピュータ)利用による自動化・省力化をねらいとした開発の一例であり、NATMやシールド等の工事においても地山の変動やセグメントの変形を把握する必要から、精度のよい断面測定装置の要求があり、その応用範囲は広い。以下に開発の概要を報告し、今後の参考に供したい。

2. 現状のトンネル断面測定法

従来からよく知られている内空断面の測定法を分類すると表・1のようになる。当社で開発したトンネル断面測定装置はこのうちの光学法で、現在市販されているものがあるが、手動式のものであったり、また全自動ではあるが、かなり大規模であり高価であるという欠点を持っている。



3. トンネル断面測定装置の開発

①装置の検討

装置の基本的考え方として、大がかりな装置でなく、運搬・据付けに手間どらない簡便なものということで種々検討した結果、当社の開発技術の一つであるビデオポジションスケール (Video Position Scale, 画像式計測装置の一種で以下VPSと略記する。)の原理を応用したトンネル断面測定装置のアイデアが生まれ、開発に着手した。

②VPSの原理

図・1において、交点から発せられる光の一部はレンズを介して内部のCCDイメージセンサという撮像素子の上に到達し、光点の像を結ぶ。CCDイメージセンサは一種の半導体部品で、一辺が10ミクロン程度の大きさのフォトエレメントが規則正しくマトリックス状に並んだ構造をしている。個々のエレメントはおのおのの独立に光に反応し、その光量に比例した電荷を蓄積する。

表・1 内空断面測定法の分類

したがってその背景に比べて光点が充分明ければ、どのフォトエレメントに光点の像が写っているかを電気的に判断することができる。

③VPSを応用したトンネル断面測定装置の原理

基準筒部の一端にCCDイメージセンサ内蔵の撮像カメラを設け、他端にレーザービーム発射装置（レーザービームは基準筒に設けられたレーザー発信器から発射され、全反射ミラーにより基準と直交する方向に屈折投射される機構となっている。）を備えた装置で、基準筒は所定ピッチ（5°以上任意選択）で自転する。

図・2に、本装置をトンネル坑軸方向に平行に据付け、あるピッチで基準筒が自転し、壁面にレーザービームを照射している状況を示す。この場合の測定距離は図・3において

y：基準筒の基線（回転中心軸）からレーザー照射壁面までの距離

y₀：レーザースポットPがレンズ光軸中心線上にある場合の、基準筒基線からP（=P₀）までの距離

α：壁面に投射されたレーザースポットPとレンズ中心を結ぶ線と、レンズ光軸中心とのなす角

D：基準筒長（一定）

E：基線に対するレンズ中心（O点）のズレ（一定）

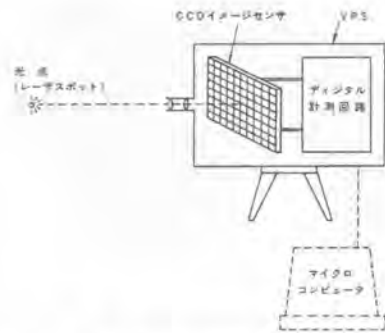
B：撮像カメラのレンズバック（一定）

とすると、CCDイメージセンサのイメージエリア上に投影された光点（レーザースポットP）の像の位置Hにより

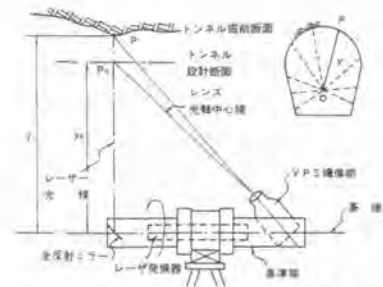
$$y = D \times \tan(\theta \pm \alpha) + E$$

で与えられる。

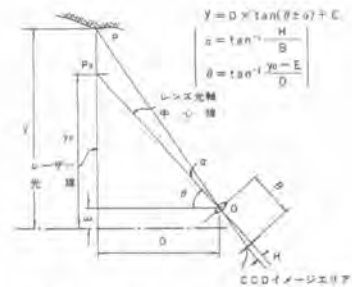
このようにしてトンネル断面方向に基準筒を自転させながら、壁面に投射されたレーザースポットPと装置基線との距離yを逐次求めることにより、トンネル断面の形状を知ることができる。



