# 第4章 大谷第一トンネルへの適用

本研究では,道路トンネルのひび割れに着目し,前章で提案する健全性評価手法を大谷第一トンネルに適用して, 提案手法の実用性について検討した.

実用性を評価する際には、以下の2点を考慮することとした.なお、本章では、計測機器自体の課題については 言及しないこととする.(参考資料において検討する.)

- 従来手法による健全性評価結果との比較
- ② 特に構造的な変状に関する健全性評価において、大谷第一トンネルが置かれている状況に対して整合性 のある評価結果が得られるか

適用の対象とした大谷第一トンネルは、トンネルと斜交するような地すべりの存在が確認されており、地すべりの動きに伴う影響(外力)を受けていると考えられ、現在閉鎖中のトンネルである.また、本トンネルは事前の調査によって健全性評価が行われているものである.

### 4.1 大谷第一トンネルの概要

大谷第一トンネルは、矢板工法により掘削された山岳トンネルであり、延長 82m, 内空幅 7.72m, 内空高さ 5.75m の二車線道路トンネルである. 昭和 37 年 12 月に供用されており、現在まででほぼ半世紀を経ている.

### 4.1.1 トンネル周辺の地形概要

昭和 37 年に撮影された空中写真の判読結果を図 4.1.1 に示す. なお,対象トンネル周辺では昭和 38 年に大谷 第一,第二,第三トンネル付近で山崩れが発生している.

海岸線に平行に通っている国道 8 号上方斜面には,幅 100~200m程度の滑落崖・崩壊地形が多数認められる. また,その頭部は南北に走るリニアメントに規制されている.なお,このリニアメントは後述する甲楽城断層とほ ぼ平行となっている.大谷第一トンネル周辺にも地すべり地形が多数判読できる.これらの地すべりブロックは幅 200~300m 程度(8 号道路レベルにおいて)と推定される.

大谷第一トンネル直近にある孔内傾斜計観測孔では、平成12年度より観測が継続されており、既往調査結果に よると、豪雨および融雪時期に微小な地すべりの動きがあることが判明している.



# 4.1.2 トンネル周辺の地質概要

調査地は, 敦賀湾に面する西側斜面の海食崖上部に位置する.

調査地周辺は南北に走るリニアメントが認められ、リニアメント付近に地すべり地形が認められる.

図 4.1.2 に調査地周辺の地質図を示す.

調査地には、基盤岩として中生代に形成された美濃帯と呼ばれる地層が分布し、主に泥質混在岩 Fm(粘板岩と これに含まれるチャートおよび砂岩の岩塊)で構成され,南北方向に凝灰岩 Fb(玄武岩溶岩および火山砕屑岩等 の緑色岩類)が挟まれる.これに新第三紀中新世の安山岩Aの岩脈が東西方向に貫入している.

調査地南~西方には甲楽城(かぶらぎ)断層や山中断層等の活断層が見られ、地質的に複雑な構造運動を被った と考えられる.

図 4.1.3 に、大谷第一トンネル周辺の既往調査結果より抜粋した地質平面図を示す.



図 4.1.2 大谷地区周辺の地質図 (1:200,000,地質図,岐阜より抜粋引用)

A;紫色:安山岩及び閃緑斑岩(岩脈岩類,前~中期中新世) Fm;灰色:泥質混在岩(美濃帯,中生代)

Fb;緑色:玄武岩溶岩及び火山砕屑岩(美濃帯,中生代)



# 4.1.3 大谷第一トンネルの地形・地質概要

大谷第一トンネルは粘板岩と安山岩の境界部に位置している.これまでの調査で、大谷第一トンネルでは、地す べりに起因するものと推定される変状が確認されている.また、地すべり活動に伴う変状の進行も確認されており、 現在では大谷第一トンネルを含む一部道路区間は閉鎖されている.

図 4.1.4 に地質縦断図を,図 4.1.5 に地質横断図をそれぞれ示す.









### 4.1.4 トンネル周辺の地すべりの状況

地すべりの状況については、平成19年度管内道路防災対策検討業務報告書にまとめられている.以下に概要を 述べる.

これまでの孔内傾斜計および水位計観測結果の状況を図 4.1.6 に示し,変位量の増加時期を一覧にして表 4.1.1 に示す. なお,手動による孔内傾斜計観測については,地すべりの動きが確認されている No.1, No.4, A-1 のすべり面付近のせん断変位量を図示したものである.

これより地すべりの変位量増加が認められる時期は、豪雨もしくは積雪・融雪時期である.この時期以外は、地すべりの動きは概ね停止している状況と考えられる.

平成18年2月以降で地すべりの動きがA-1とNo.1孔で同時期に見られたのは、図4.1.6の中で⑥の時期である. この期間の状況としては以下のような地すべり挙動が推定される.

⑥のH18.7~H18.8には、豪雨(日雨量164mm,H18.7.18)が認められる.

この時期の水位計をみると、A-2-2水位計で約1mの水位上昇が認められる.

埋設型傾斜計 No.1 及び A-1 の両方に変位量増加が認められ、手動による傾斜計も同様に変位量の増加が認められる.

このような状況から⑥の期間については、[豪雨→水位上昇→地すべりの変位量増加]という地すべり機構が推定 できる.

	地すべりの 変位量増加の時期 (手動傾斜計による)	変位量増加が 認められた孔	水位計の変動	埋設型傾斜計の 変動	推定要因	備考
1	H12.12~H13.6	No.1,No.1',No.4			積雪·融雪	
2	H14.1~H14.2	No.1,No.1',No.4	土部等	<b>圣 田 </b> 閂	積雪·融雪	
3	H15.7~H15.11	No.1,No.1',No.4	不改正	<b>三舟]</b> 间	豪雨	
4	H16.12~H17.2	No.1,No.1',No.4			積雪·融雪	
5	H17.12~H18.3	No.1,No.4,A-1	0.7m上昇	有り (H18.2~H18.3)	積雪·融雪	No.1'孔ガイドパイプ屈曲により傾斜計の挿入不可
6	H18.7~H18.8	No.1,No.4,A-1	1.0m上昇	有り	豪雨	
Ø	H19.8~H19.9	No.1	水位上昇なし	無し	豪雨	
8	H20.1 ~ H20.2	No.1,A-1	水位上昇なし	有り	積雪·融雪	

表 4.1.1 地すべりの変位量増加時期と各観測状況の一覧

(平成19年度管内道路防災対策検討業務報告書より引用)



図 4.1.6 H12.12~H20.2の観測状況一覧図 (平成 19 年度管内道路防災対策検討業務報告書より引用)

## 4.1.5 地すべり挙動によるトンネルへの影響

大谷第一トンネルでは、平成12年度以降変状調査が行われており、地すべり挙動とひび割れ進行との関係も一 部明らかとなっている.

図 4.1.7 は、既往の踏査結果により推定された外力の方法を示した概念図である.実際には三次元的な方向となり、山側から海側への外力と合成された方向になるものと考えられる.



