

第5回新都市社会技術セミナー

道路トンネル健全性評価技術の研究



2008年1月24日(木)

道路トンネル健全性評価プロジェクト

プロジェクトリーダー 大西有三(京都大学)

発表次第

1. プロジェクト概要
2. 現状のトンネルマネジメント手法
3. 望ましいトンネルマネジメント手法
4. 目指すべき計測技術の活用
5. トンネルデータのビジュアル化
6. アセットマネジメントへの取組み
7. 将来への展開

プロジェクト概要

◇研究目的

◇プロジェクトの体制

◇プロジェクトの全体フロー

◇研究項目

研究目的

トンネルの現状

トンネル覆工の健全性評価劣化予測手法が確立されていない



補修・補強の適切な時期を定めることが困難

プロジェクトの設立



トンネル健全性評価技術の研究の実施

研究の目的

現在、社会資本の根幹をなす道路資産の効率的な維持管理が必要とされている中、補修等が困難な道路トンネルに対する検討が課題となっている。本プロジェクトは、道路トンネルの効率的な維持管理を行うための健全性評価技術およびその手法の研究を行うものである。

プロジェクトの体制

リーダー(学)

京都大学大学院工学研究科
都市環境工学専攻 教授 大西有三

産

(株)ニュージェック (株)アーステック東洋
エヌ・ティ・ティインフラネット(株) 総合計測(株)
パシフィックコンサルタンツ(株) 応用地質(株)
三井住友建設(株) (株)ウエスコ
三菱電機(株) (株)栗田製作所
トムテクスエージー(株)

学

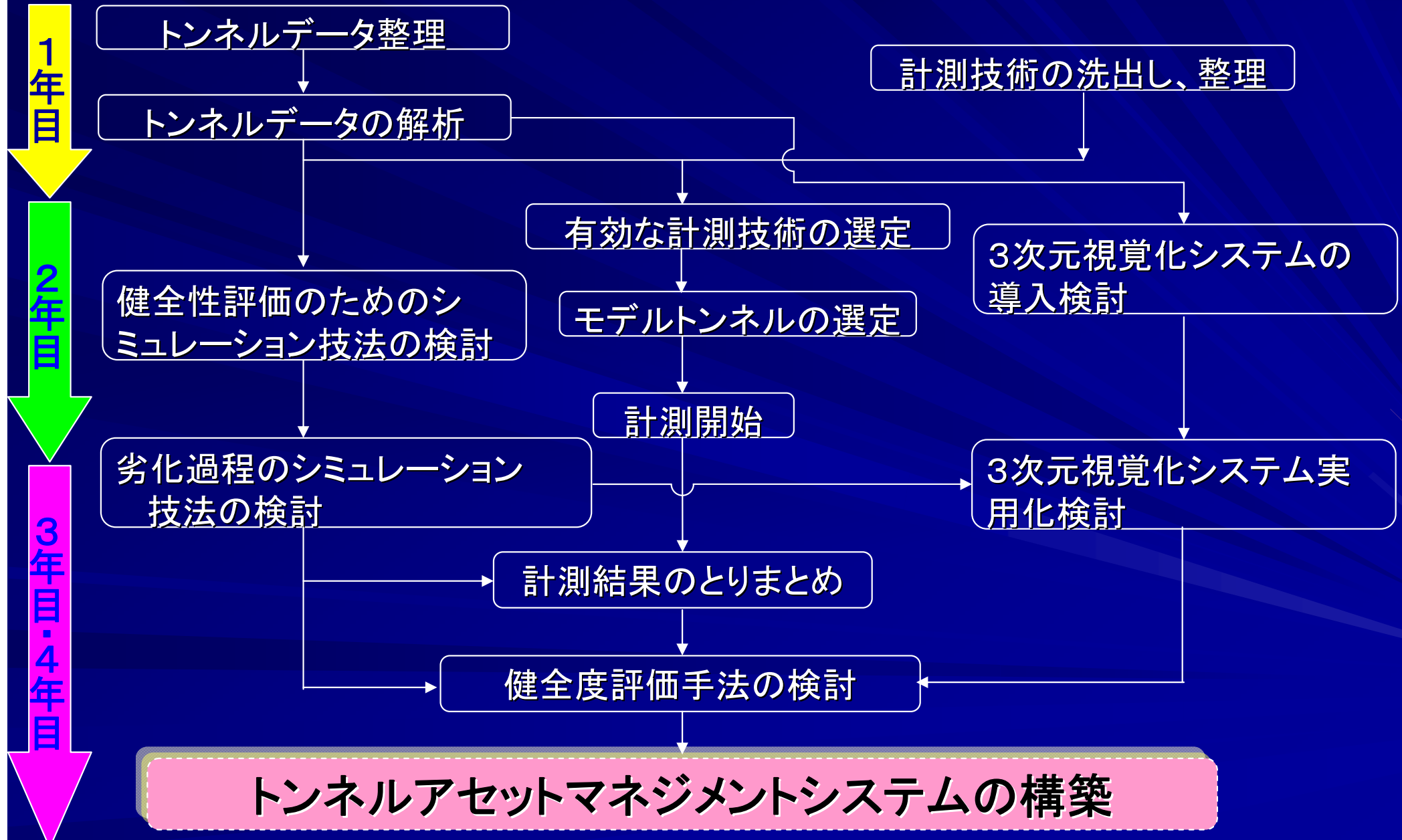
京都大学大学院工学研究科

官

国土交通省 近畿地方整備局
道路部 道路管理課
近畿技術事務所
福井河川国道事務所

プロジェクト全体フロー

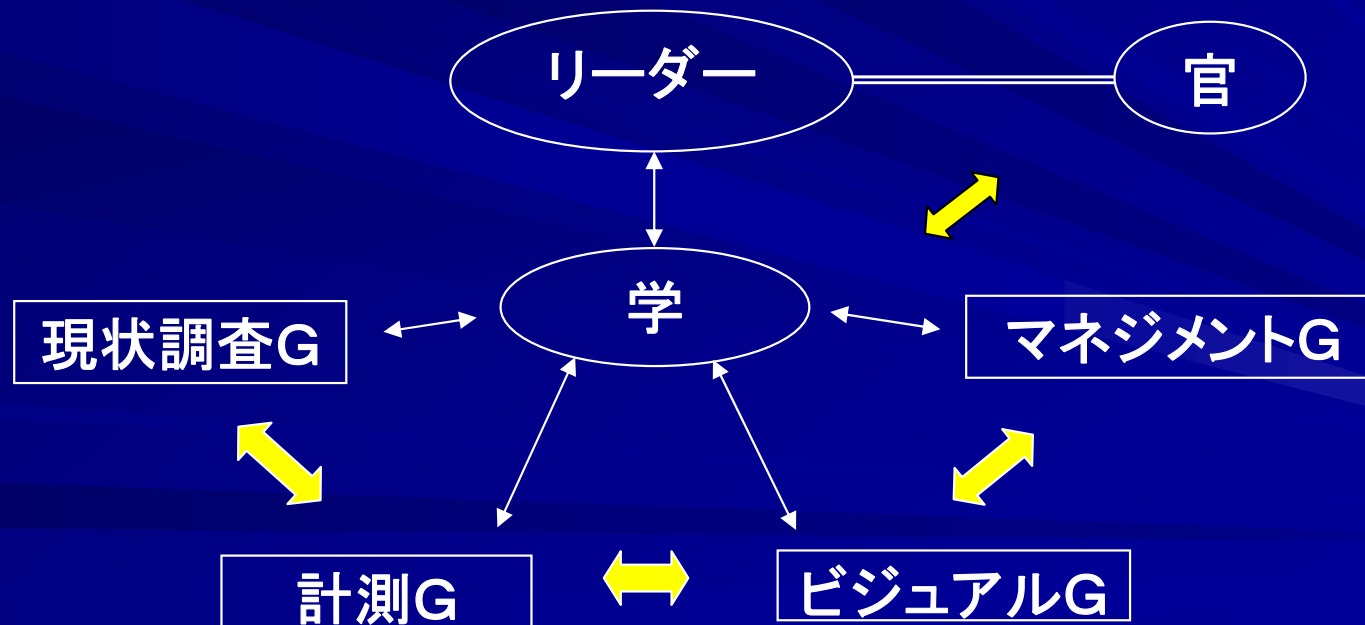
本プロジェクトの基本方針は以下の研究フローに従って研究を進めていく。



研究項目その1

本プロジェクトは、4つのグループに分け、道路トンネルの健全性の評価方法について検討を実施する。

- ・ 現状調査グループ
- ・ 計測グループ
- ・ 3次元ビジュアル化グループ
- ・ データマネジメントグループ



研究項目その2

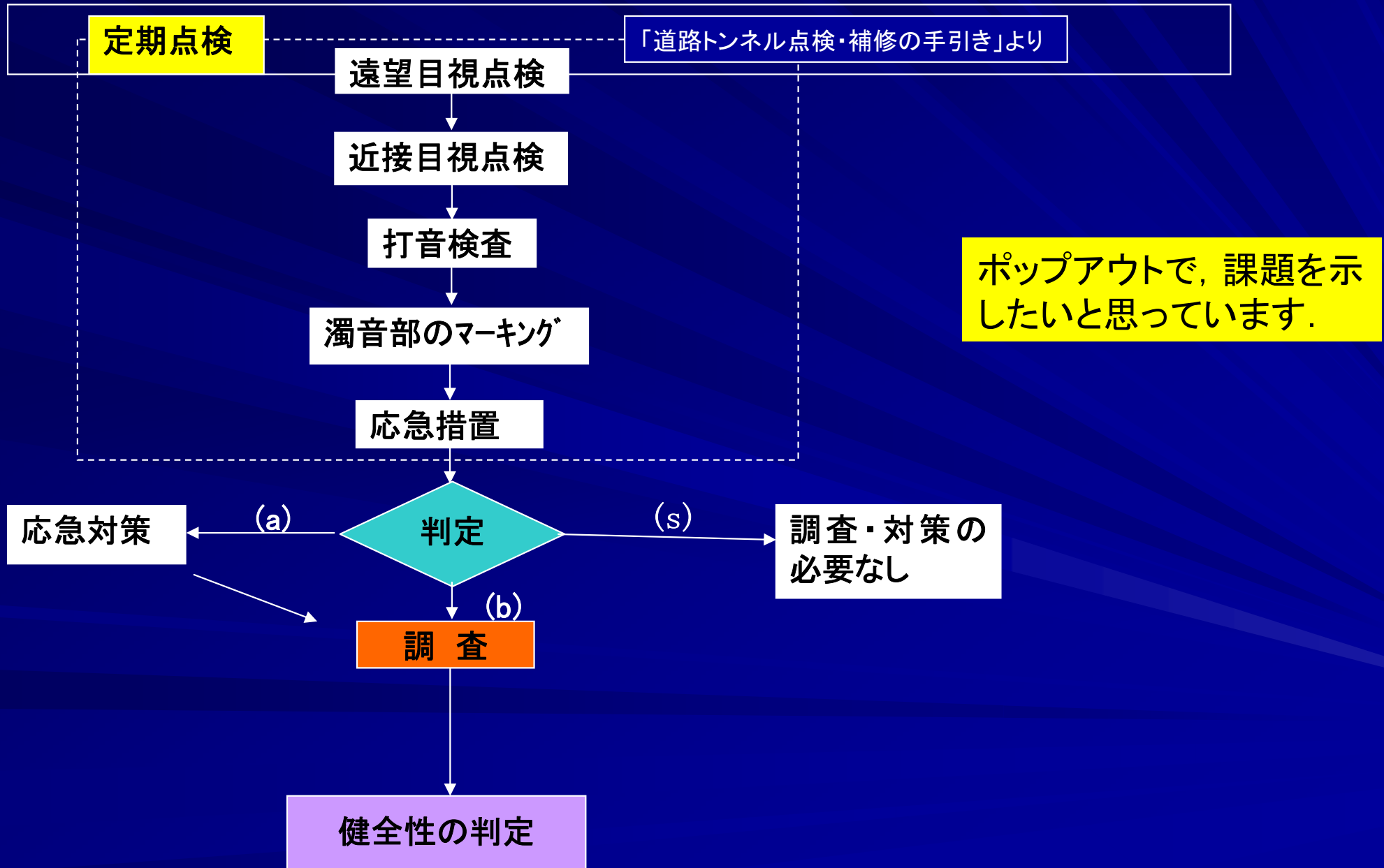
研究項目	内容
現状のトンネルマネジメント手法	・管理者の課題、ニーズの整理
望ましいマネジメント手法	・課題、ニーズに対する解決策 ・効率的な維持管理の原則とは
目指すべき計測技術の活用	・近赤外線走行撮影、レーザースキャナー撮影 ・ひび割れ、内空変位計測の研究 ・電気式変位計 ・光ファイバ式変位計 ・無線センサー ・精密写真計測
トンネルデータのビジュアル化	・道路トンネルデータベースの研究 ・トンネル損傷の 3次元表示
アセットマネジメントへの取組み	・マネジメントの必要性 ・新しい健全性評価手法に基づく維持管理方法 ・アセットマネジメントへ向けた課題

現状のトンネルマネジメント手法

- ◇現状トンネルの健全性評価について
- ◇現状トンネルの損傷について
- ◇現状トンネル維持管理の課題及びニーズ

現状トンネルの健全性評価について

①健全性判定の手順



現状トンネルの健全性評価について

②定期点検の判定基準(覆工部)

「道路トンネル定期点検要領」より

変状の種類	判定区分A	判定区分B
ひび割れ、段差	急激にひび割れが進行し、ブロック化して落下する恐れがあるもの	天端、肩部で幅3mm以上、延長方向に5m以上の規模を有するもの
うき、はく離、はく落	コンクリートのはく離がある場合、うきの部分がはく落する恐れのあるもの	はく落に結びつく、うき(圧ざ)があるもの
傾き、沈下、変形	目視により明らかに傾き、沈下、変形があるもの	左記の場合で交通に支障のない場合
打継目の目地切れ、段差	止水板や目地モルタルが落下する恐れのあるもの	左記の場合で交通に支障のない場合
漏水、つらら、遊離石灰	大規模な漏水、つらら、側水があるもの	左記の場合で交通に支障のない場合

現状トンネルの健全性評価について

③調査結果の判定方法

「道路トンネル点検・補修の手引き」より

代表的な調査例

- ・地質、地下水調査
- ・地山挙動調査(地中変位等)
- ・ひび割れ調査(幅、長さ、変化等)
- ・漏水調査(水温、水質等)
- ・巻厚・背面調査(レーダー、ボアホール等)

変 状

調査の実施



要因の究明

外的要因

外力作用に起因するもの
環境変化に起因するもの

内的要因

材料劣化に起因するもの
施工に起因するもの
断面構造に起因するもの

第三者被害を誘発する変状 → **判定区分Ⅰ**

うき、はく落、漏水、つらら・側氷・土砂流出

トンネル構造自体の安全性に問題はないが、覆工コンクリートの部分的な落下による直接的にすぐ被害や漏水等に起因する事故等を引き起こす恐れのある変状

構造的な変状 → **判定区分Ⅱ**

覆工コンクリートの変形・移動・沈下、ひび割れ、構造的なうき、はく落(材質劣化)、鋼材腐食

トンネル構造自体の安定が問題となる変状

現状トンネルの損傷について

◆道路トンネル損傷の現状のまとめ

トンネル損傷ではひび割れ、うき・はく離・はく落が多く発生している

ほとんどが覆工（アーチ部）に発生している（通行に支障）

ひび割れは、縦断方向に多く発生している

ひび割れと漏水の関連性が比較的深い

うき・はく離・はく落と漏水の関連も比較的深い

ひび割れと、うき・はく離・はく落の関連は浅い



ひび割れ4：漏水1



うき・はく離5：漏水1



うき・はく離・はく落がひび割れ以外の原因が多い
（目地周辺、施工不良、補修跡等）

課題

◇ひび割れ
◇うき・はく離・はく落
◇漏水

◇発生原因究明
◇関連性究明
◇進行予測



モデルトンネルにおける
データ分析、計測分析などにより

健全性評価手法の確立

現状トンネル維持管理の課題及びニーズ

◆道路トンネル維持管理の課題

- ①調査・設計・施工時の記録が残っていない
- ②変状の初期値の記録がない.
- ③覆工の効果が完全に把握されていない.
- ④覆工表面の変状と変状原因の相関不明
- ⑤客観性に欠け, 判定にばらつきが生じる.
- ⑥点検結果の定量評価なし,
対策工選定, 時期設定が不明確
- ⑦点検及び調査に伴う予算不足

現状トンネル維持管理の課題及びニーズ

◆道路トンネル維持管理におけるニーズ

- ①実務者に使ってもらえるためには
(何のために, 誰が, 何をすれば良いのか)
→剥落, 漏水のような一次被害を事前察知 & 抜本的な対策の
要否をするための情報提供
- ②第3者影響を早期に発見できること(瑕疵責任)
- ③交通規制が極力伴わない点検または調査法を提供
- ④構造的な変状に対して, いつ, どのような対策を行うべきかを意思
決定したい(将来の進展を予測 → マネジメントに乗る)
- ⑤問題となる構造的変状の割合は, 全体の10%以下ですぐに崩壊
することは稀. どこが問題かを検出しておけば, 計測で対応できる.
- ⑥これまでの点検履歴(カルテ)を活用したい
- ⑦正確, 安全, 安価, 短期間の点検が求められている
- ⑧どのトンネルにも同じ手法を行う必要はない(レベルを変えて良い)