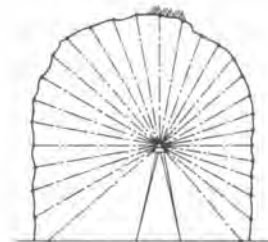
図・1 VPSの原理



図・2 トンネル断面測定装置の測定原理



図・3 測定原理



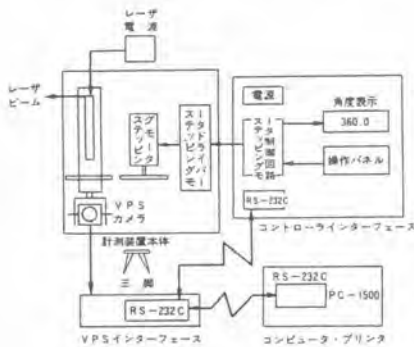
図・4 測定状況

4. 装置の完成

装置全体の写真、構成ブロック図を図・5、図・6に示す。また装置の主要仕様を表・2に示す。



図・5 装置全体の写真



図・6 構成ブロック図

1仕様	1)トンネル断面計測方式	基準固定レーザー光点移動鏡計測方式
	2)計測範囲	計測長さ 1.8m~3.2m
	3)計測ピッチ角	最小ピッチ 5°
	4)精 度	距離精度 ±10mm 角度精度 ±1'
	5)電 源	A.C. 100V
2構成	計6ブロックで構成される。	
	1)計測装置本体	収納ケース入
	・寸法 長さ×巾×高さ	620×200×305mm
	・重 量	22.4kg (本体 18.2kg, ケース 3.6kg)
	・回転駆動機構	オリエンタルPH564A(5相)
	・ステッピングモータ	出力 2mW 型式 1303
	・レーザー発振器	Uniphase(U.S.A)He-Ne ガスレーザー発振器
	・VPSカメラ	
	・寸法	80×70×70mm(アルミ製)
	・レンズ	NIKKOR 50mm 1:1.8
	・センサ(CCDイメージセンサ)	松下電子製MEL-1254A
	2)VPSインターフェース	CCDイメージセンサ上の光点の位置検出をコントロールする
	・寸法 長さ×巾×高さ	370×140×350mm
	・重 量	7.4kg
	3)コントローラインターフェース	アルミトランク入VPSとステッピングモータとの相互制御機能を有する
	・寸法 長さ×巾×高さ	385×210×285mm
	・重 量	7.1kg
	4)コンピュータ、プリンター	シャープレ製(収納ケース入)
	・寸法 長さ×巾×高さ	460×370×95mm
	・重 量	7.2kg
	・コンピュータ	PC-1500
	・プリンタ	同上用CE-150
	・文信インターフェース	同上用CE-158
	5)三 脚	レベル用金属製三脚
	6)レーザー電源	Uniphase(U.S.A)
	・形 式	1201-1
	・重 量	1.5kg

表・2 主要仕様

5. 完成テストと試用

①完成テスト

装置を完成し精度確認実験を行なった結果を表・3に示す。精度は当初設定した±10mm以下という目標を達成している。

②測定手順

・断面測定装置を三脚上に取付け、トンネル中

スケールの読み R (mm)	測 定 装 置 の 読 み										ΔR	σ
	1 測 目		2 測 目		3 測 目		4 測 目		5 測 目			
	RV (mm)	ΔR (mm)	RV (mm)	ΔR (mm)	RV (mm)	ΔR (mm)	RV (mm)	ΔR (mm)	RV (mm)	ΔR (mm)		
1,700	1,701.1	1.1	1,701.2	1.2	1,701.1	1.1	1,701.1	1.1	1,701.0	1.0	1.1	0.05
1,800	1,801.1	1.1	1,801.1	1.1	1,801.0	1.0	1,801.2	1.2	1,801.2	1.2	1.12	0.07
2,000	2,001.3	1.3	2,001.4	1.4	2,001.3	1.3	2,001.4	1.4	2,001.4	1.4	1.36	0.05
2,200	2,201.3	1.3	2,201.0	1.0	2,201.3	1.3	2,201.3	1.3	2,201.3	1.3	1.24	0.12
2,400	2,401.8	1.8	2,401.6	1.6	2,401.8	1.8	2,401.6	1.6	2,401.6	1.6	1.68	0.10
2,600	2,601.0	1.0	2,601.2	1.2	2,601.2	1.2	2,601.3	1.3	2,601.3	1.3	1.2	0.11
2,800	2,800.4	0.4	2,800.4	0.4	2,800.2	0.2	2,800.2	0.2	2,800.4	0.4	0.32	0.10
3,000	3,001.2	1.2	3,001.1	1.1	3,001.1	1.1	3,001.1	1.1	3,001.2	1.2	1.14	0.05
3,200	3,198.5	-1.5	3,198.5	-1.5	3,198.7	-1.3	3,198.5	-1.5	3,198.4	-1.6	-1.48	0.10
3,300	3,299.8	-0.2	3,300	0	3,299.8	-0.2	3,299.8	-0.2	3,299.7	-0.3	-0.18	0.10