図 4.1.7 踏査により確認した地すべり土塊と推定外力の方向

大谷第一トンネルは,既往の変状調査結果に基づきトンネル覆工の補強対策として内巻き支保工が施工済みである.この内巻き支保工の基礎コンクリートにひび割れが発生しており,クラックゲージ(図 4.1.8 参照)による観測が行われている.このクラックゲージによるひび割れ幅の観測結果と埋設型傾斜計(A-1, No.1 孔)の観測結果を示したものが,図 4.1.9 である.



図 4.1.8 クラックゲージ

図 4.1.9 によると、埋設型傾斜計で地すべり変位が認められた時期にクラックゲージにも飛び離れた変位が観 測されており、地すべり変位の増加によりトンネルへも外力が作用していることが推定される.



図 4.1.9 クラックゲージ観測結果と埋設型傾斜計観測結果との対比

# 4.1.6 近接目視点検による判定

提案手法との結果の比較のために、大谷第一トンネルにおいて近接目視点検(打音検査なし)を実施し、従来手法(近畿地方整備局で整理された手法)で健全性の判定を行った.(点検結果の詳細は、平成18年度報告書に示す.)

近接目視検査では、覆工アーチ部に対して高所作業車を使用することで、クラックスケールを用いたひび割れ幅 と長さの計測,また損傷状況の正確なスケッチ及び写真撮影を実施している.なお、検査範囲は起点側に近い部分 でスパン番号 5~9(28.6m)の比較的損傷の多い箇所(図 4.1.4 示す近接目視検査範囲)で実施した.表 4.1.2 に健全性判定結果,図 4.1.10に近接目視検査により得られた変状展開図を示す.

点検結果で確認された主な変状は、ひび割れ、遊離石灰、漏水であった.

覆エスパンNo.	S05	S06	S07	S08	S09
調査結果(I):利用者被害を誘発する変状 に対する健全性判定	S	B- I	B- I	S	B- I
調査結果(II)構造的な変状 に対する健全性判定	А- II	A- II	А- II	А- II	А- II

表 4.1.2 従来手法による健全性判定結果

(延長:28.6m)



|濁音(ボコボコ)がし、 |はく落の可能性がある。

6

打音検査

歐

清音を発し, 反発がある

濁音がする。

推定できるひび割れの方向 

伽 腰一

疧

(表示方法)

<u>ттт</u> . .....

> 変状展開図 近接目視点検 4.1.10

> > X

## 4.2 提案手法の適用

今回提案した評価方法において、大谷第一トンネルを対象として検証を行う.

### 4.2.1 画像計測の適用

第三者影響に関する変状に対する健全性評価,及び構造的な変状に対する健全性評価(一次)を行うために,走 行型の画像計測を適用する.

大谷第一トンネルは延長が 82m と短く,また坑口両側がフェンスで区切られており,通常走行が不可となっていたため,時速 10km/h での計測となった.図 4.2.1 に計測の様子を示す.計測車両の周囲に人が見られるが,これらは計測人員ではない.なお,計測時期は 2007 年 5 月である.

図 4.2.2 に計測された覆工展開図と覆工展開図から得られるひび割れ検出画像(白色部分)を示す. 覆工展開 図の画像解像度は2mm/pixel程度であり,画像目視では幅0.3mm以上と未満でひび割れの区分が可能であった.展 開画像からは,ひび割れだけでなく,トンネルに生じる漏水や遊離石灰,導水樋なども確認可能であった.但し, 図 4.2.2 に示すひび割れ検出画像は,幅は考慮に入れておらず,ひび割れを一様に検出した結果である.



図 4.2.1 走行型画像計測





## 4.2.2 レーザ計測の適用

構造的な変状に対する健全性評価(一次)を行うために,走行型のレーザ計測を適用する.図 4.2.3 に計測の 様子を示す.

画像計測と同様に、トンネル坑口付近の制限によって、走行速度は約10kmとなっている.トンネル周辺の公道 にて、初期化作業(GPS衛星からの位置情報取得、慣性走行のためのデータ取得)を行った後、起点側坑口から終 点側坑口まで計測を行い、覆工面の点群データ(三次元座標)の取得を行った.その後、終点側坑口側で補正を行 った後に、再度終点側から起点側まで計測を行った.計測時期は2009年1月である.

図 4.2.4 に点群データから作成したトンネル覆工の変形モード画像を示す.特に,起点側坑口付近で,山側方向の覆工が内側に変形し,逆に谷側の覆工が外側に押し出されていることが確認できる.なお,起点側坑口天端部分に見られるトンネル横断方向の長方形は覆工継ぎ目に取り付けられている導水用樋であり,内側に膨らんでいる(赤色)ことが確認できる.



図 4.2.3 走行型レーザ計測





図 4.2.4 覆工変形モード(上:全体,下:画像計測及び近接目視検査区間)

# 4.2.3 モニタリングの適用

### (1) モニタリングの実施

大谷第一トンネルにおいて, 覆工面に発生しているひび割れに着目し, 以下のモニタリングを行った. なおモニ タリングの期間は, 平成 19 年~20 年の約 2 年間である.



### 図 4.2.5 センサ設置位置

### (2) モニタリング結果

(a) 温度変化(電気式温度計)

電気式温度計のデータを図 4.2.6 に示す.

冬季は0℃,夏季は30℃まで変化し、季節変動を捉えている.一日あたりでは、≒5℃程度変化している.



図 4.2.6 電気式温度計

#### (b) 内空変位(内空変位計)

図 4.2.7 は、事前の計測を含めて、トンネル内空変位のほぼ1年間のデータである.夏季は、水平、垂直方向とも伸び傾向を示し、冬季に向かって縮む傾向へとシフトし、年間を通じて、元に戻る傾向を示している.

これは、夏季の覆エコンクリートの膨張、冬季の覆エコンクリートの収縮に起因しているものと推察され、 今後の計測データにより、その傾向が把握できるものと考えている.

なお、トンネル周辺の地盤地中傾斜計の挙動、北陸地方で発生した3回の地震との関連性は、顕著には見られなかった.



図 4.2.7 トンネル内空変位

#### (c) ひび割れ幅の変位 (π ゲージ)

図 4.2.8 は、事前の計測を含めて、ひび割れ幅のほぼ2年間のデータである。2008年6月よりセンサの劣化 と思われるデータ異常が見られる.現地では、漏水痕などがあり、これらの水の影響によるセンサ劣化と考え られる.これらの異常データを除去したものを図 4.2.9 に示す.夏季は、ひび割れが開く傾向を示し、冬季に 向かって、閉じる方向へとシフトし、年間を通じて、元に戻る傾向にある.

これは、夏季の覆エコンクリートの膨張、冬季の覆エコンクリートの収縮に起因しているものと推察され、 今後の計測データにより、その傾向が把握できるものと考えられる.