現状のトンネルマネジメント手法のまとめ

◆健全性の評価について

- ・定期点検により、**A、B、S**により評価
- ・調査により、**第三者被害**を誘発する変状と**構造的な変状**に区分

◆トンネル損傷について

- ・損傷では、**ひび割れ、うき・はく離・はく落、漏水**が多い
- ・うき・はく離・はく落は、必ずしもひび割れが原因ではない

◆維持管理の課題

- ・設計施工時の記録が少なく、**初期のデータ**(変状状況など)がない
- ・点検及び調査に伴う**予算がない**
- ・点検の定量評価ができず、判定に**ばらつき**が生じる

◆維持管理のニーズ

- ・はく離・はく落、漏水など一次被害を**事前に察知**できればいい(第三者影響)
- ・**交通規制**が伴わず、**正確、安全、安価、短期間**の点検、調査方法が望ましい
- ・将来の**進展が予測**できればいい
- ・構造的変状は比較的少なく、**計測で対応**できればいい
- ・これまでの**点検履歴を有効活用**したデータベースがほしい
- ・どのトンネルにも同じ管理を行うのではなく、**レベルを変えた管理**が必要

望ましいトンネルマネジメント手法

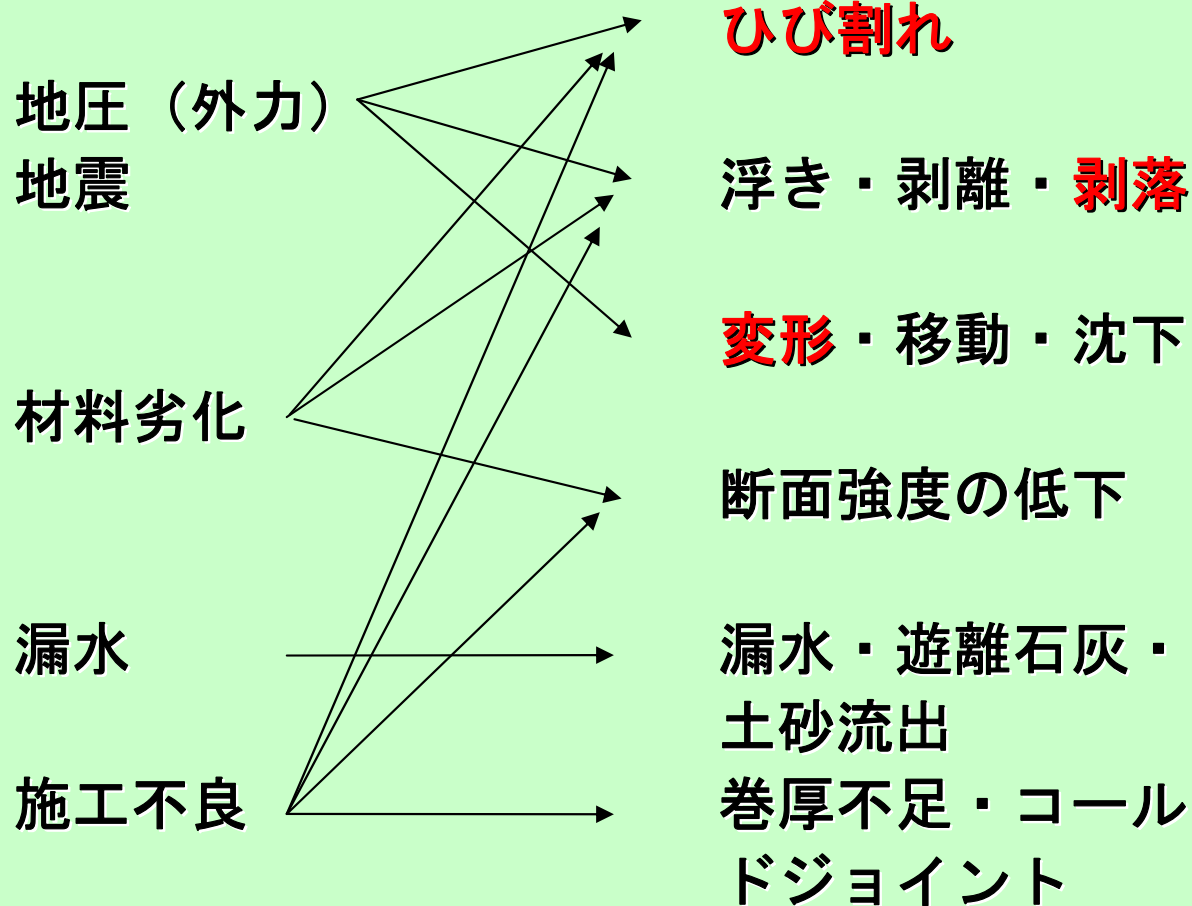
- ◇トンネル変状の特性
- ◇課題、ニーズに対する解決策
- ◇マネジメントの基本理念
- ◇効率的な維持管理の原則

トンネル変状の特性

これまでの整理から、トンネルの変状と原因は以下のように関連づけられ、第三者影響と構造的変状に区分される

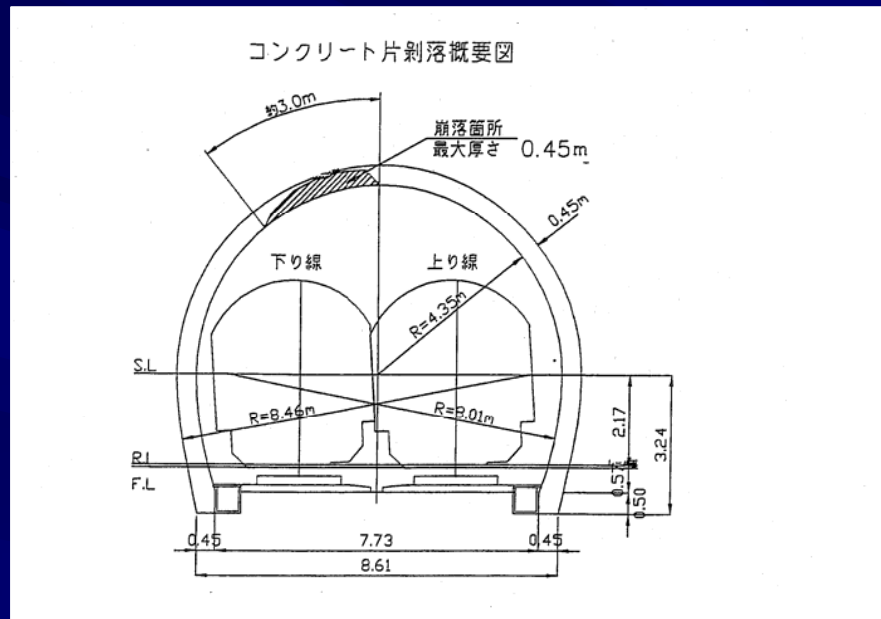
第三者影響に関する変状

構造的変状



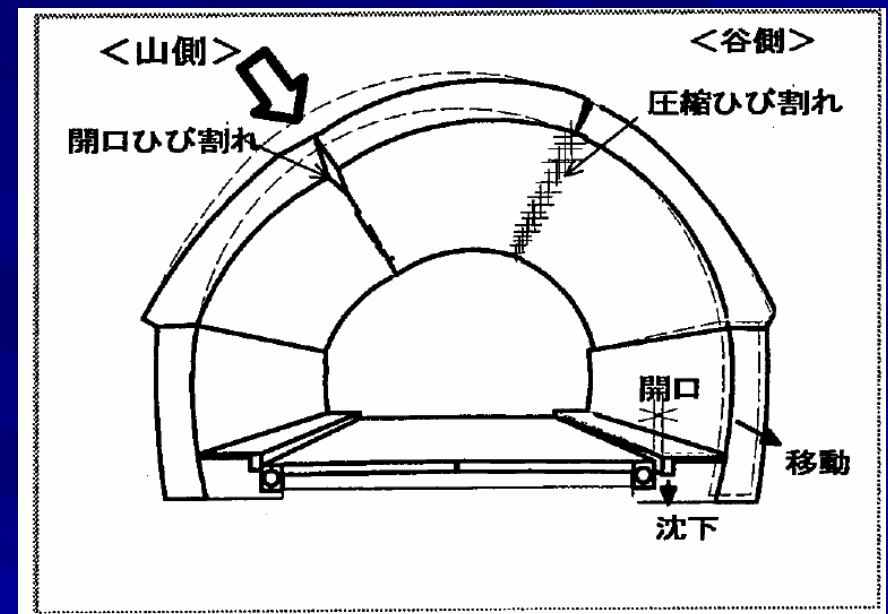
2タイプの変状のとりえ方

第三者影響に関する変状



モニタリング困難
予測困難
突然変状発生

構造的な変状



モニタリング可能
予測可能
事前に変形を伴う

課題、ニーズに対する解決策

	主たる要望, 疑問など	解決策の案
1	点検をしたくても予算がない	<u>維持管理の重要性, 点検価値,</u> 延命化への貢献, 評価手法
2	一応点検は行ったが, 予算がなく今後の展開が困難	延命化への貢献, <u>評価手法,</u> <u>対策時期・工法決定手法,</u>
3	優先箇所を絞り込みたい	評価手法, 対策時期, <u>優先順位,</u> <u>要注意箇所</u>
4	トンネルには予防保全的な点検, 維持管理は不要ではないのか	<u>評価手法, 対策時期, モニタリング手法,</u> <u>予防保全価値 → 予防管理</u>
5	今の点検手法は正しいのか	点検手法, <u>簡便型点検法,</u> 評価手法, <u>要注意箇所抽出, 剥落・漏水防止</u>
6	維持管理予算を獲得したい	点検価値, <u>アカウントビリティ</u>
7	全てのトンネルに対して同様の手法は不合理	<u>サービスレベル, 最低水準</u>
8	利用者, 住民の意識を変えたい	<u>リスク配分,</u> 意識改革, アカウントビリティ

本研究の焦点



課題、ニーズに対する具体的な検討項目

分類	検討項目
点検, 評価手法	点検手法（通行規制回避）
	簡便型点検法
	評価手法（点検項目）
	保有性能と整合した維持管理法
優先順位, 対策時期	対策時期・工法決定方法
	優先順位の決定法
	要注意箇所抽出
モニタリング	剥落・漏水の発見・防止
	計測, モニタリング手法
サービスレベル, LCC 最適化, 意思決定	サービスレベル, 最低水準とは
	劣化予測・LCCによる意思決定, 予防保全

マネジメントの基本理念

(1) トンネル点検のミニマムメンテナンス

- ・遠望目視、近接目視・打音、点検不要をスパンごとに使い分ける。
- ・点検結果に応じて、柔軟な頻度設定を行う。

(2) サービスレベルに応じた管理

- ・交通量，緊急輸送道路，損傷進行度，都市・山間部など

(3) 第三者影響と構造的変状に分けて考える

(4) 覆工の剥落、漏水などの利用者への影響回避を優先的に扱う。

- ・変状発生の高い目地，天端周辺に着目。
- ・ひび割れに着目し，早期検知。

(5) 維持管理計画に活用できる簡便な健全度評価基準を導入する。

- ・点検シート活用により、簡単に健全度評価を行う。

効率的な維持管理のための7原則

- 1) トンネルのミニмумメンテナンス
- 2) 変状種類の分類
- 3) 第三者影響回避の優先
- 4) 予防保全と予防管理の考え方
- 5) サービスレベルに応じた管理
- 6) データベースの構築と活用
- 7) LCC最適化によるアセットマネジメント

「効率的な維持管理のための7原則」

トンネルのミニмумメンテナンス	点検, 補修のコストミニмум化. 問題のないスパンを除外, 問題箇所 の絞り込み. 新技術の活用(客観的, 安価, 短時間, 規制なし)
変状種類の分類	構造的変状、第三者影響に関する変状に区分して対応する(構造的な 変状の割合は10%以下であり, モニタリングで監視可能→モニタ リング技術の活用)
第三者影響回避の優先	覆工の剥落、漏水などの第三者影響の回避を優先する(目地・天端 に着目, 問題のひび割れの早期検知)
予防保全と予防管理の考え方	第三者影響には予防保全(早めに問題を除去), 構造的変状には 予防管理(モニタリングを行いながら, 壊れる直前に対策実施)
サービスレベルに応じた管理	全てのトンネルに同様の管理手法を行う必要はない. コスト縮減を 図りつつ, 変状の進行度・頻度, 重要路線, 交通量などのリスクに 応じた対応を実施.
データベースの構築と活用	実務に活用できるデータベースを提供(継続性, 再現性, 客観性, ハンドリングの良さ) 既往点検カルテの活用, 坑壁画像取得技術の活用
LCC最適化によるアセットマネジメント	構造的な変状→モニタリングによる適切なタイミング, 工法による対 策実施. 第3者影響→点検頻度低減, 抽出箇所への点検集約, 事前補修で 点検除外

目指すべき計測技術の活用

- ◇計測目的
- ◇画像取得技術の活用
- ◇モニタリング技術の活用

計測目的

◆計測目的

計測は、第三者影響による変状と構造的変状に区分して、それぞれの目的に応じた手法とする

第三者影響による変状

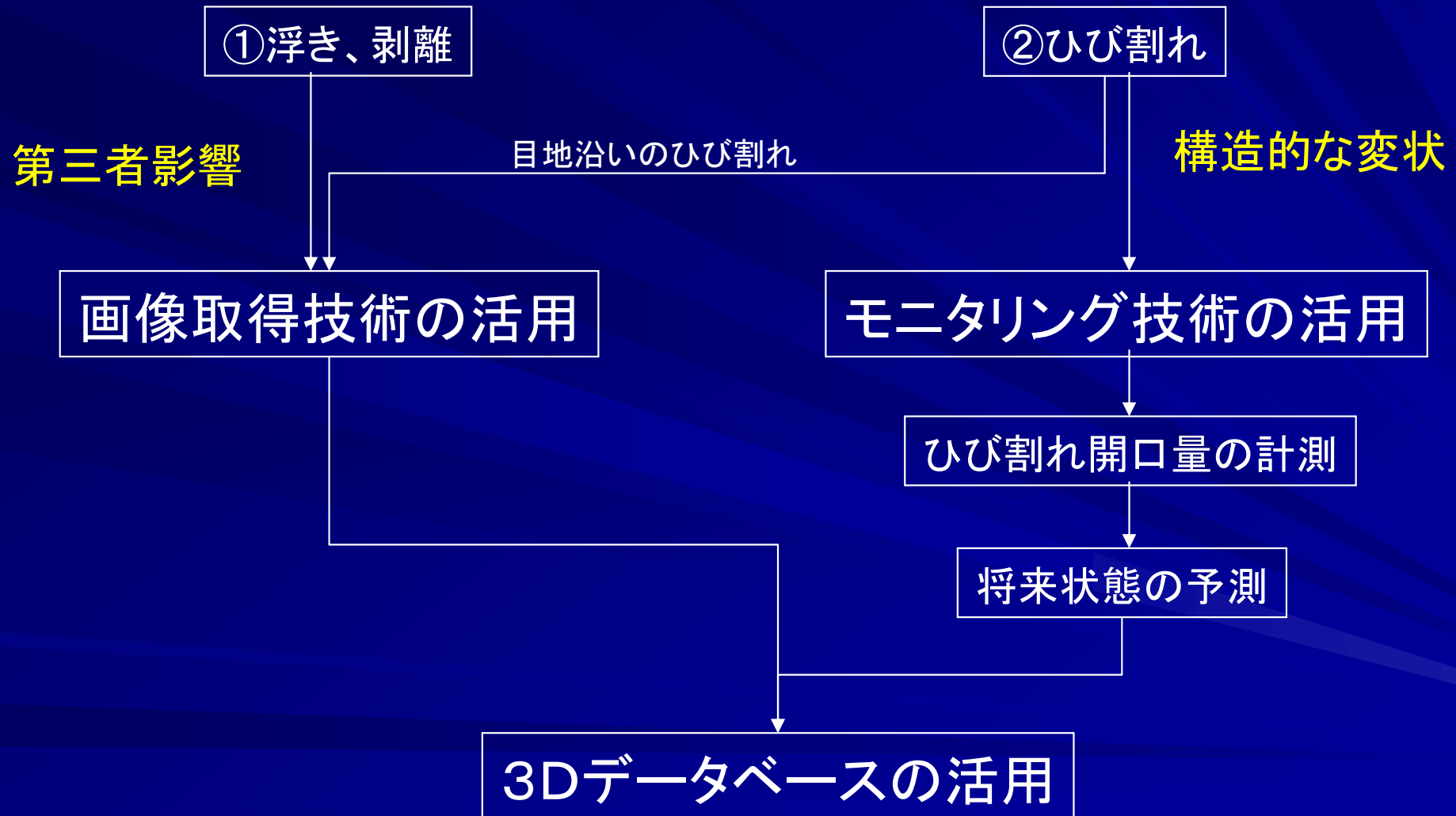
- ・ 簡便に（通行規制せず）変状を察知する
 - ひび割れパターン、目地周辺変状
 - 画像取得手法の適用

構造的変状

- ・ 構造的変状への適切な対策の実施
 - モニタリングにより追跡
 - ひび割れに着目、開口量の進展
 - 予測に基づき対策工法・時期の最適化

計測目的

◆維持管理の基本的な考え方



計測目的

◆計測フロー

Mトンネル

汎用性を目的

近接目視

(代替え: 検証)

既存データ(点検結果)

画像取得技術

短期計測(利用者影響)

- ・ネットワークカメラ、デジタル精密写真計測
- ・赤外線カメラ
- ・レーザースキャナー
- ・レーザカメラ

ひび割れ、漏水にどこまで対応できるか

重要なひび割れの抽出

長期計測(構造的な変状)