表・3 トンネル断面測定装置テスト結果

心線とほぼ平行に向け、円形気泡管により水平を出す。

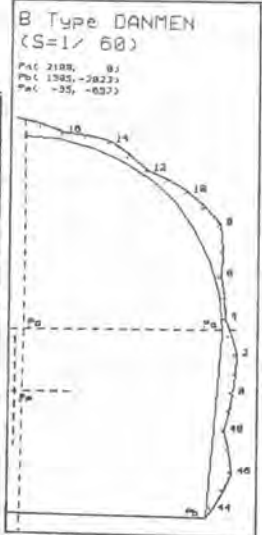
- 装置電源、レーザー電源をONにする。
- 基準筒を回転させてレーザービームを鉛直下に向ける。レーザービームスライドツマミによりレーザービームをトンネル後方にスライドしてゆき、坑内基準ダボとのズレを測る。これにより装置をトンネル中心線と平行に据付けるとともに、据付位置を求める。
- 基準筒を回転させレーザービームを水平にセットする。レーザースライドツマミによりレーザービームをスライドさせ、トンネル側壁に設けた基準線により上下方向の据付位置を求める。
- 以上により測定準備は終了。レーザービームを水平方向にセットしておき、ポケットコンピュータの操作により自動的に計測を開始し、360度計測終了後据付位置を入力すれば、トンネル中心点からの距離、面積等を演算しアウトプットする。

Ca (Inn Po) (-25, -632)	No. (No.)	Lea2	Lea3	Lea4
0	0	2221		
1	5	2250		
2	10	2255		
3	15	2280		
4	20	2265		
5	25	2410		
6	30	2514		

Ca (Inn Po) (0)	No. (No.)	Lea2	Lea3	Lea4
0	0	2102	2232	178 (162)
1	5	2123	2206	182 (175)
2	10	2181	2201	175 (172)
3	15	2057	2265	190 (183)
4	20	2100	2138	38 (0)
5	25	2100	2112	42 (0)
6	30	2100	2156	56 (0)

Ca (Inn Po) (0)	No. (No.)	Lea2	d5a	d5b
0	0	0.20	0.22	0.03
1	5	0.20	0.22	0.03
2	10	0.15	0.21	0.02
3	15	0.15	0.20	0.01
4	20	0.22	0.23	0.08
5	25	0.23	0.24	0.01
6	30	0.25	0.20	0.02

TOTAL
(area) (m2)
Ss = 15.19
Sc = 16.73
Sy = 1.54
Sy(+)= 1.54
Sy(-)= 0.00



図・7 計測結果の一例

6. 計測結果の一例

図・7は、本装置開発の契機となった作業所の計測結果である。内側の設計掘削線に対し、実際の掘削は外側の線で示されており、約1.54㎡の余掘となっている。このアウトプットを見て、次の発破パターンにフィードバックした。その結果余掘は大幅に減少した。

またこの例以外にもNATM工法による断面形状の変位、二次巻コンクリートの巻圧管理等の例があるが、紙面にかぎりがあり割愛させていただく。

7. あとがき

本装置の開発により所期の目的は一応達せられた。しかしながらユニット数が多く重量が測量機としては重い。また計測の準備（据付・位置出し）に時間がかかる等の意見があがってきている。このような問題点を真摯にうけとめ、現在不具合点を解明して改良に結びつけ、実用機を製作すべく取組んでいる。