なお、トンネル周辺の地盤地中傾斜計の挙動、北陸地方で発生した3回の地震との関連性は、顕著には見られなかった.



図 4.2.8 ひび割れ幅



図 4.2.9 ひび割れ幅

### (d) ひび割れ進行(ひび割れ進行ゲージ)

図 4.2.10 は、事前の計測を含めて、ほぼ2年間のデータである.2008 年 8 月よりセンサの劣化と思われる データ異常が見られる.現地では、漏水痕などがあり、これらの水の影響によるセンサ劣化と考えられる.こ れらの異常データを除去したものを図 4.2.11 に示す.ひび割れの延長方向の成長を計測しているので、夏季、 冬季による傾向変化はみられない.また、北陸地方で発生した 3 回の地震との関連性は、顕著には見られなか った.



図 4.2.10 ひび割れ進行



図 4.2.11 ひび割れ進行

### (e) ひび割れ幅(光ファイバ方式)

図 4.2.12 は、ひび割れ①、 ②に対して設置した亀裂計の 2007 年5月~2008 年1月までの経時変化である. 微小な変位量であるが、電気式のひび割れ幅計測と同様に、夏季、冬季での傾向を示し、年間を通じて、元に 戻る傾向にある.

また, 敦賀気象台での雨量データとの関係を見てみたが, トンネル周辺の地盤地中傾斜計の挙動, 北陸地方 で発生した3回の地震との影響を含めて, 顕著な関連性は見られなかった.





### (f) 温度+ひずみ (無線センサによる計測)

温度

図 4.2.13 は, 無線センサに内蔵している温度計の天井部付近の計測データである. 2008 年 8 月~2008 年 10 月 26 日までのおよそ 2 ヶ月間のデータであるが, 安定してデータ取得ができている.



図 4.2.13 無線センサ(内蔵温度計:天井部)

図 4.2.14 には、無線センサに電気式のコンクリート用ひずみゲージを結線し、ひび割れ⑧に直貼りした計測データである.8月24日~10月26日までのおよそ2ヶ月間のデータであるが、温度計と同じく安定してデータ取得ができている.今後は、コンクリートひずみゲージのデータ取得精度等の検証へ段階を進めていく予定である.



図 4.2.14 無線センサ+電気式ひずみゲージ

無線センサについては、現在のところ、電源として、電池を使用するようにしているが、実用レベルでは、図 4.2.15 に示すソーラーパネル等の使用も視野にいれている.このため、ソーラーパネルでの実用についても検討 を行っており、以下の改良を実施中である.

- ① 単位面積あたりの発電量:30~50%アップ
- ② 部分日陰の影響による出力低下割合の極小化
- ③ 過充電防止機能を搭載し, 蓄電池を保護
- ④ 雷サージ保護機能,電池への逆接続保護機能実装



#### (3) 考察

これまでの約2年間にわたるモニタリングによるデータ取得から、その課題等に対して、以下のように考察する.

(a) 雨量計データ

モニタリング期間中に対応した気象庁敦賀気象台の雨量計データを図 4.2.16 に示す.

雨量は例年に比べて少なく,積雪も少ない状態であった.このため、トンネルのひび割れが反応するよう な地下水圧等の外力が作用しなかったものと推察され、ひび割れ幅の計測データも顕著な反応はみられなか った.



### 図 4.2.16 雨量計データ (気象庁 敦賀気象台)

#### (b) 耐久性

トンネル内でモニタリングを実施するにあたっては、以下の課題が考えられる.

- ① 煤や埃がトンネル表面に付着し、漏水なども発生している.
- ② 交通への影響を最小限とするための施工時間,施工方法を制約される.
- ③ トンネル断面の建築限界を犯さないようにセンサ設置を実施する必要がある.
- ④ 万が一,センサが剥がれても第三者被害を与えない.

今後は、トンネル特有の条件を考慮した上で、耐久性のあるセンサ、モニタリングシステムを構築する必要 がある.このような状況で、特に問題となるのが、センサ設置である.今回、センサ類は、トンネル覆工に接 着剤等で固定したわけであるが、長期耐久性という面では、かなり厳しい状況にある.そのため、対策として は、工場で製作した防水、防塵型のセンサ(温度キャンセル機能付き)をアンカー等により機械的に固定にし て(接着剤等は補助)、作業性、耐久性、安定性を向上させる必要がある.また、第三者被害の影響回避を考慮 し、なるべく小型化し、防護材も FRP やゴム系にするなどして、万が一、剥がれ落ちても、第三者への影響を 最小にするなどの対応が必要と考えている.

#### (c) 小型化

トンネルは線状構造物であり、計測装置を設置する場所の確保がどうしても難しくなり、坑口外に設置する となると配線等が必要となってしまうという悪循環がある.そこで、シーケンサは、センサの制御やデータ通 信を行う計測機器を小型化、高機能化することにより、計測ハウス等を不要とするもので、これにより、供用 中のトンネル内にも設置が可能となる.

現在,図 4.2.17 に示す試作機を開発中であるが,まず室内での確認を行い,今後,実際のトンネルの現場へ と適用拡大をはかっていく予定である.



図 4.2.17 シーケンサ (試作機)

#### (d) 計測値の温度補正と計測結果について(電気式)

計測器から得られる計測値(変動量)と環境温度に有意な関係がある場合,計測結果は,これらの変化に依存することになる.すなわち,計測対象物が変状しない場合においても,みかけ上,変動したように計測される.計測値と温度との相関性を検討し,有意性がみられる場合はそれらの影響をキャンセルする必要があるため,当計測においては,各測点の計測データと温度の互いの関連性について検討を行った.(クラック進行ゲージのデータについては補正は行っていない.)

調査方法は直線回帰法を用いて行った. 直線回帰分析は、傾き  $a \ge Y$  軸切片 b が与えられた時に、Y = a X + bの式によって、その関係をモデル化する手法である.

回帰式は、最小二乗法により求められる.

回帰式 Y=aX+b  

$$\begin{cases}
Y : 計器特性や温度影響による変動量
a : 傾き(計器特性や温度1℃当たりの影響)
X : 温度の変化量
b : 切片(温度0℃時の影響量)
\end{cases}$$

2種のデータ(各計測器の変動量,温度の変動量)の関連性を調べる方法は、①散布図の作成、②相関関係の 算出、③回帰式の算出の順で行い、2種の変動量が相互にどんな関係を持ちつつ変動するかを知るために、相関 係数という概念が考えられる.相関係数は、xとyとの間に直線的関係が認められたとき、この関係の強さを表 す尺度である.(表 4.2.1)

相関係数の性質は、次のようである.

- ①  $r t 1 \ge 1$ の間の値をとる.  $(-1 \le r \le 1)$
- ② r が1(または-1)に近いほど相関性が強い.
- ③ r が 0 に 近い ほど x と y の 間に は 相関 が ない.

従って、当計測における各計測値と温度との関係は主に相関係数(r)で判断した. また、クラックの開閉(パイ型変位計)と内空変位計(鉛直方向)の相関関係についても調査を行った.