モニタリング技術の活用

光ファイバー

(代替え: 検証)

従来型(パイ型ゲージ)

データ転送の開発

着目点

遠望目視での判断ができるか

Mトンネル以外での適用性

コスト考慮

- ・シーケンサ(場所をとらない)
- ・光ファイバー(FBG軽い)
- ・ネットワークセンサー

計測箇所

◆トンネル坑口部(北側)



◆計測場所

〇〇トンネル(国道〇号:〇〇国道事務所管内)
→現在地すべりの影響により、使用されておらず
計測作業が容易であるため

◆トンネル概要

- ・トンネル延長: 82m
- ・トンネル内空幅: 7.72m
- ・トンネル内空高さ: 5.75m
- ・供用年月: 昭和37年12月
- ・トンネル工法: 矢板工法
- ・壁面: 覆工コンクリート
- ・天井: 覆工コンクリート

画像取得技術の活用

◆計測の概念

- これまでの点検カルテを活用する
 - データベース化しておく
- 点検カルテから、剥落に対して進展が懸念される箇所を抽出
 - 少なければ、従来の手法で良い(レベルに応じた対応)
 - あるいは、問題の箇所だけカメラで追う
 - 箇所数が多い場合は、覆工画像取得を適用
- 画像取得
 - 従来のカルテのトレース, データ置換
 - 問題箇所の特定, マーキング
 - 経時的な追跡(全線の取得は5? 年毎, マーキング箇所をカメラで追う)

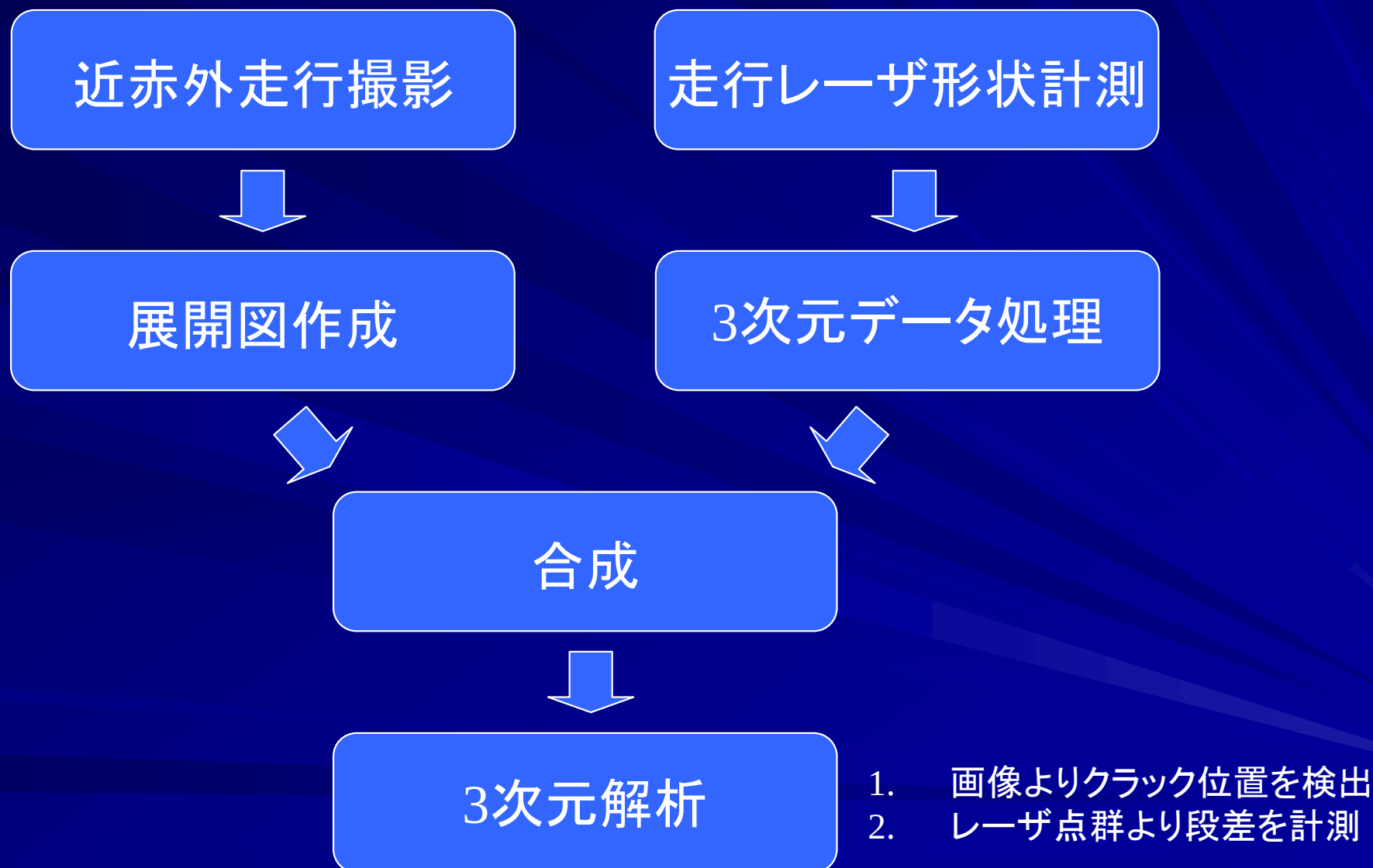
画像取得技術の活用

◆画像取得技術の項目

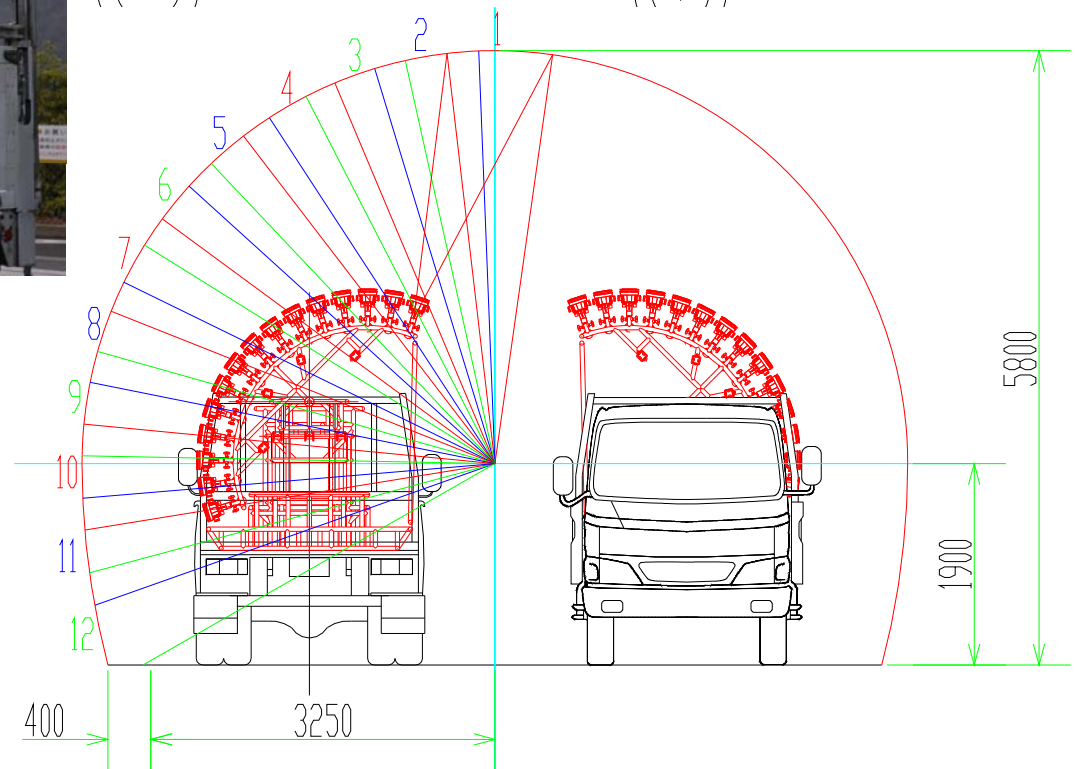
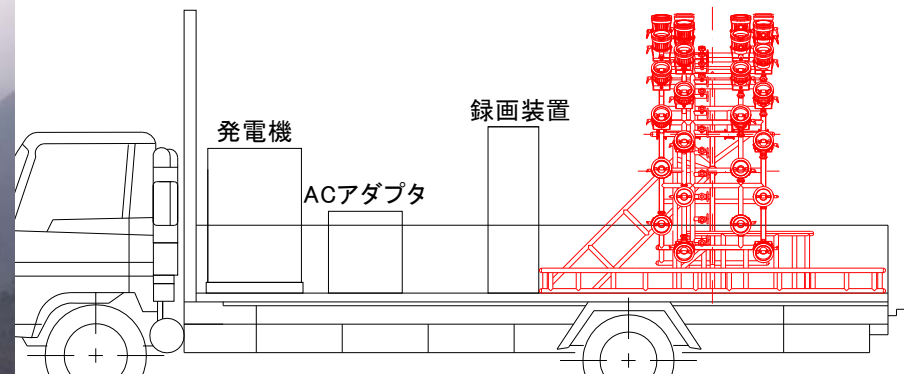
- ・近赤外線走行撮影
- ・レーザースキャナー撮影
- ・デジタルカメラ撮影

近赤外線走行撮影

計測手順



近赤外線走行撮影



近赤外線走行撮影

近赤外線撮影車仕様

品 名		仕 様
撮 影	デジタルビデオカメラ 13台	画素数 : 3CCD 34万画素(有効画素) 寸法 : 93x112x193mm 重量 : 900g
	照明器 28台	消費電力 : 1KW、0.5KW 寸法 : 290x213x195mm 定格電圧 : 100V 重量 : 2.3kg
	デジタル録画装置 13台	記録方式 : DV-CAM 寸法 : 221x44x250mm 記録時間 : 3時間(max) 重量 : 5.8kg
	発電器 1台	出力 : 45kVA/台 寸法 : 980x1,800x900mm 重量 : 1,000kg/台
	ACアダプター 2台	供給電力 : 15A*15 寸法 : 500x500x500mm 重量 : 50kg
撮影車両	4t車	
撮影速度		時速10km(最高時速80km)

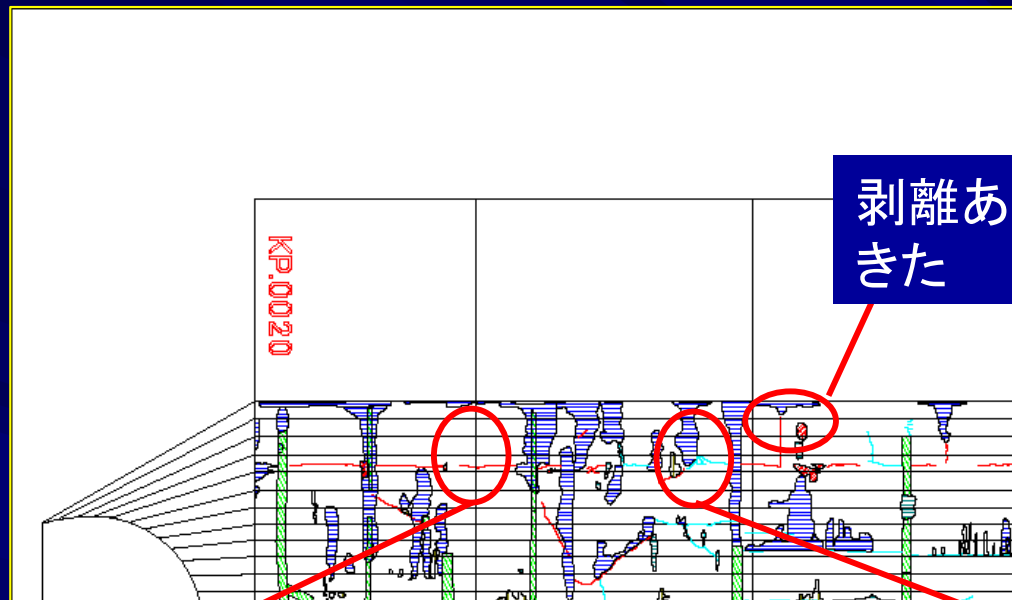
撮影の様子(〇〇トンネル 10km/h)



撮影結果(〇〇トンネル5月30日)



デジタル画像から得られる情報



剥離あとが確認できた



実測も0.3mm
以上であった



実測も0.3mm
未満であった

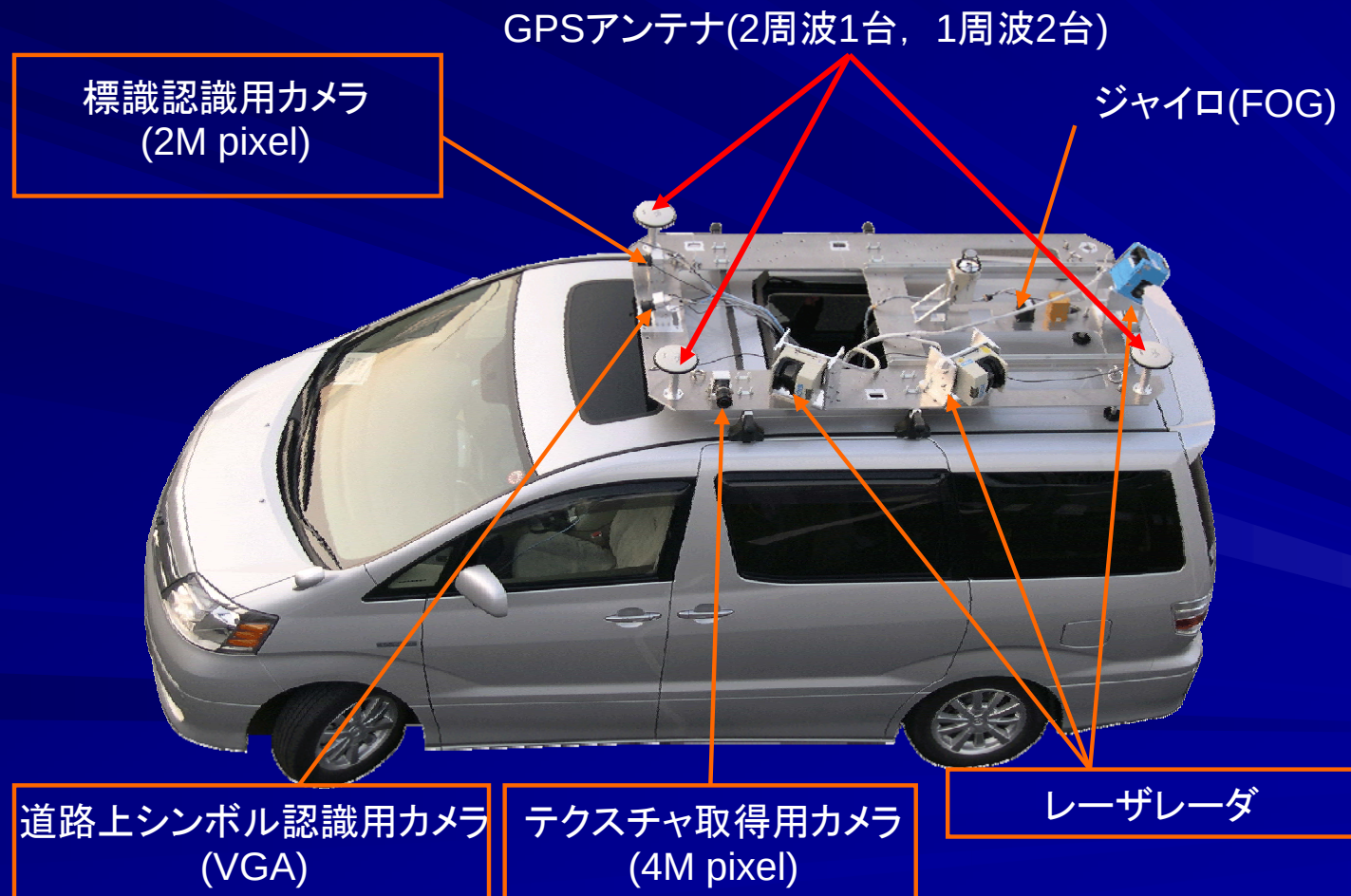


うきが確認できた

MMS(モバイルマッピングシステム)

高精度GPSと全周カメラやレーザレーダを備え、位置に同期した周囲360度の映像や周囲の3次元モデル等を走りながら取得出来るモバイルマッピングシステムを開発。

カーナビ等で用いられる白線位置や標識位置を含んだ高精度3次元地図作成や大規模災害時の災害査定等の大幅な効率化を実現。



MMS仕様

品 名		仕 様	備考
計測装置	デジタルビデオカメラ 2台	白線用 0.3M画素 標識用 2M画素	
	レーザスキャナ 3台	最大視野角180度 スキャン速度13500pps	
	GPSアンテナ/受信機 3台	2周波:1基, 1周波:2基 GPS Gyro を構成	
	IMU及びオドメータ 1台	三軸FOG/INS オドメータ:後輪設置	
車 両	トヨタアルファード	ハイブリッド車 (電気/ガソリン)	今回の撮影車 速は時速0～ 70km