表 4.2.1 相関係数分別表

相関係数の範囲	0.0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.7	0.7~1.0
相関性の尺度	殆ど関連しない	やや関連がある	かなり関連がある	かなり強い関連がある

「多変量解析法」(朝倉書店)より

回帰式のa, X, bに, それぞれ数値を代入するとYの値が導かれ, そこからYの値を計測値(変動量)から 差し引くと計器特性や温度影響を除いた変位量となる.

D(変動量) = D1(計器特性や温度による影響を含めた変動量)-Y(計器特性や温度影響分)

但し, 『D (変動量)』の中には、補正上の誤差及び計測器そのものが持つ計測器のバラツキ等も含んでいるの で注意が必要である.

計器不良やその他,何らかの不具合が発生したりしたため,測点ごとに相関関係の調査を行った期間は同一ではないが,有効データ数は最低でも21,000データ以上であり,相関関係を調査するには,十分なデータ数であった.

結果として、相関係数については、全ての測点において、非常に高い値を示している事が分かった.

また,クラックの開閉(パイ型変位計)と内空変位(鉛直方向)のデータ間の相関関係についても調査を行ったが,これについても温度との相関関係と同様に非常に高い相関関係が確認された.この調査においては,内空変位のデータとして水平方向のデータに若干のバラツキが見られたため,より安定したデータ取得が出来た鉛直方向のみを対象とした.表 4.2.2 に相関係数一覧表,表 4.2.3 に各測点の最大値・最小値・変動幅の一覧表を示す.

計測項目	測点	相関係数	備考
クラックの開閉(パイ型変位計)	1	0.97380	温度との相関
	2	0.83314	11
	3	0.96970	11
	$\overline{O}$	0.94397	11
	8	0.91693	11
	9	0.91128	11
内空変位(鉛直方向)	29mV	0.96175	11
内空変位(水平方向)	29mH	0.85164	11
クラックの開閉(パイ型変位計)	1)	0.93775	内空変位(鉛直方向)との相関
	2	0. 79274	11
	3	0.98723	11
	$\overline{O}$	0.93929	11
	8	0.89301	11
	9	0. 92278	11

表 4.2.2 相関係数一覧表

调卡女	⇒1.300世9月月	温度補正	前		温度補正後			
側尽名	計側判問	最大値	最小値	変動幅	最大値	最小値	変動幅	
クラック変位		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
(パイ型変位計)		(шш)	(шш)		(шш)	(11111)	(шш)	
28m 付近①	2007/02/16~2008/08/31	0.04	-0.18	0.22	0.03	-0.04	0.07	
30m 付近②	2007/02/16~2008/06/19	0.02	-0.14	0.16	0.03	-0.05	0.08	
33m 付近③	2007/02/16~2009/01/28	0.18	-0.38	0.56	0.18	-0.06	0.24	
40m 付近⑦	2007/02/16~2008/07/26	0.08	-0.17	0.25	0.08	-0.05	0.13	
40m 付近⑧	2007/02/16~2008/06/20	0.02	-0.12	0.14	0.03	-0.04	0.07	
40m 付近⑨	2007/02/16~2008/11/08	0.11	-0.16	0.27	0.08	-0.06	0.14	
内空変位		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
29mV (鉛直)	2007/02/16~2008/11/18	1.43	-0.31	1.74	0.24	-0.53	0.77	
29mH (水平)	2007/06/02~2008/11/18	0.44	-0.36	0.80	0.11	-0.48	0.59	
クラック進行		(mm)	(mm)	(mm)				
28m 付近①U	2007/02/16~2008/08/03	11.10	0.00*	11.10				
28m 付近①D	2007/02/16~2009/01/28	24.21	0.00*	24.21				
30m 付近②U	11	3.93	0.00*	3.93				
30m付近②D	11	12.31	0.00*	12.31				
33m 付近③D	//	5.65	0.00*	5.65				
環境温度		(°C)	(°C)	(°C)				
温度	2007/02/16~2009/01/28	31.6	-2.2	33.8				

表 4.2.3 最大値・最小値・変動幅一覧表(小数点第3位四捨五入)

\*クラック進行ゲージは数値としてマイナスを示す事もあるが、クラックの進行がマイナスという事は理論的に有りえないので、最小値は全て、 0とした.

表 4.2.3 の温度補正前後の変動幅を見比べると、ほぼ、半分程度かそれ以下になっており、計測結果が非常 に温度依存性の高い事が判明した.これらの結果から、クラックの開閉(パイ型変位計)及び、内空変位に現 れた変位は、温度変化による自然変動であった可能性が高いと考えられる.

図 4.2.18~図 4.2.19 に温度相関調査結果,図 4.2.20~図 4.2.21 に計器間相関調査結果,図 4.2.22~図 4.2.23 に経時変化グラフを示す.

尚,絶縁不良等,何らかの不具合が発生した測点については,安定してデータ取得が出来ている期間のデー タ以外は削除した.



図 4.2.18 温度相関調査結果(1)



図 4.2.19 温度相関調査結果(2)



図 4.2.20 計器間相関調査結果(1)



図 4.2.21 計器間相関調査結果(2)



図 4.2.22 クラックの開閉 (パイ型変位計)計測データ (温度補正前後重ね書き)



図 4.2.23 内空変位計の計測データ(温度補正前後重ね書き)

#### (e) 光ファイバ亀裂計の温度補正

FBG センサ自体の温度キャンセルについては,図 4.2.24 に示すように,FBG センサを亀裂計の表裏に貼り付けて,両者の値を差し引くことで,キャンセルしている.

しかし、コンクリート自体の温度変化による膨張、収縮は、上記の方法ではキャンセルはできないので、計 測データに含まれることとなる.



図 4.2.24 光ファイバ亀裂計

この温度変化による膨張、収縮量を極力除去することとして、以下の方法を試みた.

温度については、2月中旬でほぼ 0℃、8月中旬で 30℃となることが 2年間の計測でわかっている.そこで、 亀裂計の2月と8月の差分を算出し、それを各月に配分してキャンセルしてみる.

亀裂計①では、2月と8月の差分が0.12mmとすれば、0.12mm/6ヶ月で0.02mm/月の勾配で補正する. 亀裂計②では、2月と8月の差分が0.18mmとすれば、0.18mm/6ヶ月で0.03mm/月の勾配で補正する.

補正後の結果を図 4.2.25 に示す.

電気式と同じく,補正前のデータは,温度変化と連動して,波型を示すが,補正することにより,ほぼ直線 となる.これは、コンクリートが温度変化に伴って、膨張、収縮による変動を除去したものと判断できる.

#### 亀裂計① 補正前



亀裂計① 補正後



亀裂計② 補正前

		亀裂変位時系列グラフ
	1.0	[ + + + + + + + + + + + + + + + + + + +
	0.8	┝╶╢╴┧╶└╶╢╴╽╶╢╴┟╶╎╴╢╴┟╶╎╴╢╴┟╶╎╴┧╴└╶╎╴┧╴└╶╎╴┧╶└╶╢╴┟╶╵╴┧╴└╶╢╴╫╶└╴╢╴╠ <del>╶╌╶╝╸┎╶╵╸╵</del> ╸
	0.6	
	0.0	
	0.4	
12	0.2	
H الج	0.0	
158	-0.2	┢╺╢╴┽╺┝╺╢╸┽╺┝╺╢╸┽╺┝╺┨╸┽╺╽╸┥╸┝╺╢╸┽╸┝╺╢╸┽╺┝╺╢╸┽╺┝╶┫╸┽╸┝╶╣╸┽╺┝╝┥╩╶╬╺┝╴╣╸┾╺╎╸┥╸┾╶╎╸┽╺╿
	-0.4	┝╌╬╴╬╶╬╶╬╶╬╶╬╌╬╌╬╌╬╌╬╌╬╌╬╌╬╌╬╌╬╌╬╌╬╌╬╌╬╌╬
	-0.6	+
	-0.8	
	0.0	
	-1.0	
		3
		1 8 8 6 6 8 8 8 8 9 9 9 9 1 1 2 1 2 2 2 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6
L		

亀裂計② 補正後



図 4.2.25 補正後の結果

## 4.2.4 健全性評価

### (1) 第三者影響に関する変状に対する健全性評価

図 4.1.10, 図 4.2.2 に示された覆工展開画像・ひび割れ検出画像から以下の三段階の評価を行った.

- Step.1 即対応すべき変状の判定
- Step.2 ひび割れ閉合性による評価
- Step.3 ひび割れ密度による評価

Step.1 に関して、本トンネルでは地すべり対策がすでに行われたこともあり、該当するような変状は展開画像から発見されなかった. さらに Step.2,3 に関して、ひび割れ検出画像から閉合性の評価と密度の評価を行った. 表 4.2.4 に従来手法による判定結果との比較を示す. なお、図 3.2.2 の対応表によって、既往の基準との対応を図っている.

表 4.2.4 の結果から、ひび割れの閉合領域が確認されたスパン S07 及び、S08 において従来手法に比べてより 安全側の判定(=より危険だという判定区分に分類される)がなされていることが分かる.

図 4.2.26 に閉合があると判定された箇所を赤〇で示す.閉合はしていないが,閉合に発展しそうな箇所として 青〇を示す.今回はこの青〇箇所も併合しているものとして評価を行ったが,今後はこの'閉合度合い'をより細 分化して評価することが望まれる.

また,ひび割れ密度が大きいスパン S06 においてもより安全側の判定がなされている.さらに, S09 のスパンについては従来手法と同一程度の判定がなされているが,その要因として密度が大きいことが挙げられる.

このように、従来手法と比較して、閉合性と密度といった二つの観点から変状を捉えることで、より安全側の判 定が実現されているといえる.

覆エスパンNo.	S05	S06	S07	S08	S09
従来手法による判定	S	B- I	B- I	S	B- I
提案手法による判定	A- I ∼B- I	3A− I ~2A− I	3A− I ~2A− I	3A− I ~2A− I	A- I ∼B- I
・ひび割れ閉合性の評価	S	S	4A~3A	4A~3A	S
・ひび割れ密度の評価 (ひび割れ密度[m/m <sup>2</sup> ])	2B~B (0.26)	4B~3B (0.55)	2B~B (0.49)	2B~B (0.38)	2B~B (0.45)

表 4.2.4 第三者影響に関係する健全性判定結果の比較



図 4.2.26 閉合箇所(O:閉合,O:閉合しそうな箇所)

#### (2) 構造的な変状に対する健全性評価

図 4.2.2 に示された覆工展開画像及び,図 4.2.4 に示された覆工変形モードから,構造的な変状に対する健全 性評価を行う.なお,ここでは,従来手法による判定が行われている起点側坑口付近(スパン S05, S06)について 検討を行うこととした.

まず,覆工の変形モードを特定し,さらに覆工に生じるひび割れの状態を把握する.これを元に,生じていると 考えられる外力を特定する.そして,ひび割れの進展具合から,構造的な変状に対する健全性評価(一次)を行う ことで,外力に対する影響について判定を行う.図 4.2.27 に判定までの流れと,判定結果を示す.なお,第三者 影響に関係する変状に対する健全性評価と同様に,図 3.2.2 との対応から現状の評価結果との対応を行っている.

従来手法では構造的な変状は生じているが、その程度が軽微であるとの評価(A-II)がなされている.一方の提案手法では、構造的な影響が生じており、さらに詳細調査が必要であるとの判定(3A-II~2A-II)がなされおり、 第三者影響に関する評価と同様により安全側の評価が行われている.この結果は、4.1.2で考察したトンネルに対 する地すべりの影響に対して、整合性のある結果である.なお、覆工変形モードをどの区間で評価するのかについ ては、今後の課題である.



図 4.2.27 構造的な変状に関する健全性判定結果

## 4.3 点検データのビジュアル化の適用

本章では、点検データのビジュアル化システムの活用例として、大谷第一トンネルでこれまでに実施した近接目 視調査の結果を適用し、その有用性について考察してみる.近接目視調査は、従来の定期点検の手法(ただし打音 検査は行わない)に従い調査を実施し、道路トンネル点検・補修の手引き(近畿地方整備局監修)に準拠して健全 性の判定を行った.調査範囲は、大谷第一トンネルの内、スパン 5~9(28.6m)の比較的損傷の多い箇所を限定 した.アーチ部については、クラックゲージや歪み計の設置などを用いてひび割れ幅、長さを計測し、また、画像 計測手法を導入して比較検討を行った.近接目視調査の詳細な結果は前章で述べたが、ここでは、既存の点検・調 査結果として点検データのビジュアル化システムへ適用し、その有用性を下記のように検証した.

### 4.3.1 既存の点検・調査結果

- ① 点検報告書 トンネル台帳,カルテ以外の報告文
- ② トンネル位置図 管内図にトンネルの位置を示したもの
- ③ トンネル台帳 様式-1~様式-3
- カルテ 1号~5号
- ⑤ 変状展開図 紙ベースのデータ

### 4.3.2 基本台帳の整備入力例

基本台帳のデータは、図 4.3.1 に示すような紙ベースとして提出されたものである. その内容は、点検・補修 の手引き(近畿地方整備局版)に準拠してまとめたものである. 様式-1 として、主にトンネル諸元であり、トン ネル名、路線名、所在地、完成年次・・・等が記入される. 様式-2 は、トンネル位置、現況写真、スパン距離などが 記入さた. 様式-3 は、トンネル標準断面や地質縦断面などを記入している



図 4.3.1 既存の基本台帳データ(様式-1~様式-3)

本システムは、同様に道路トンネル点検・補修の手引き(近畿地方整備局版)に準拠して、図 4.3.2~図 4.3.3 に示すように、トンネル台帳、トンネル施設、設計及び施工資料、スパン番号、トンネル線形資料の5つの画面(5 タブ)に分けて入力画面を作成した.なお、詳細な記入項目は帳票の出力例に示す.