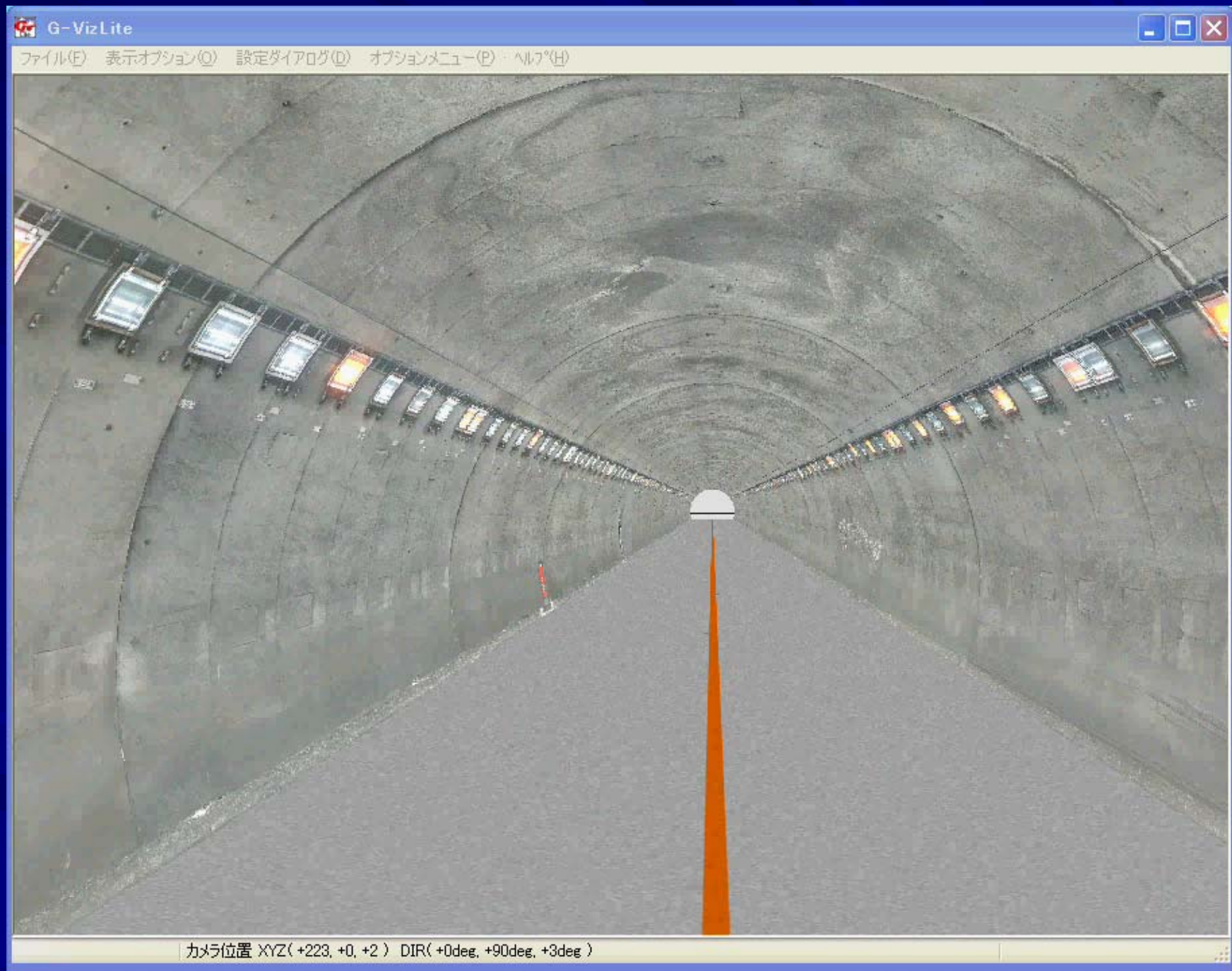
〇〇トンネル計測結果

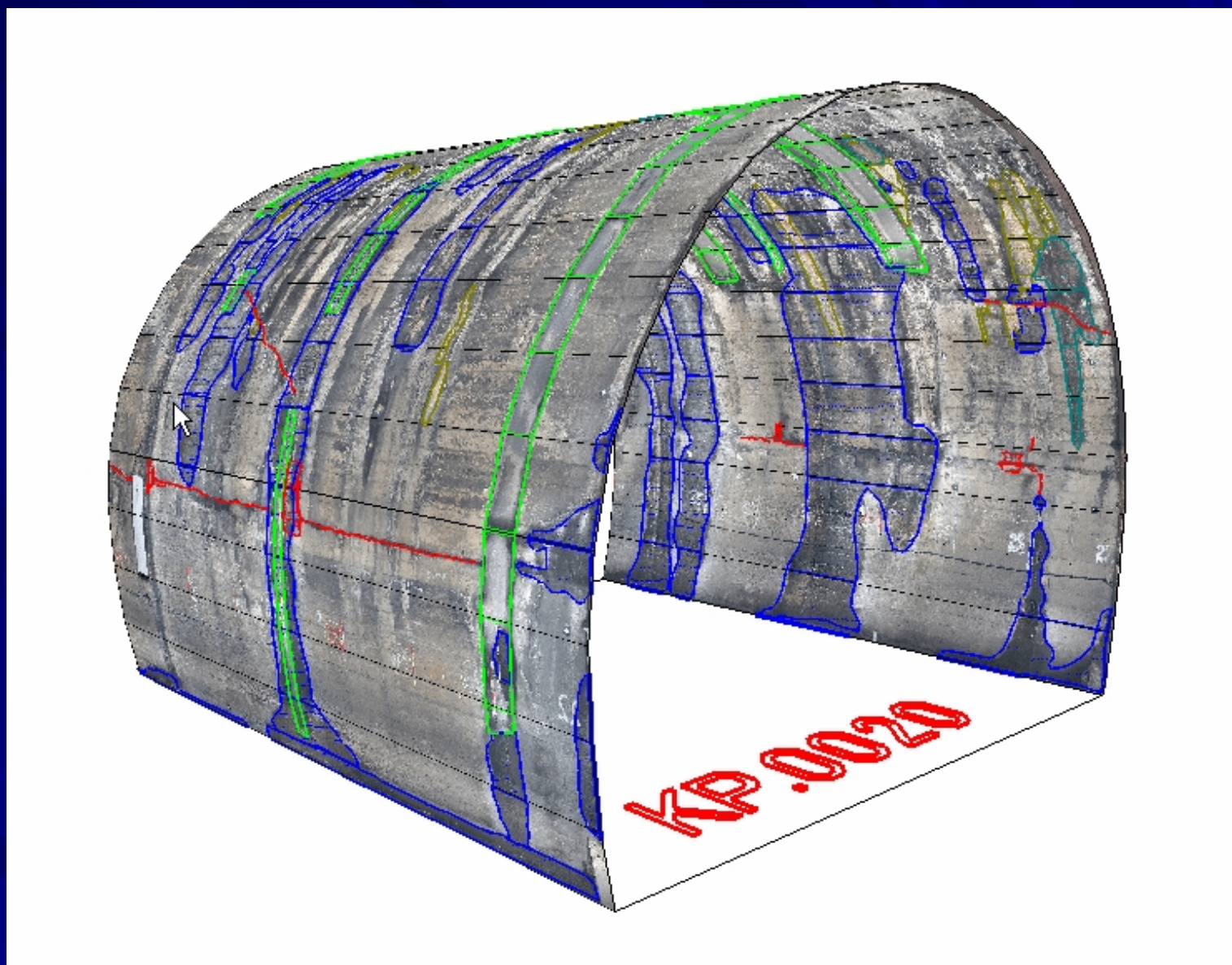


〇〇トンネル計測結果



近赤外線走行撮影のアウトプット





近赤外線走行撮影のアウトプット

3次元解析



レーザースキャナー撮影

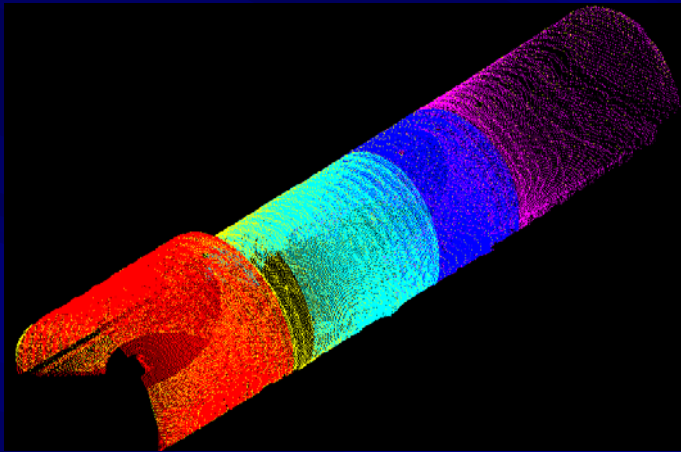
3次元レーザースキャナーは、短時間で大量の3次元座標を取得することが可能な計測機器である。



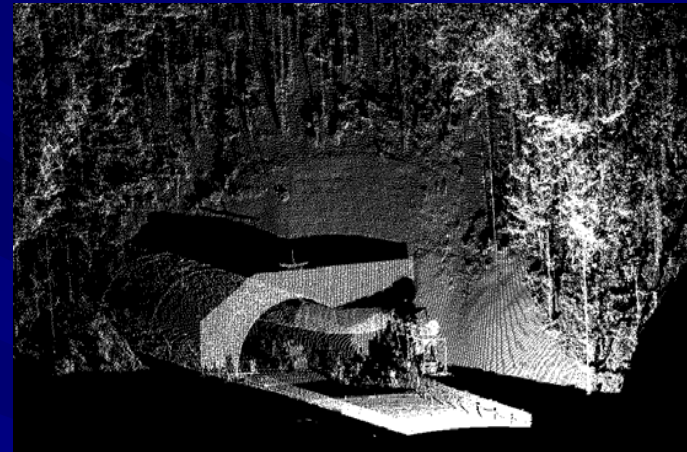
- ・360° 回転しながら、12,000点／secで計測を行うことが可能
- ・計測時間は、360° 回転して5～15分(データ密度により変化あり)
- ・計測精度は2～20mm(機種に応じて異なる)
- ・デジタルデータのため、解析モデル等への反映が容易
- ・機器価格は1000万円以上と非常に高価

レーザースキャナー撮影

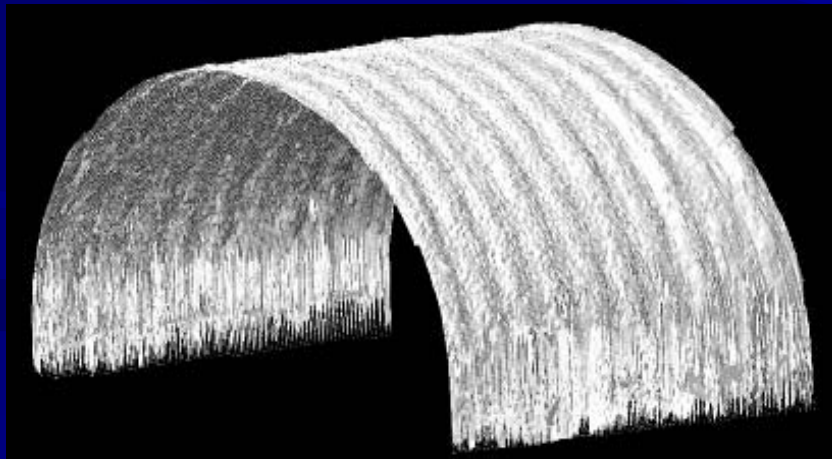
取得するデータは各点で3次元座標をもっているため、立体的なモデルとして表現することが可能である。
また、反射強度を利用することで漏水検知にも利用可能である。



3次元CADでトンネルを表現



坑口の3次元データ



トンネル形状の表現(支保工部)

レーザースキャナーを用いれば、
3次元可視化が容易となり、
GISへ実際のトンネルモデルを組み込んだ
システムを構築することが可能となる

レーザースカナー撮影

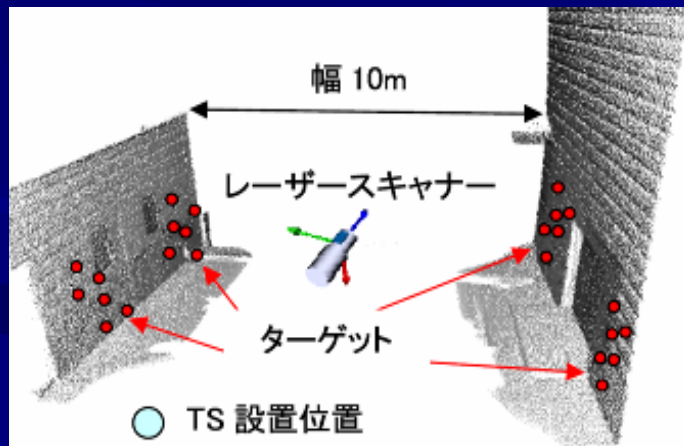
3次元レーザースカナーは、360°回転しながら計測を実施し、詳細な形状データを取得する。

このため定期点検等における詳細調査が必要な際に利用することが望ましい。



漏水箇所では、レーザー光の反射強度が弱くなるため、赤丸内のように暗く現れる

レーザー出力画像



車載時の座標系変換システム例

将来的には、
レーザースカナーを車載化し、
高速で詳細な3次元形状を計測する
システムを開発する必要がある

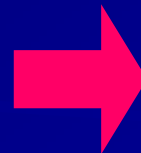
デジタルカメラ撮影

非接触のひび割れ計測手法としてデジタルカメラ・デジタルビデオカメラを利用するケースが増えている。

デジタル撮影機材は、その性能の進歩が著しい。今後、日常点検・定期点検共に利用可能な計測手法となると考えられる。



拡大

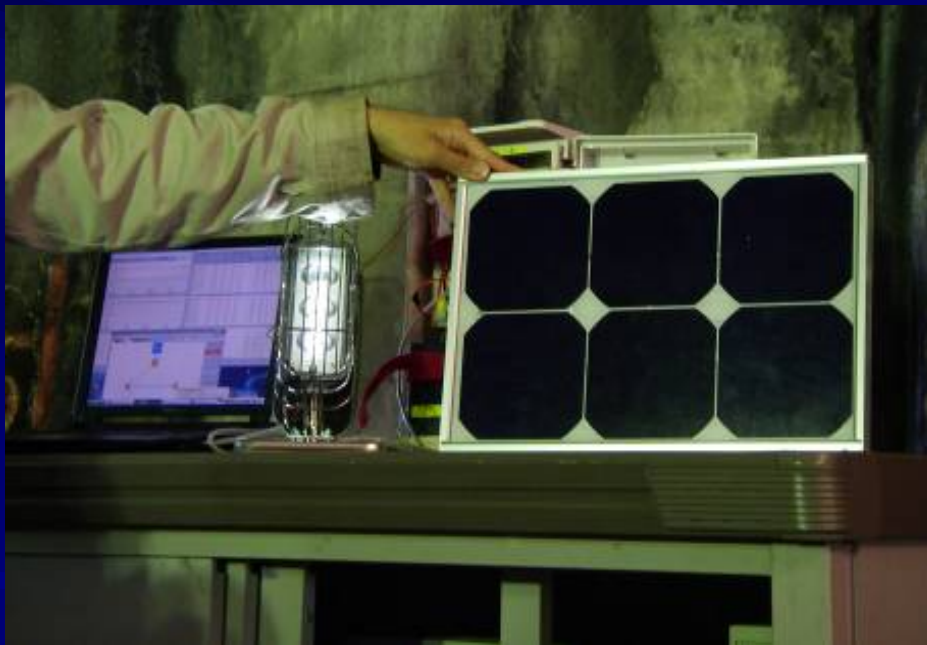


デジタル一眼レフカメラ＋望遠レンズを利用したひび割れ検知

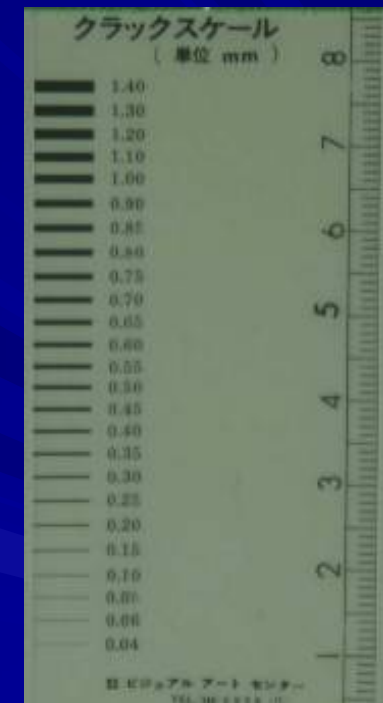
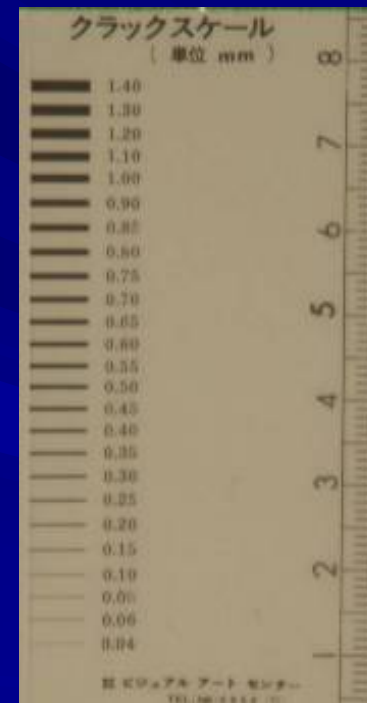
デジタルカメラ撮影

デジタルカメラ・デジタルビデオカメラを利用をトンネル坑内で利用する場合、光源が必要となる。

一般的なハロゲン投光器等を利用する場合、電源としてジェネレータが必要となるが、LED投光器であれば小さなバッテリーで電源を供給できるため、機材の簡素化を図ることが可能となる。



LED投光器と太陽光発電ユニット



ハロゲン(左)とLED(右)の比較

【距離5m、一眼レフカメラ使用】

ハロゲン投光器と同等の光量を確保できる

モニタリング技術の活用

◆計測の概念(1)

- 外力による変状は全体の1割以下(6%程度)
- しかし、一旦崩壊すると早期復旧は困難で、路線のクリティカルになる
- そのためモニタリングをしながら最悪の事態を避ける必要がある
→ マネジメントの必要性(予防管理手法)
- 外力を受けた変状は特徴的なひび割れパターンとして表れる
(天端・肩部の縦断方向ひび割れ、あるいはトンネルを横断するせん断ひび割れ)
- モニタリング箇所は限定できる(集中管理)
- 断面の安定性評価には変位を計測することが有効
- ただし正確な変位測定はコストがかかる
- よって代替として、ひび割れの進展(開口量)で安定性を評価すれば、安価にモニタリングが可能 → ひび割れ計測に焦点

モニタリング技術の活用

◆計測の概念(2)

■ 今回実施中の計測の主旨

地滑りによる外力 → 変形が進む

変形と調和的にひび割れが進展

変形量とひび割れの相関から、ひび割れ開口量の進展より安定性を評価(解析手法の導入)

ひび割れ開口量の量と開口速度から管理基準を立案

管理基準に従い、対策時期、対策工法を決定

■ 開口量進展のデータを用いて、将来予測を実施

■ 上記管理基準を見直しながら、LCC分析を行って最適化を図る → マネジメント、意思決定

モニタリング技術の活用

◆モニタリング技術の項目

- ・電気式センサ
- ・光ファイバセンサ
- ・無線センサ
- ・精密写真計測
- ・シーケンサー

モニタリング技術

◆ひび割れ計測フロー

第一ステップ ➡



近接目視、画像調査

↓
ひびわれ箇所抽出、
ひびわれ着目箇所抽出（9箇所）
⇒ 接触型センサ設置箇所の決定

第二ステップ ➡

接触型センサ設置、計測装置、計測小屋設置

第三ステップ ➡

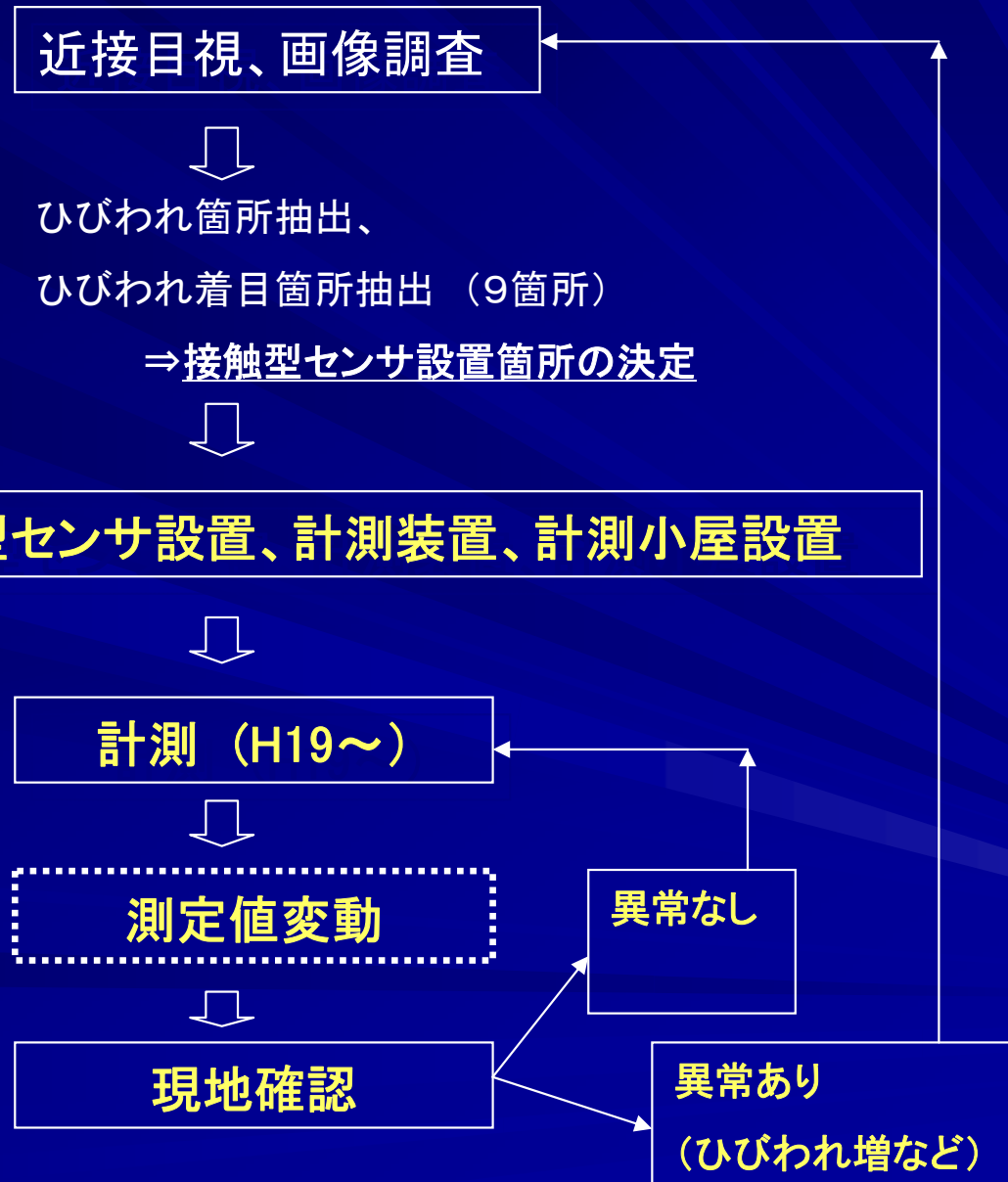
計測（H19～）

測定値変動

現地確認

異常なし

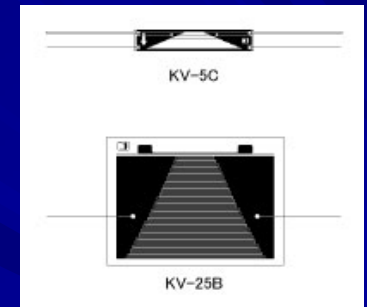
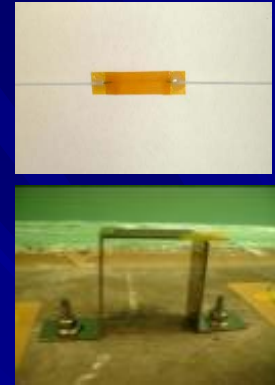
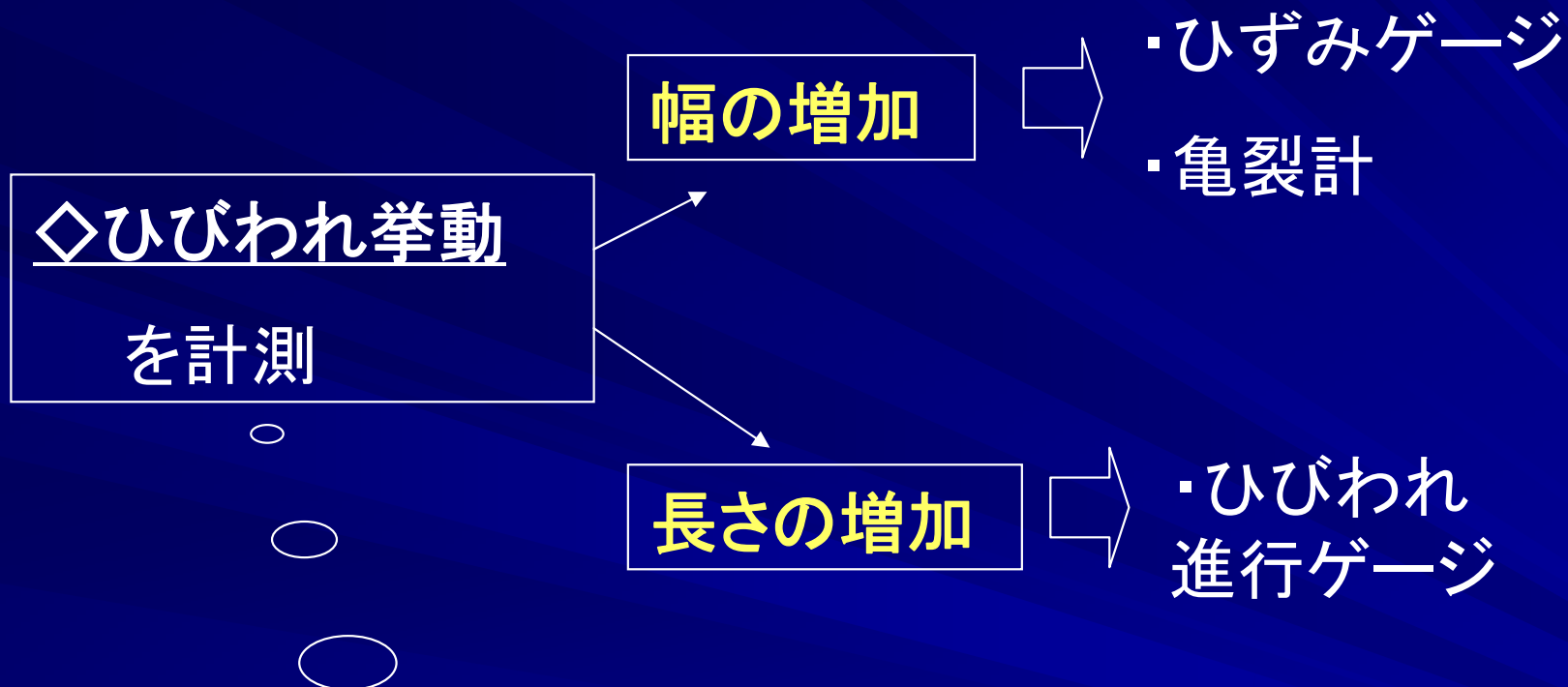
異常あり
（ひびわれ増など）



モニタリング技術

ひずみゲージ、亀裂計 など

◆ひび割れ計測の種類(1)

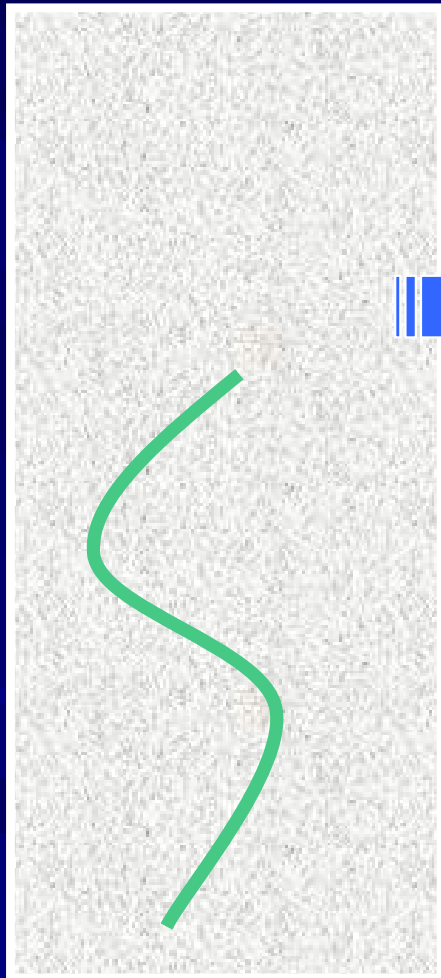


検証として

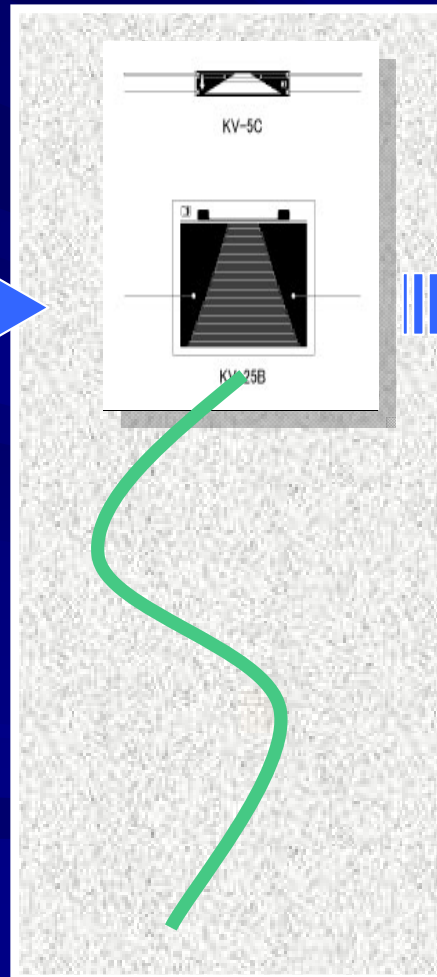
内空断面計測、天端沈下計測
温度、地下水など

◆ひび割れ計測の種類(1)

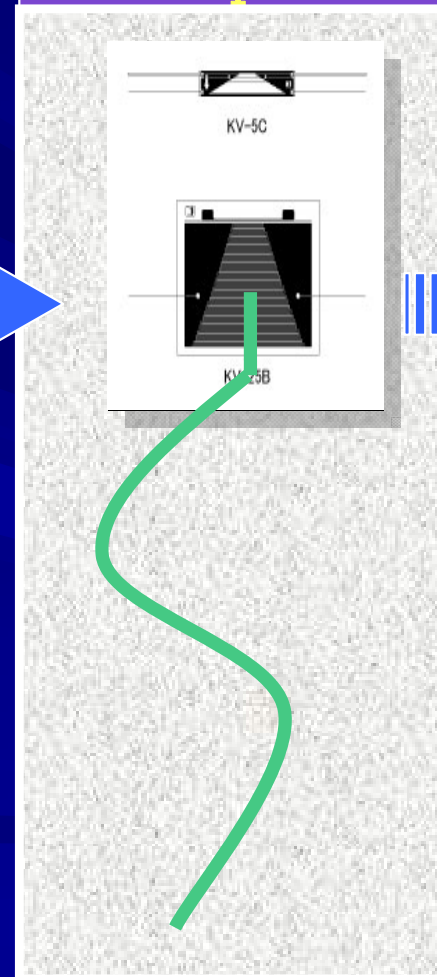
当初



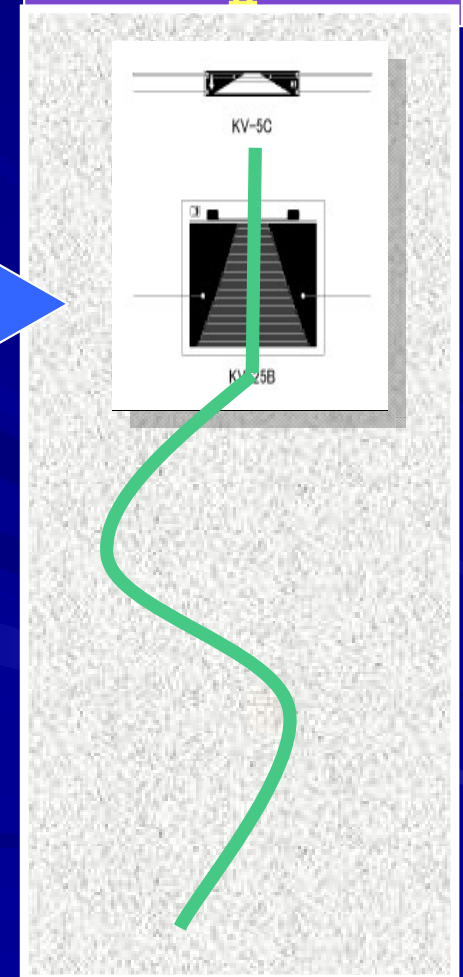
センサ設置



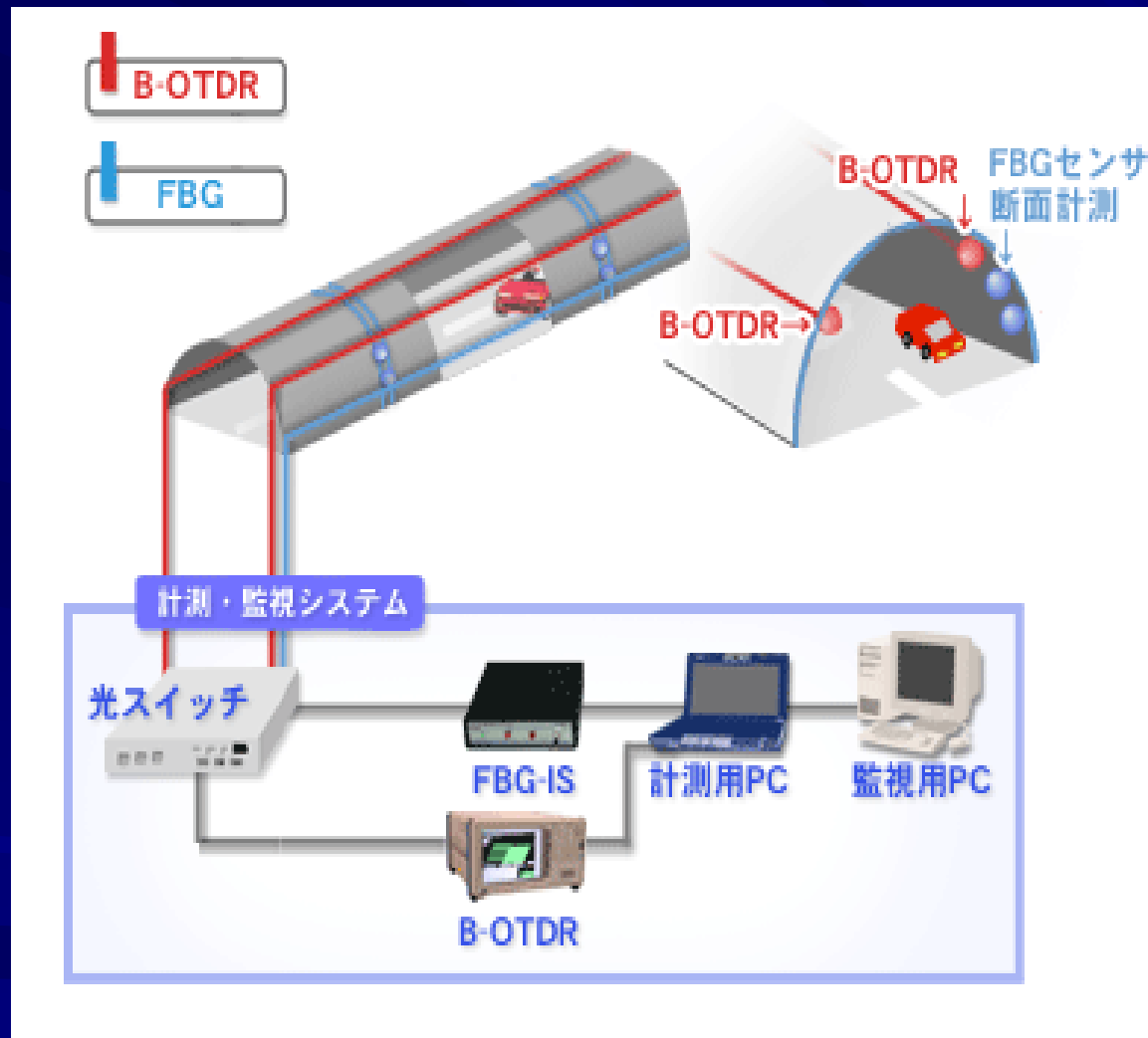
ひびわれ進行
I



ひびわれ進行
II



◆ひび割れ計測の新技術(2)