本システムでの基本台帳の整備入力の特徴は、既に第3章で述べたが、また、従来の手法として記入されていない もので、健全性評価判定に必要な情報、またはビジュアル化に必要なデータとして、下記に示す項目を新たに導入 した.

- 地山の分類
- ② トンネル標準断面の設計データ
- ③ トンネルの線形データ



図 4.3.2 基本台帳の整備入力画面の活用例(様式-1)



図 4.3.3 基本台帳の整備入力画面の活用例(様式-2~様式-3・その他)

# 4.3.3 点検データの整備入力例

点検データの整備入力は、図 4.3.4に示すように、紙ベースとして提出されたデータがある場合、図 4.3.5に 示す画面で変状のスケッチや点検・調査結果を転写する. その特徴としては、図 4.3.6 に示すようにデータの記 入作業は、三次元ビジュアル化より既存データを確認しながら必要なデータを抽出して再利用することが可能であ り、点検作業の労力を大幅に低減することができる. また、入力の内容は、道路トンネル点検・補修の手引き(近 畿地方整備局版) に準拠したものであり、詳細な内容は後述する帳票の出力例に示す.



図 4.3.4 既存の点検・調査のデータの出力例



図 4.3.5 本システムでの点検・調査のデータの入力画面例

### 4.3.4 画像計測結果の導入例

本システムでは、健全度評価判定の効率化を求めるために、従来の点検.調査のデータ以外にも、画像計測の結 果や常時モニタリングの結果をデータベースとして導入することにした.図4.3.6 は、大谷第一トンネル覆工壁 面の亀裂や目地部より地下水漏出が見られた箇所に対して実施した赤外線画像計測の結果であり、その位置や撮影 で得られた情報を一元管理できるようにデータベース化を行った.また、同様に、トンネルの構造的な変状を計測 する目的とした精密写真計測の計測結果も動画として取り入れることができた.さらに、今後のシステム拡張によ り前述した走行型の画像計測結果を導入することも容易である.

以上のように、様々な画像計測技術より得られた画像データを本システムに導入できることは、今後の健全性評価の効率性や合理性の向上に期待できる.

図 4.3.7 は、精密写真計測より求めた大谷第一トンネルの三次元内空変位図であり、実際のパソコン画面では 動画として表現するが可能であり、このようにデータベースのビジュアル化より道路トンネルの健全性評価をさら に効率的かつ効果的に期待できる.







図 4.3.7 精密写真計測結果の導入例 (三次元動画)

# 4.3.5 モニタリング計測結果の導入例

本システムでは、モニタリング計測結果を取り入れることが必要と考え、上記の画像計測結果の導入と同様に、 モニタリングの計測結果とともに計測位置をデータベース化する機能を開発した.

図 4.3.8は、大谷第一トンネルにおける光ファイバ(FBG) ひずみ計の計測結果及び電気式パイ型変位計、クラックゲージの計測結果の導入例である.それぞれの計測位置や経時的な変化をデータベース化して保存することができた.また,数年後に再度健全性評価を行う際には、データベース化したデータを再検討することも可能であり、効果的な活用方法と思われる.



図 4.3.8 モニタリング計測結果の導入例 (三次元動画)

# 4.3.6 健全性評価判定への活用例

本システムでは、変状毎に管理番号を付加してデータベース化しているため、データの集計や分析に効率的に利 用できる.また、スパン別の評価判定においては、図 4.3.9 に示すように、変状種類別の集計や線形変状の長さ、 面的な変状の面積変化などスパン別に自動集計されているため、効率的かつ効果的な活用ができる.また、健全性 の評価判定する際には、図 4.3.10 に示すように三次元のビジュアル化よりバーチャルリアリィティーの環境の中 で変状を確認しながら評価することができる.



図 4.3.9 スパン別の評価判定への活用例



図 4.3.10 健全性評価判定へのビジュアル化の活用例

## 4.3.7 帳票出力の活用例

従来の実務運用の継続性を考えて、本システムでは、帳票の出力として入力されたデータをエクセル形式へエク スポートする機能を開発した.また、帳票の形式は、「道路トンネル点検・補修の手引き」(近畿地方整備局監修) に準拠して作成した.図 4.3.11~図 4.3.18 は、エクセルファイル形式の出力例である.