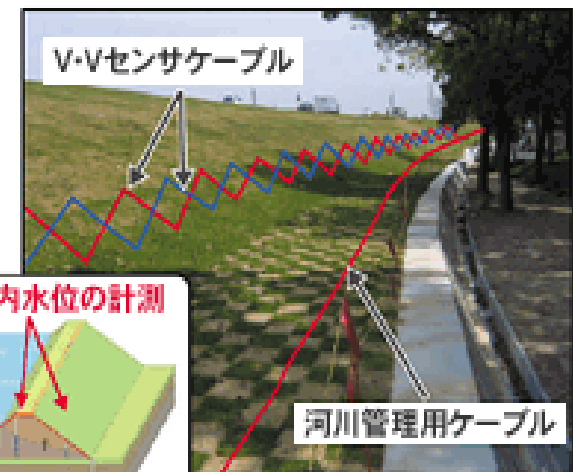


モニタリング事例

変状／温度検知(トンネル)



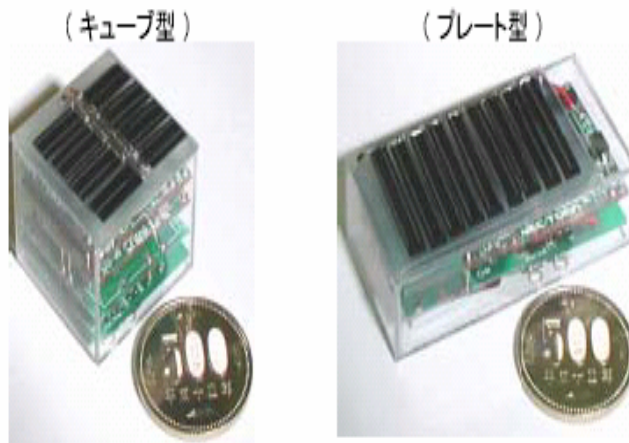
堤体変状監視



◆ひび割れ計測の新技術(3)

特長

- 太陽電池及びリチウムイオン二次電池による**発蓄電機能付き**自立型電源
- 波長短縮効果を利用した高誘電率**小形アンテナ**内蔵（アンテナ長 1/3以下）
- 各種センサーI/F搭載のMCU
- 2.4GHz, ISM帯無線モジュール（IEEE802.15.4標準）



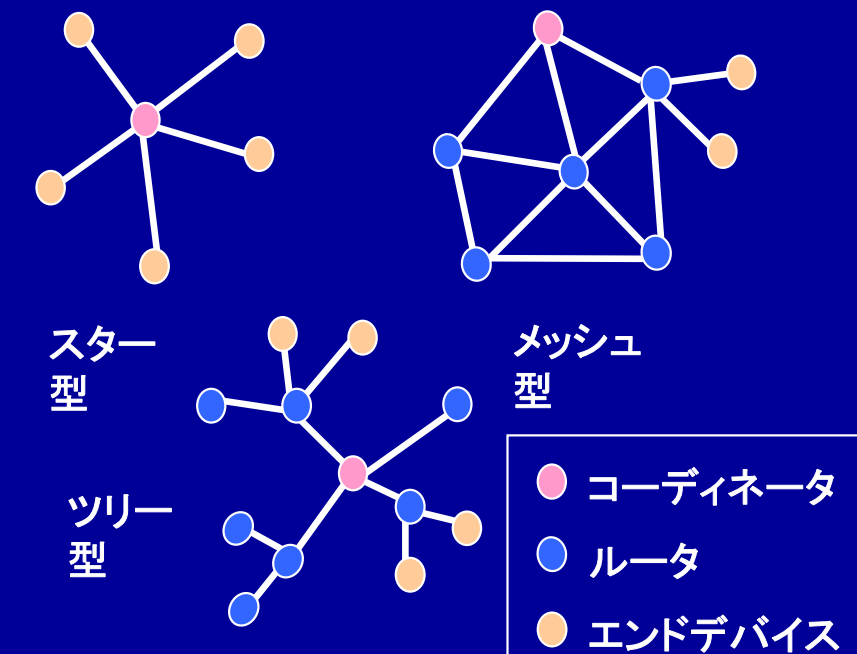
用途

無線PANネットワークの構築により各種エリアセンシングへの応用

- * 防犯・セキュリティ(侵入, 盗難)
- * 防災・災害(警報, 救助)
- * 環境保全(気象観測, 環境モニタリング)

◆センサーネットワークとは？

数多くのセンサーを相互に接続したネットワークのこと

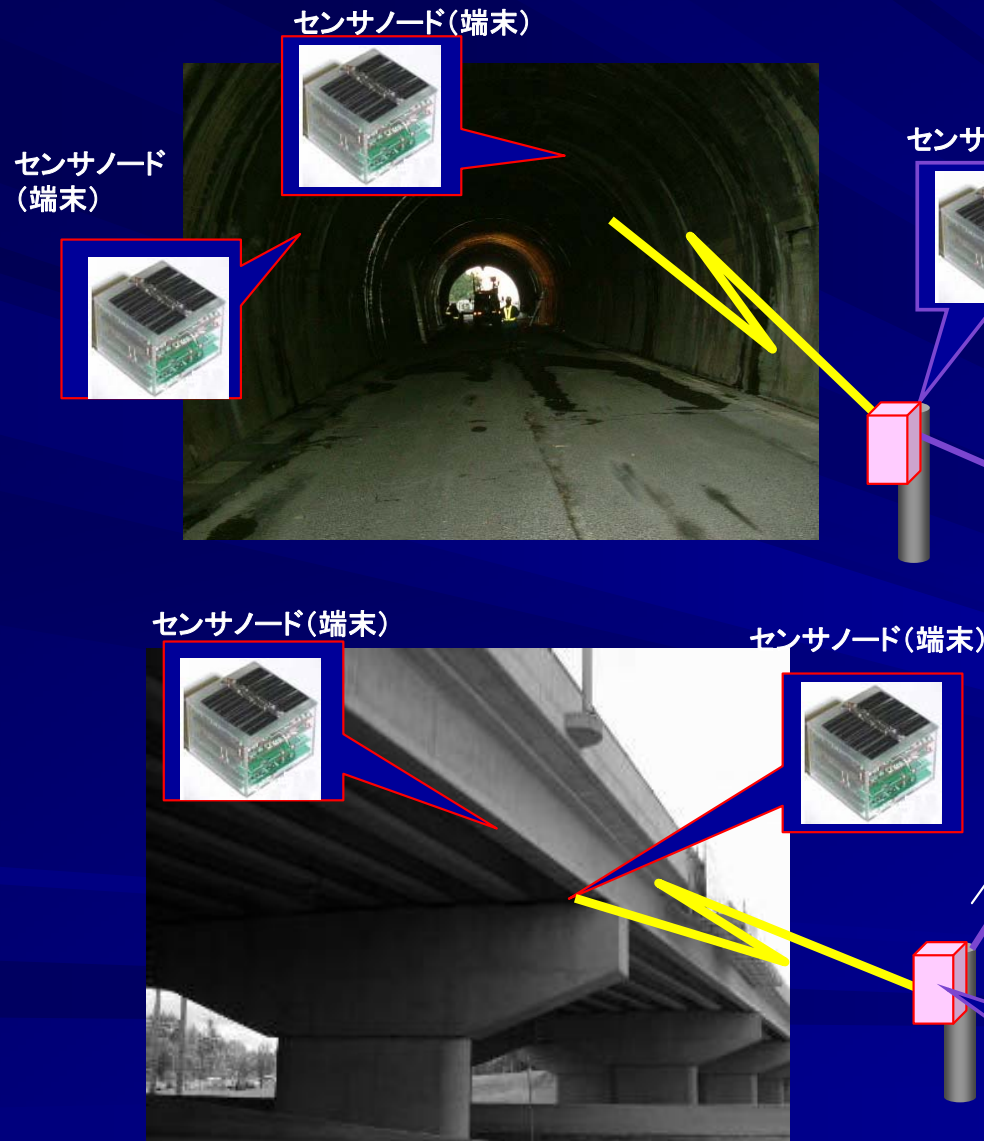


ZigBeeのネットワークトポロ
ジー

モニタリング技術

無線センサ

◆ひび割れ計測の新技术(3)

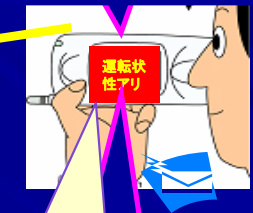


◆センサーネットワークによる 道路トンネル監視システムイメージ

センサノード(中継)

大きな揺れを感知しました

職員等の携帯電話



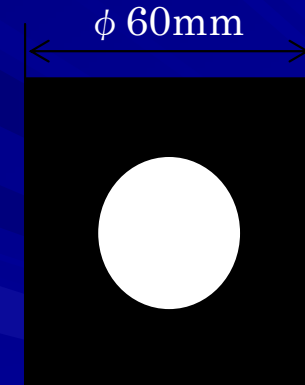
関係職員等に電子メールの自動送信

振動が閾値を超えました

等
公衆ネットワーク

◆ひび割れ計測の新技術(4)

◆ターゲットの設置後全景



モニタリング技術

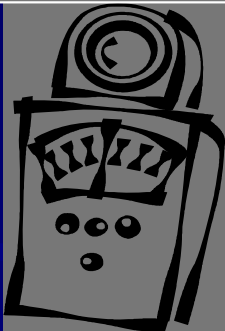
シーケンサとは？

◆ひび割れ計測の新技术(5)

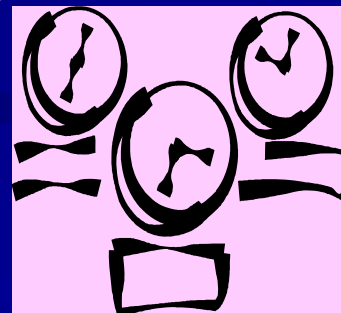
速い, 小さい, 賢い
FA(Factory Automation)機器



センサを動かす



データを集める

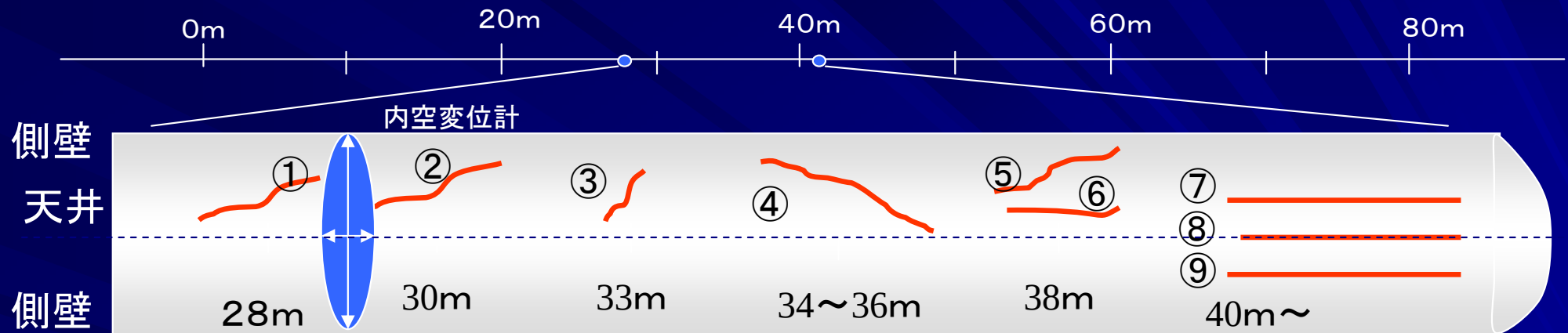


通信網を利用して遠隔にてデータ取得

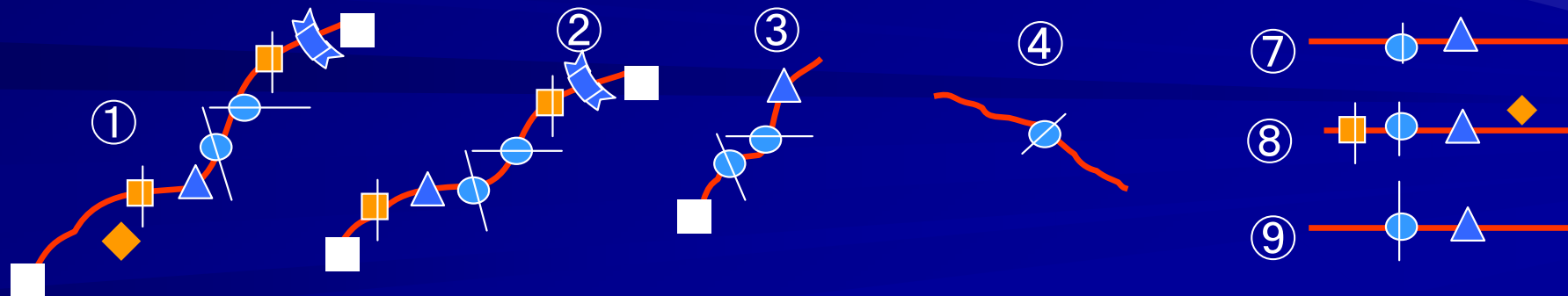


モニタリング技術

センサー設置位置



	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	他
● FBG ひずみ計	2	2	2	1			1	1	1	
■ FBG 亀裂変位計	1	1								
▲ クラックゲージ(電気式亀裂計)	1	1	1				1	1	1	
■ ひびわれ進行ゲージ	2	2	1							
↔ 内空変位計	1									
◆ 無線センサ	1							1		
■ 無線センサ(ひびわれ用)	2	2						1		



モニタリング技術

着目ひび割れ 9箇
所

側壁部

ひび割れ ①



ひび割れ ②



ひび割れ ③



ひび割れ ④



ひび割れ
⑦



ひび割れ
⑧



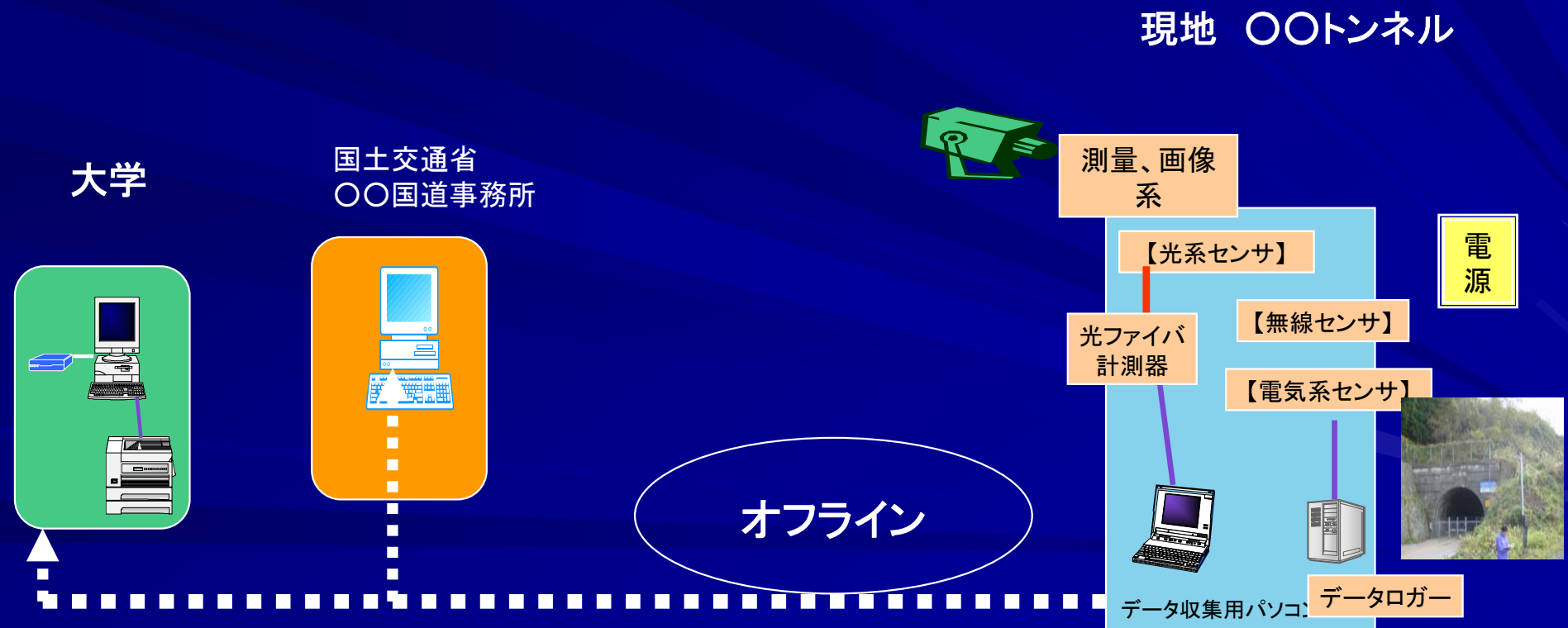
ひび割れ ⑨



天井部

◆トンネル計測システム (STEP 1)

定期計測 【持ち込み計測】



モニタリング技術

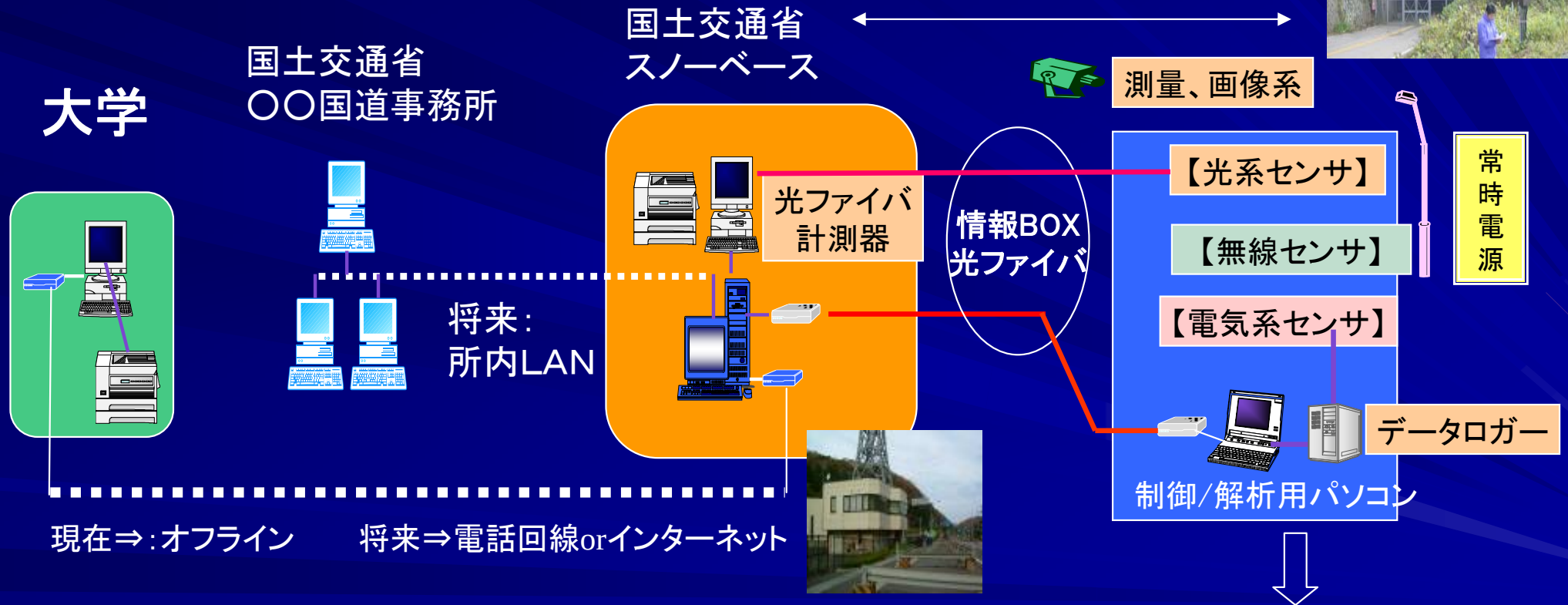
ひび割れ計測の実施方法

◆トンネル計測システム (STEP 2)

常時計測 (平成19年度～)

現地 ○○トンネル

L=約1km



将来: シーケンサデータ受信

将来: シーケンサ

モニタリング技術

ひび割れ計測の実施方法

◆トンネル計測使用機器一覧

基本項目	項目		方式	センサ数	その他
	環境	温度	電気式	2箇所	
			(加速度計に付属)無線式	2箇所	
既設		温度計		4箇所	継ぎ目計に付属

計測項目	センサ名		方式	センサ数	その他
	加速度計		無線センサ	2箇所	
	断面変位計		電気式	1箇所	
	天端沈下計		電気式	1箇所	
	ひびわれ幅(亀裂) 変位計	電気式		5箇所×1断面＝5箇所	
		光式		5箇所×2断面＝10箇所	
	ひびわれ進行ゲージ		電気式	5箇所×1断面＝5箇所	
	既設	水位計	自記録計(SDL水位計)	1箇所	
		孔内傾斜計	(手動式)	地すべり観測 7孔	
		孔内傾斜計	(埋設型)	地すべり観測 2箇所	2孔各1深度
		継ぎ目計	電気式	4箇所	1時間毎データ収録
		クラックゲージ	読み取り式	4箇所	

◆トンネル計測機器開発項目一覧

開発項目	項目	方式	その他
	データ収録	シーケンサ	
	データ無線伝送	マルチホップ等	ひびわれゲージ + 無線通信

モニタリング技術

ひび割れ計測の実施方法

「トンネル」 計測概略工程表

項目	~11月	12月	1月	2月	3月	平成19年度以降
モニタリング		STEP1 定期計測			STEP2 モニタリング開始	
センサ設置						
画像、測量	計測仕様決定	測定				
電気式		センサ 設置 位置決定		センサ設置		
光式				センサ設置		
無線				センサ設置		
光ケーブル確保 電源確保		○光ケーブル確保 ⇒(基地~Mトンネル) ○電源確保 ⇒(Mトンネル)			光 ケーブル 連結	