	Aicro:	soft	Excel -	TunOutp	ut.xl	ls	、 +	±1/	T) =			(7)	1	6(D)	- C -	*=040			Adaba BDC	(D)			×
: 20	mooa	- -	(E)	補集(上)	ৰমস	۲ <u>۷</u>	) 3	●人(	1) 2	51.( <u>0</u> )	9-n	(L)	- T	·≫( <u>D</u> )		× )( <u>w</u> )			Adobe PDF(	<u>臣)</u>	0	_ t	- ×
<b>#</b> /14	이지 마거 및	Ŧ				2.02			- 641 - 7	▼ 12			- B	1	⊻∣≡ ≡		<u>a</u>	3%			<u></u> ,		-1-
	1			≝ 🙆 I 🖑	۶ 🛍	21	x	Ca I	8-	3 9.	- CI	-   6	ζΣ	• ≩↓	X	75%	6		• 💿	₽,	2	2	
1	(	03		-	fx.	7	大谷	第一	トンコ	ネル								,					
	A	B	С	D	E	F	G	H	Ι	J	K	L	1	ví	N	0	P	Q	R	S	TU	V	-7
1	h0	ノネル	/台帳	〔様式-	-1)															_			
2	70	11 t								90000	87-15		0르 /1	H)# .	889261	トンネル			0_	1:24	58		
■ Increasent Excel - TunOutput.xls           ■ ファイル(E) 編集(E) 表示(Y) 挿入(I) 書式(Q) ツール(I) データ(D) ウィンドウ(W) ヘルブ(H) Adobe PDF(B)           新細明譜         ■ 12         ■ B J U E E E = 2         ● 9 % * 36 23           ● C         ● A (D) ● A (D																							
4	657	- Hh	自	福井県敦有	賀市					05:04:55	自		440 1	(+ 912	m	***	1	福井河川国	國道事務所	*≊ <b>≈</b>	78 <b>7</b>	成21年3月21日	
5	J         ファイル(E)         編集(E)           新細明體         ○         □         □		福井県教育	賀市		_		l. l.	62月111元	至		440 K+ 994		m	18#			90074015130409 2					
6	1	構造相	略	第 種第	級	_	<b>193</b> 14	年次(1	(新者)	1963	2	编	種	別	コンクリ	ート系		j	施設の内訳		個数	型式	
7	Ì	受計翅	腹		km/	ħ	10	ノネル	等級			装	厚	5	0.00	m			非常用電	話	0		
8	5	う割 区	(分	上下線供用	Ħ		設	計交	通量		台/日		面	積	0.0	m²		通報装置	押ボタン通報	装置	0		
9	10	ノネル	分類	陸上とン礼様	副削工	法	垷	况父	建重	-	台/日	照明	種	別					火災検知	- 000	U		
10	P.,	/千川	/上法	失板上法	06021	9/1	19	を回移	■尖貝 ■米石	歳上(内線なし)		99	×.	-	U 	<b>A</b> /=			日朝建報業	直	0	6	
11	L	· 수 11	Zale	02.0	902/1	2/1	1	()+12   +n		成上(内参	₩U T	换	=x0 · :		82.89	434	1	非吊醫	吉根夜/14	εκ :+/Τ.)	0		
12	12	十次	×π h	02.0	m	-	++	四占	邓月	<u>ш</u> <u></u>	92 m	気	2	デム 米女	0	2	12	罟	点,成内 (音音 空信	: 99	0		
14	内	空断	面積		m <sup>2</sup>		門	22	形式	面壁:	开U	<b>お</b> 能 7	111	の種別	白然排	E7K	15	建築業業	誘導表示相	版	0		-
15		道	路幅	7.3	m		100.00	点	延長		m	1717.	種	類	なし	/	ネ	導設	排煙設備	l	0		
16	幅	車	道幅	3.3	m		竣	7	一千		cm	1	延	長	0.0	m	ル	備	避難通路	ł	0		
17	昌	9:2 <b>4</b>	<b>昭</b> (上り)		m		工業	側	壁		cm	5	面	積	0.0	m²	非堂	211-1-AL /#	消火栓	5	0	5	
18	~	32¥	<b>S</b> (17.00)		m		厚	イン	バート		cm	他	都道	府県	福井	県	用	別代設備	消火器		0		
19	亩	建築	限界高	4.50	m		*	7	一チ	386	cm	喊近	市区	丁村名	教賀	र्तत	施		給水栓		0		
20	き	中	央高	5.75	m		径	側	壁		cm	長	延	長	82.0	m	ax.		無線通信補助	读置	0		
21	8	有	劾高	4.00	m			イン		1	cm	現	通行制	<b>川限:</b> 3	平成14年・	旧道閉			ラジオ再放送	設備	0		
22	-	織	「勾配		-	種	類	寸	法	管理者	名	沉	蛽					その他	拡声放送該	備	0		-
23	線	直線	区間長	m	占	-		e.	2		3							の設備	水噴霧設け	痛	0		-
24	_	曲	区同長	m	川用物	$\vdash$			78		2	特						174	+ + Y (監視)	式百) 設備	0		+
25	形	縁区	Batrey		件	-		1			3	記							非常用电标题	影開	0		
20		間	24.4E	m				1			5	1							防火水槽	1	0		
20		h.,	¥_15	(+*-1) -	140	*				+ u = c - 2			L	. 12								-	+
114 4	•	MI/4	未式-1	人情式-2	2/個	)1.T	,=3 /	אנת	<b>τ</b> 1/	刀版2人	דאונד	3/	לאנת	4 (力	NT5/	•	-			-	_	- I	, ] .
: ©)	形のこ	周整(]	<u>R)</u> - D	オート	シエ	17	プ( <u>U)</u>	)- `	1 *				0	8	🛯 🆄 • 🔒	🖉 • 🛕	-	= ₩ ₹					
17)	バ																			NU	M		

図 4.3.11 基本台帳の出力例(様式-1)

Microsoft Excel - TunOutput.xls		and the second second				X
[過] ファイル(E) 編集(E) 表示(V) 挿入(I)	書式( <u>O</u> )	ツール( <u>T</u> ) データ( <u>D</u> )	ウィンド	ウ( <u>W</u> ) ヘルプ( <u>H</u> ) Adob 	be PDF( <u>B</u> )	θ×
新細明體	- 12	- B I U		■ 凾 🦉 % , *ぷ	🔐 🖽 • 🖄 • 🗛 • 🍟	-1- "
	5 - 🥩 🔊	• (* + 😣 Σ • A	K I I 🛍 🗖	75%	• 💿 🛃 🛃 📆 🛫 📘	
P6 <b>▼</b> fx						
ABCDEFGH	I J	K L M N	0	P Q R	S T U V	W
1 トンネル台帳 〔様式一2〕						Â
2 7184	影線女		トンネル	国-8-	作成年月日	-
3 名称 大谷第一トンネル	BE WK TH		メート			1
4 所在地 自 福井県教賀市	距離標	自 440 K+ 912 m	管轄	福井河川国道事務所	修正年月日 2009/3/21	
5 至 福井県教賀市		至 440 K+ 994 m				
6 スパン番号	起点側坑口と	いらの距離 (m)	ç	大谷第一トンネル	and the amo	
7 起点側坑門 (PS)	已点	終点		A The last	an att ann a	
<ul> <li>スハン(起点側よりSUDI、SUD2)</li> <li>9 終点側坑門 (PE) (小数点</li> </ul>	以下1桁)	(小数点以下1桁)		FOR C		
10 PS	0.0	0.0	位			
11 S001	0.0	6.0	置			
12 S002	5.0	12.0		= Z / Z /	to the	
13 S003 1	2.0	18.0	6	1:3 G13	AT THE	
14 SUU4 1	8.U 2.0	22.0	8	The second second	Carrow	
16 \$006	2.0 9.0	33.0	5	stauts and the second	10000	
17 \$007	3.0	39.5		Company of the states	Ne 1 38 0	
18 S008	9.5	45.5			and the	
19 \$009 4	5.5	51.6		the second line	A CONTRACTOR	
20 \$010	1.6	57.0			A DECEMBER OF THE OWNER OF	
21 S011	7.0	64.0	現	A CONTRACTOR		
22 SUI2 t	4.0	70.0	况复		- All Charles	
23 S015 24 S014	6.0 6.0	82.0	真	THE SECTION		
25 PE 8	2.0	82.0	1000	Mast In Co.	- Zamera	
26			1			
27			1	A COMPANY	Shere and the second	
28			-	Martin 1	起点側(福井柳)	
29	10000-000-00		1000 0.000			- +
◀ ◆ ▶   \様式-1 \様式-2 /様式-3 / カルラ	1 / 加厉2	/カルテ3 /カルテ4/カル	〒5/ ∢			•
: 図形の調整(R) → ↓ オートシェイプ(U) → ∖	V D C	) 🗠 🖪 🔌 🔅 🖪 🖂	1 3 - 4	<u>4 • A</u> • ≡ ≡ ፰ ■		
אעדב					NUM	

図 4.3.12 基本台帳の出力例(様式-2)





-	ファ・	TIL(E	) 編集( <u>E</u> ) 表示(⊻)	挿入( <u>I</u> ) 書	式(0	) :	ツール	(I) データ	( <u>D</u> ) ウイン	・ドウ(!	<u>W)</u>		プ( <u>H</u> )	A	dobe PDF( <u>B</u> )		_ e
新約	明體				- 8	3		- B 2		= 1		9	%	, .	•	<u>ð</u> • <u>A</u> •	
)	<u>i</u>		🖂 🕰 🗇 🕰 🛛 🕹	🗈 🛍 • 🤇	1	ŋ.	(H .	🧕 Σ ᠇	2↓ X↓   @		85%				- 🕡 🛃	12 2	
	Q2	0	▼ & 調査	Eスバン5〜	マノ	ショ	∋の約	128. 6m区	間		30.30	130-30					
	A B	CD	E	F	G	H	I J F	LMNC	P	Q	RS	ST	UV	WX	Y	Z	AA
					最終	纪人日	3 :	2009年3月21日		記入時期	8 :	1 1	-		-		
_	1.45	<b>44</b>	1											-			
_	乙合	第一	トンネル	怒梁巡		段国旗	18号	(旧道・閉鎖)		<b>II</b> -8	;			-		交通条件	<u></u>
-	- <b>-</b>	e to E	1962/12/1		8	4401	\$+ 912								調査年次	-	
	保用	#07.	1962/12/1		E	44U1	(+9)4	海井海川南法。	17 X 16 C		-	TT	TT	-	交通量		8
		17. I V JALA	62	3.48	인하	迎方 這世	空雨向	抽开河川画道: 市	<b>尹45</b> 月1				-	-	十副市場主要		- 00
		- 90.	10	制弦燈	E E	福井	<b>単勤智</b>								<u>, , , , , , , , , , , , , , , , , , , </u>		76
	5.7%	107.45	矢板工法	222	-		車線		法道德		m						
2	×	<b>a</b>		SEREE		箕	<b>E</b>		後道語	0.00	m						
5		ŧa	7.3 m						+775	5.75	m						
-	<u> 198</u>	<u>515</u>		228		棄	Ħ.		有效者	4.00	m		-	-			
5	RIP	9 <b>5</b> 2												-			
7	特定	事項															
5																	
		<u>z x</u>	自接・調査・対策	IÈ				使:調整結果	专族言尊					Ň	等下所見等		
	1		道路トンネル健全性評価プ	ロジェクト真	2006	12	13	1, 12,0560,	(株)ニューシ゛ェッ	調査ス	パン5~	スパン	9 の約	28.	6m区間		
5			1000 (活動・統合電気) (米市内)				AT/283	2.0000				a 892	620042	1999		8	
-	2		) 追略トンホル確全性計画ノ 輪(調索)	ロンエクレ苦	2006	12	13		(株)ニュージョッ	調査フ	$Q \gamma > 1$	o∼ス	パン9	10m	128 · 6m 🗵 🕅		
2			(5年 - 長田田名)				\$7%2#3	1. 2.(1/20)		-							-
3	3																
			(5款 · \$\$235)				泉市住地は	(* 3.4960)		-							
	•																
1			(5% · \$\$995)		- 3		\$7/2×3	1 23090 I									
i	-	i i		,													
			(5% · \$\$ 25)				RT/283	2.89651	-								
					3												
			(57: 4286)	1			\$772×3	2/2/2000		1							
•	<b>&gt;</b> H	\ 作表工	7-1 / 棣式-2 / 棣式-3	<u>\ZJUT1/7</u>	መታ	2/3	ידאות	3 / フフルテ4 /	(刀)から/	14	_				m		t

図 4.3.14 カルテ1の出力例



図 4.3.15 カルテ2の出力例



図 4.3.16 カルテ3の出力例



図 4.3.17 カルテ4の出力例



図 4.3.18 カルテ5の出力例

# 4.3.8 今後の課題及び展望

本システムは、トンネルの基本台帳を始め、既存の点検結果をバックシートにおいて点検作業を行い、変状毎に 管理コードを付加してデータベース化により今後のトンネルの健全性評価の活用が期待される.また、点検調査の 現場作業はもちろん、トンネル健全性評価においても、リアルタイムで三次元のビジアル化により作業を効率的か つ効果的に行うことができる.

今後の課題としては、本研究会で新たに提案した走行型計測を用いたトンネル健全性評価手法へ対応できる機能 の追加が望まれる.また、今後の展望としては、道路トンネルの点検・調査・補修から健全性評価までの手引きや 指針などのような全面見直を待って、それに対応できるようなシステムの改良改善が可能である.

### 4.4 まとめ

提案する健全性評価手法を大谷第一トンネルに対して適用した.検討結果から得られる知見を取りまとめる.まず,成果として以下の3点が挙げられる.

- ① 提案手法は従来手法と比較して、より安全側の判定が可能である.
- ② 提案手法は地すべりによる影響を適切に評価に反映している
- ③ 提案手法は走行型計測手法を適用できる範囲での判定が可能であり、交通規制を必要としない点検程度の 作業量での判定が可能である

これらから,提案手法が従来手法と同程度以上の判断が可能であり,実用性が高いことが示された.さらに課題 として,以下を挙げる.

- ① 覆工変形モードを評価する区間を定める必要がある
- ② 外力と覆工変形モードの関係性の蓄積が必要である

①に関して、トンネルに外力がかかる場合に、覆工に影響が出る範囲がどの程度かが未検討のままである.つまり、レーザにより得られる'三次元的な'変形モードと、従来から蓄積されている'二次元的な(トンネル横断面の)'変形モードとの相関が明確に関連付けられていない. 但し、三次元的な効果を考慮した実験なども行われており<sup>11)</sup>、今後の蓄積から改善できる課題である.

また,②に関しては、外力と覆工変形モードとの関係性の把握が不十分であるといえる.例えば、今回検討した 大谷第一トンネルでは地すべり土塊はトンネルの終点側から起点側へも移動していることが確認されている.この ため、覆工に生じたひび割れはトンネル横断方向の偏圧の影響だけでなく、トンネル縦断方向の偏圧も同時に受け ているものと考えられるが、現状でこの外力の作用状態(方向)と覆工の変形モードとの関連性を検討した事例は ない.従って、①の課題も含めて、今後は様々な外力の作用状態と変形モードの事例を蓄積することで、判定に必 要な事例集を取りまとめる必要がある.

なお、本章では、計測機器自体の課題については言及しないこととし、純粋に手法に対しての実用性についての 検討を行った.しかしながら、3.4 でも指摘したように本手法の実用性を高めるためには、以下のような計測機器 に関する検討が必要不可欠であることは論を待たない.

- ① 計測機器のデータ取得 '精度'の向上
- ② 取得データの'処理手法'の最適化

詳細は3.4 で指摘しているが、①に関しては、例えば画像から得られる最小ひび割れ密度の向上や煤けたトンネル覆工面での撮影手法の検討、レーザ点群の取得精度の向上などが上げられる。②に関しては、例えば画像からのひび割れの検出手法の検討や、画像の合成手法、レーザ点群から覆工変形モードを算出する手法などの確立が挙げられる。