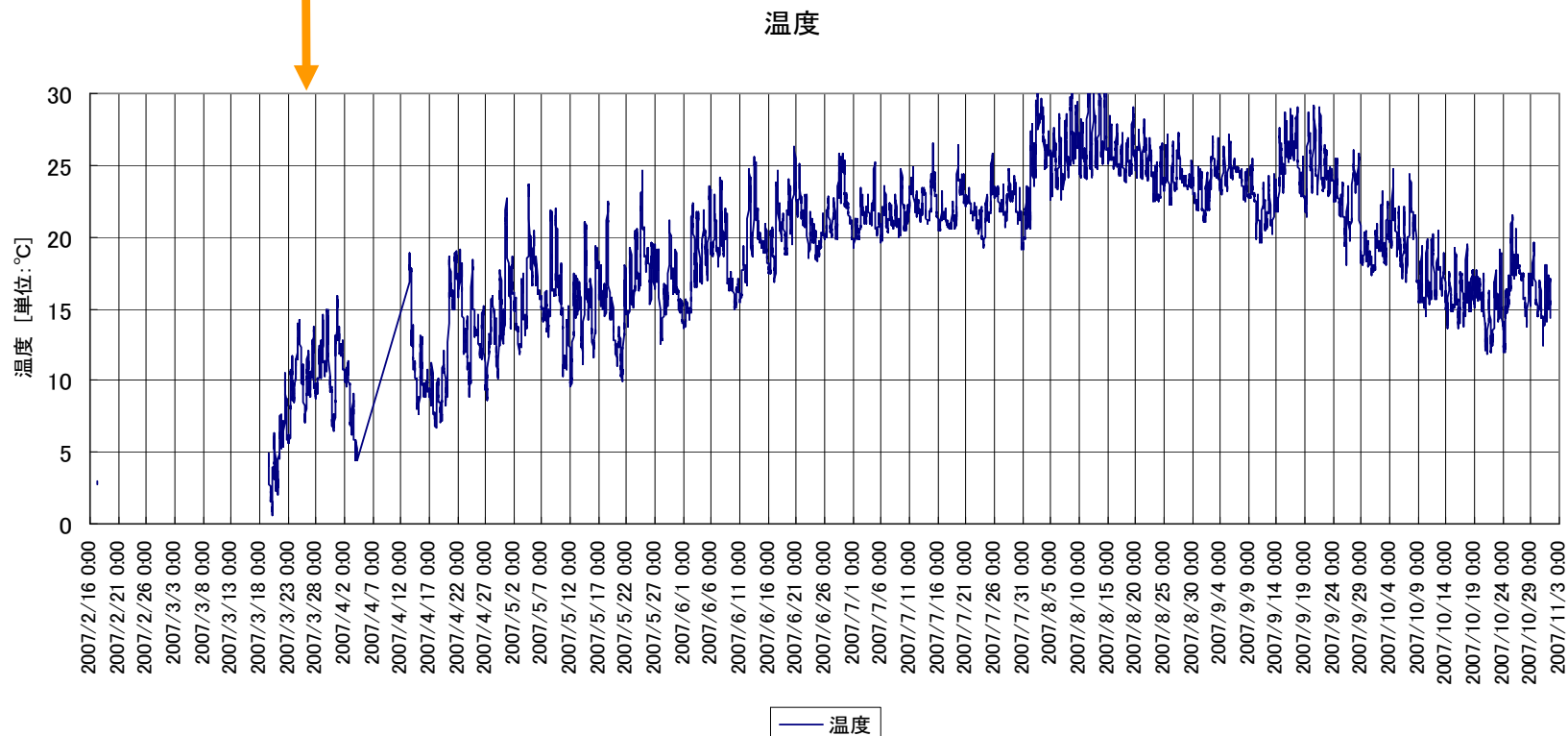
モニタリング技術

ひび割れ計測状況

電気式温度計

能登地震 2007年3月25日
9時42分

中越沖地震 2007年7月16日
10時13分



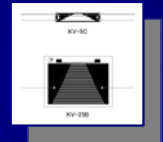
モニタリング技術

ひび割れ計測状況

ひびわれ進行ゲージ

能登地震 2007年3月25日
9時42分

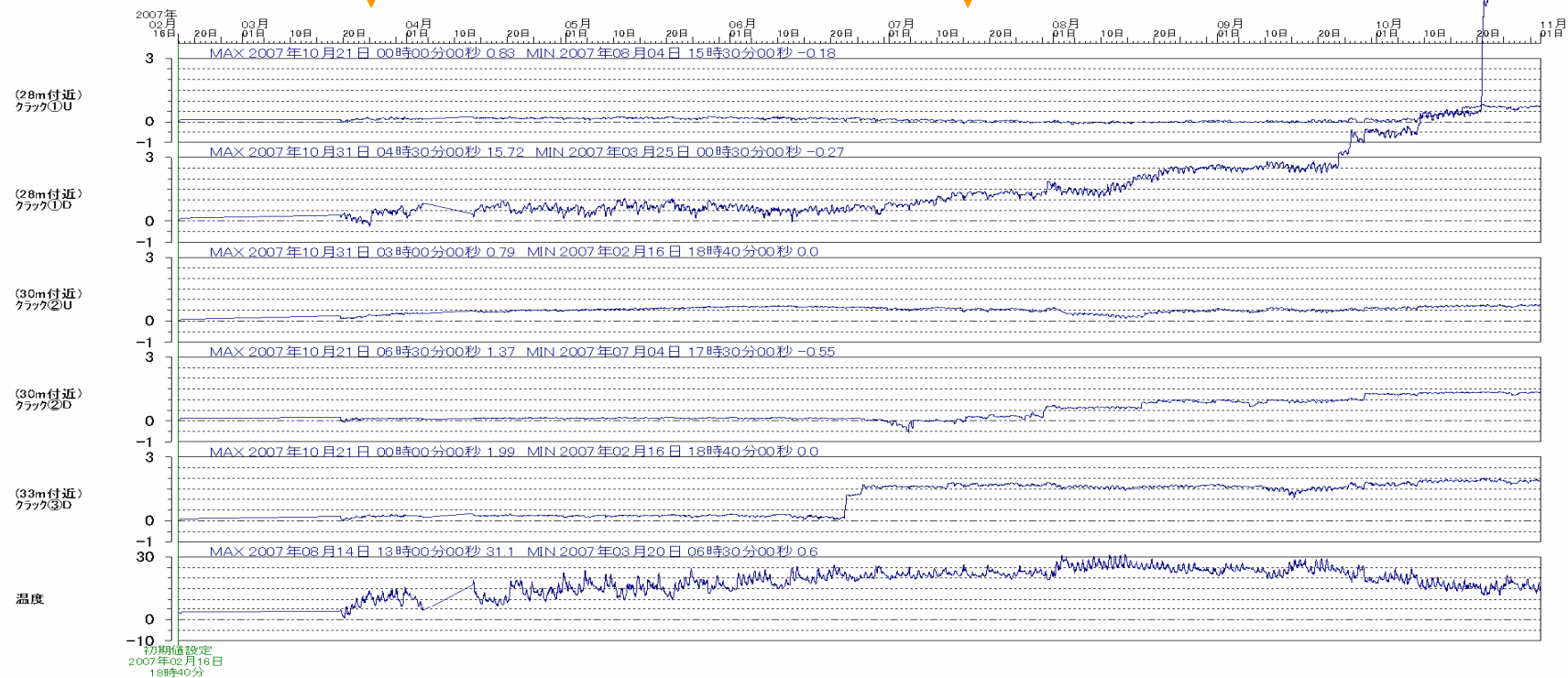
中越沖地震 2007年7月16日
10時13分



大谷第一トンネル

経時変化図 [クラックゲージ] 温度相関による補正後データ

出力期間: 2007年02月16日 18時40分00秒 ~ 2007年10月31日 23時59分59秒 出力データ: 全てのデータ



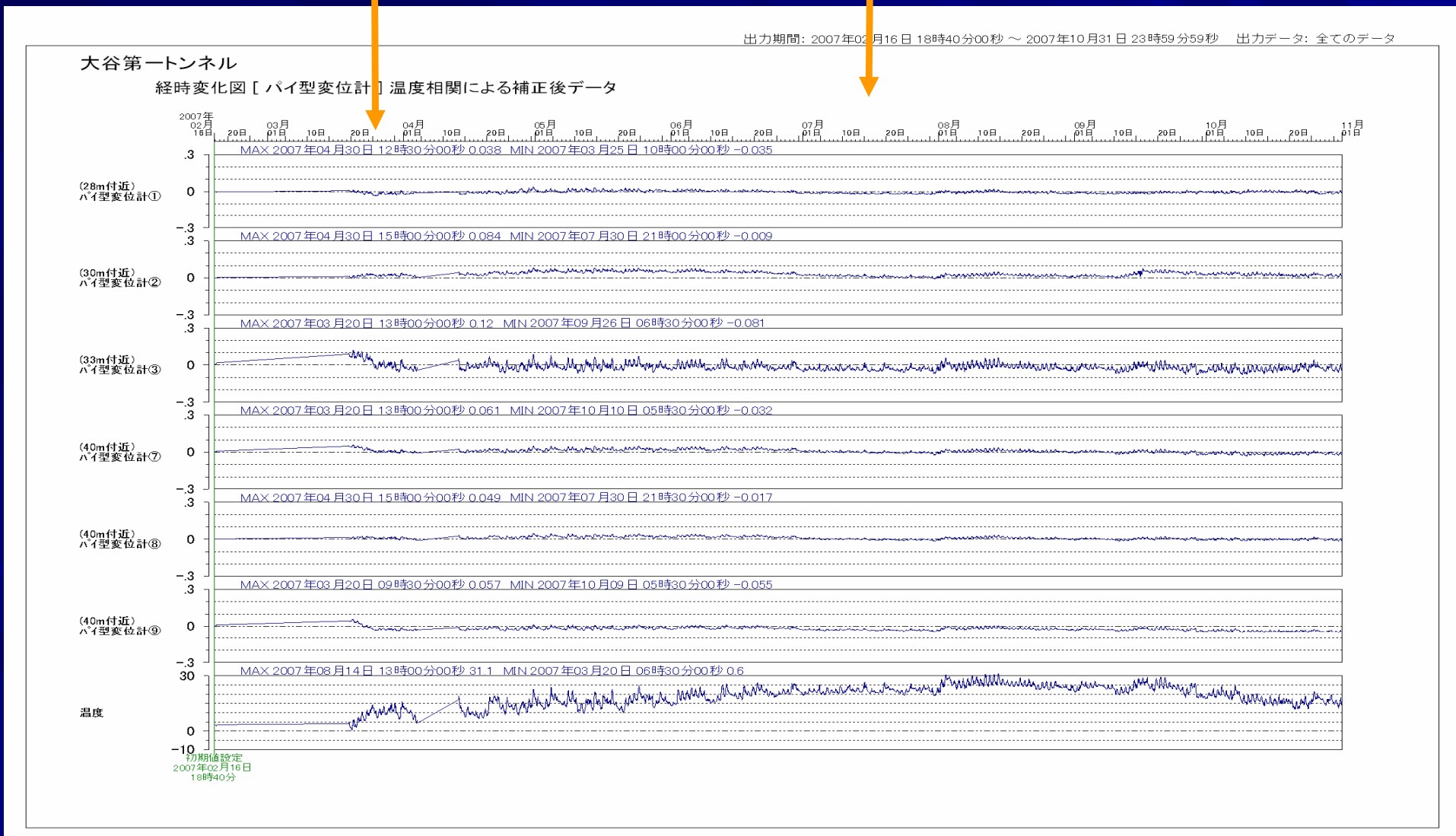
モニタリング技術

ひび割れ計測状況

電気式パイ型変位計

能登地震 2007年3月25日
9時42分

中越沖地震 2007年7月16日
10時13分

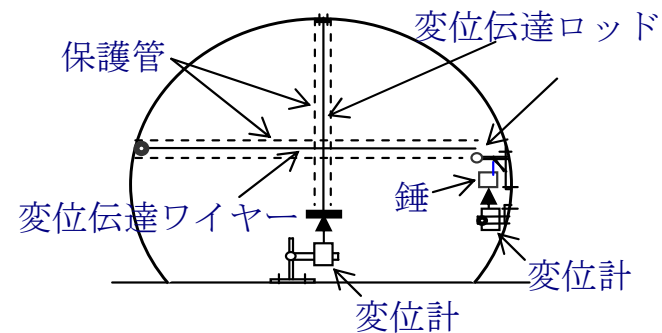


モニタリング技術

内空変位計 29m地点

能登地震 2007年3月25日
9時42分

天端・内空変位計測



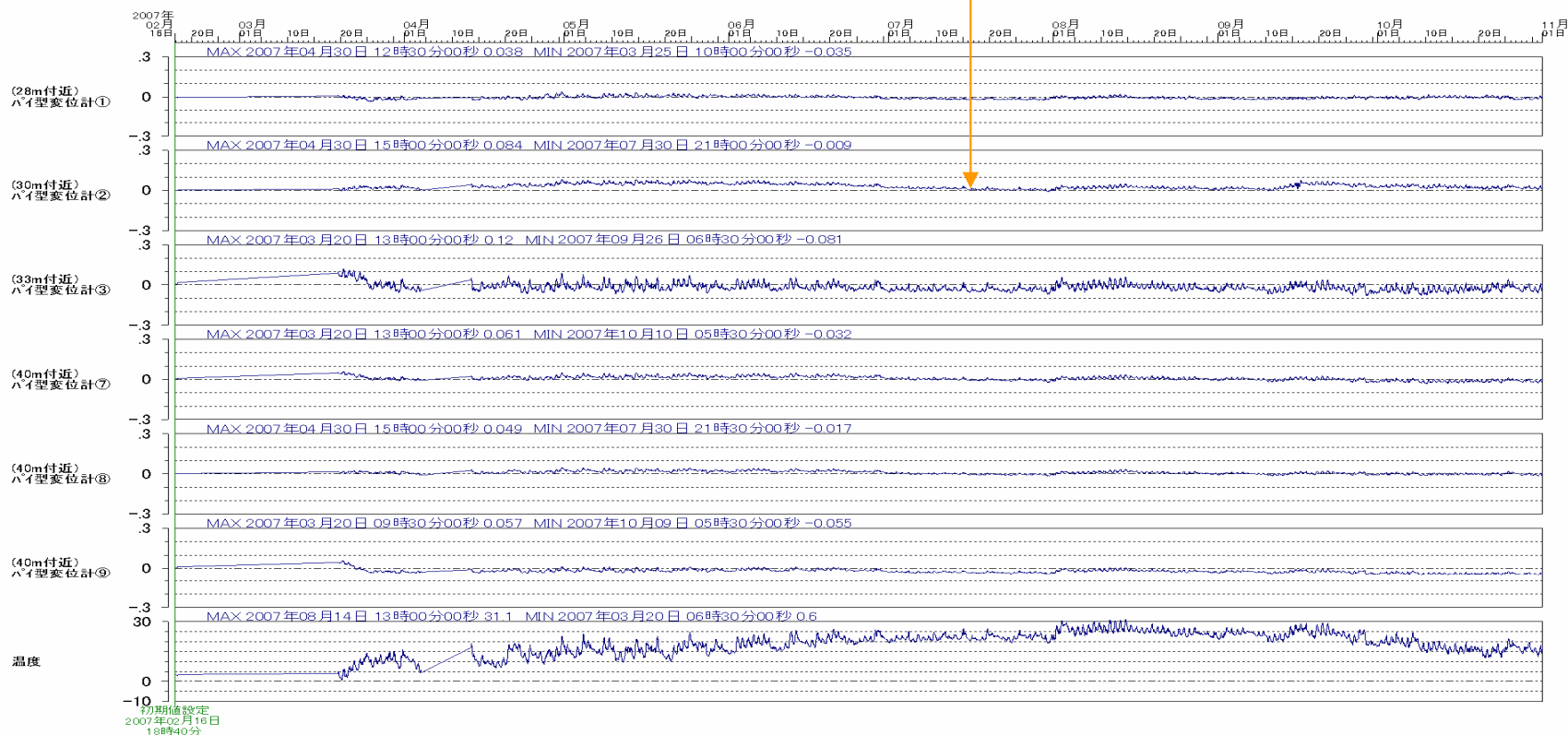
ひび割れ
計測状況

中越沖地震 2007年7月16日10時13分

大谷第一トンネル

経時変化図 [パイ型変位計] 温度相関による補正後データ

出力期間: 2007年02月16日 18時40分00秒 ~ 2007年10月31日 23時59分59秒 出力データ: 全てのデータ



モニタリング技術

ひび割れ計測状況

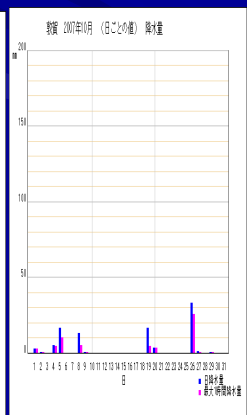
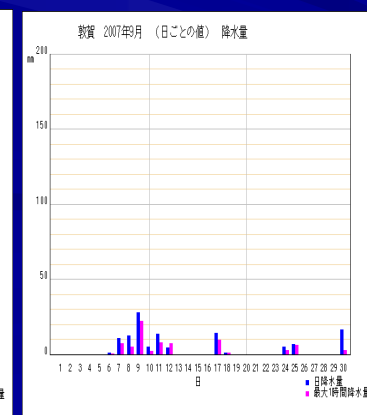
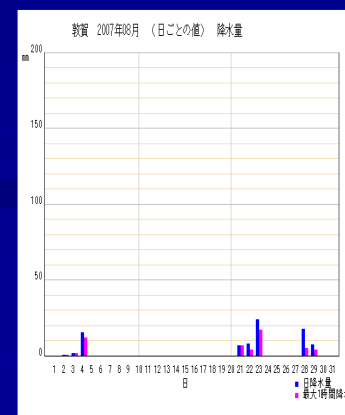
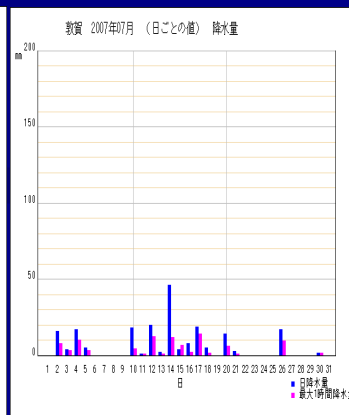
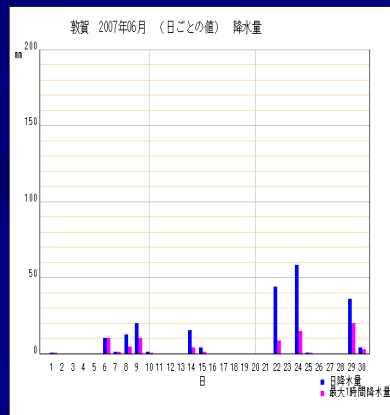
光ファイバFBG亀裂計のデータ 亀裂変位時系列グラフ
【5月30日～10月12日】



敦賀気象台

雨量

HPより

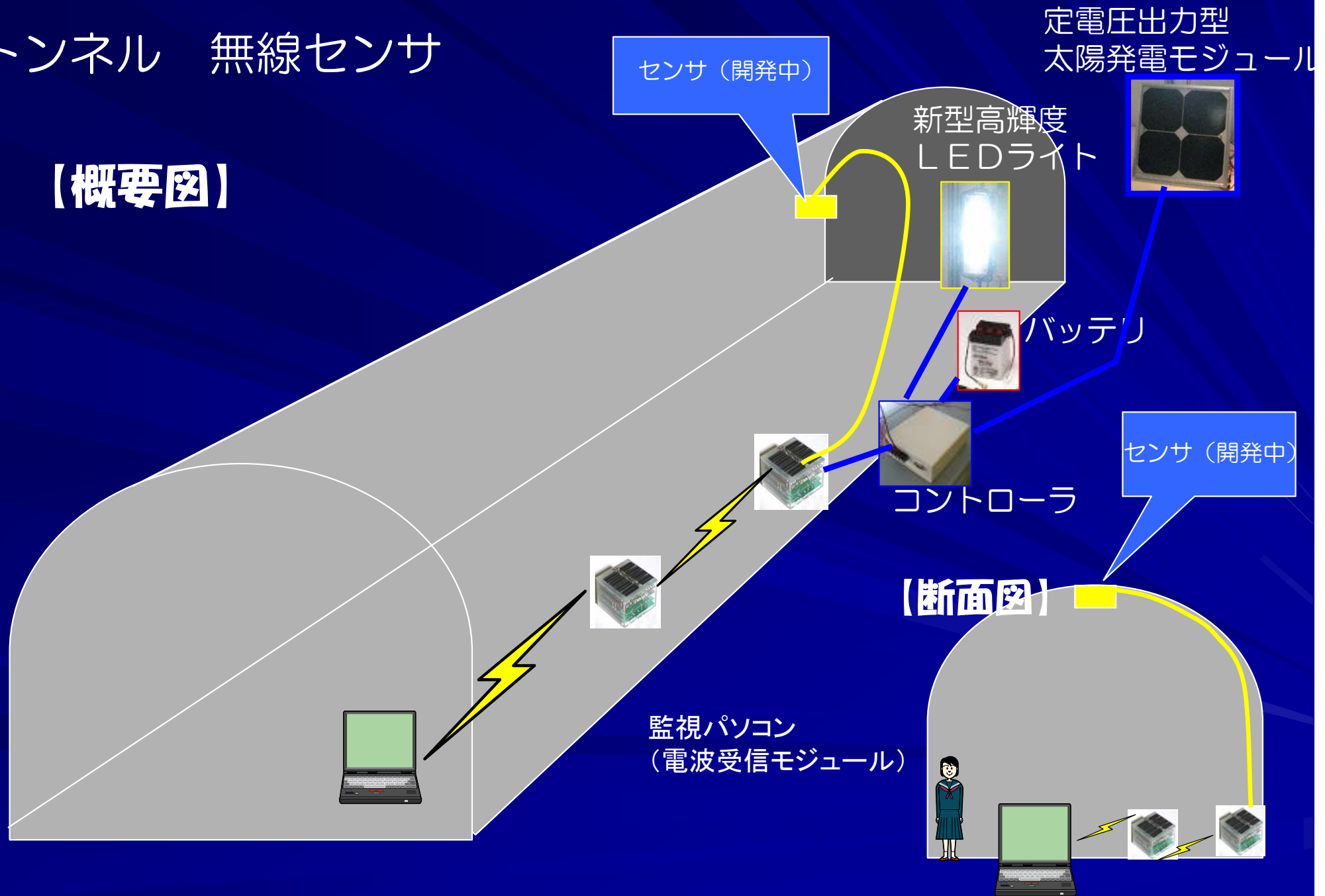


モニタリング技術

ひび割れ計測状況

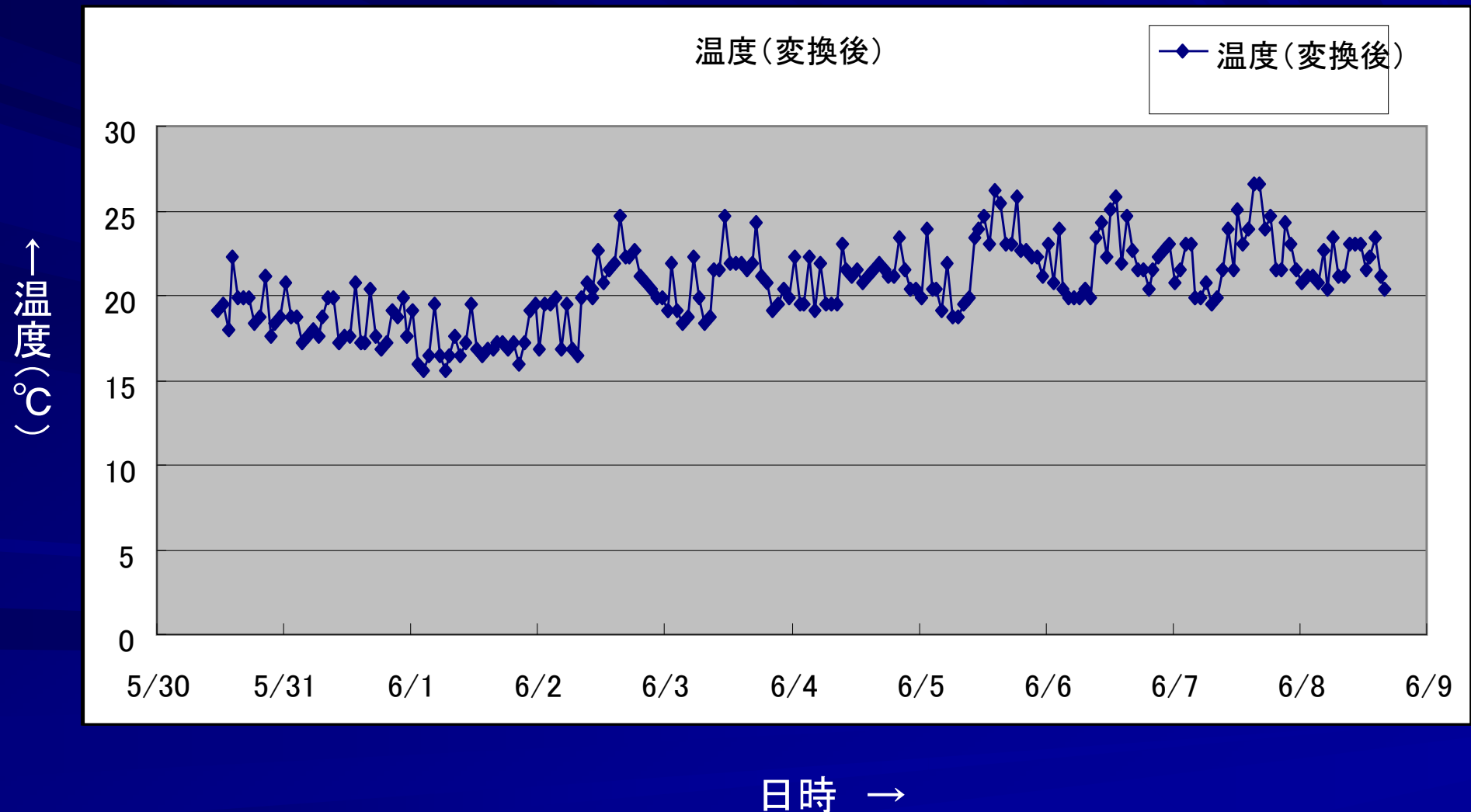
トンネル 無線センサ

【概要図】



◆ 無線センサデータ (2007/5/30～6/8)

温度計 天井部



◆ 精密写真計測

ターゲット設置状況



- * 高所作業者、梯子などを使用する。
- * 174点の設置が約3時間。



◆ 精密写真計測

現場撮影写真

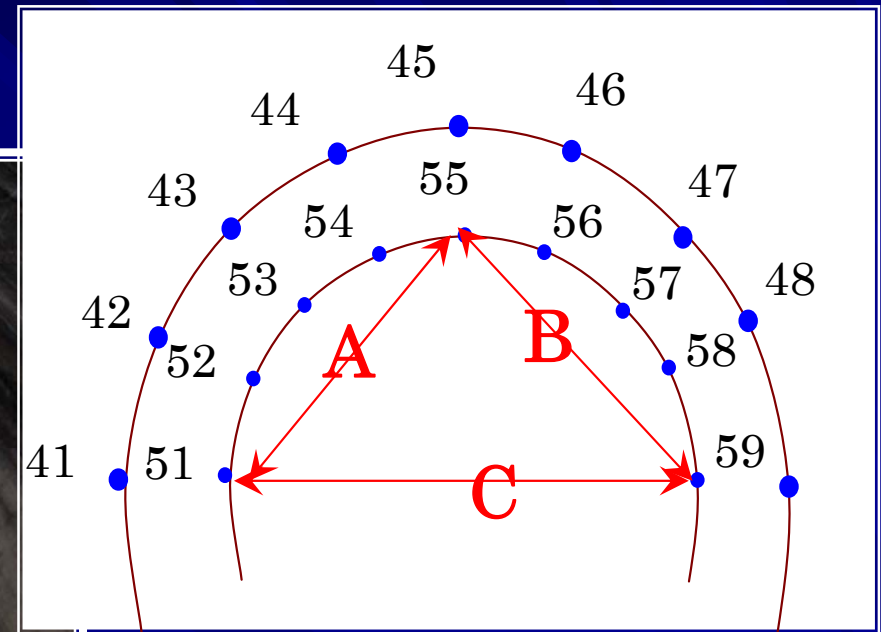
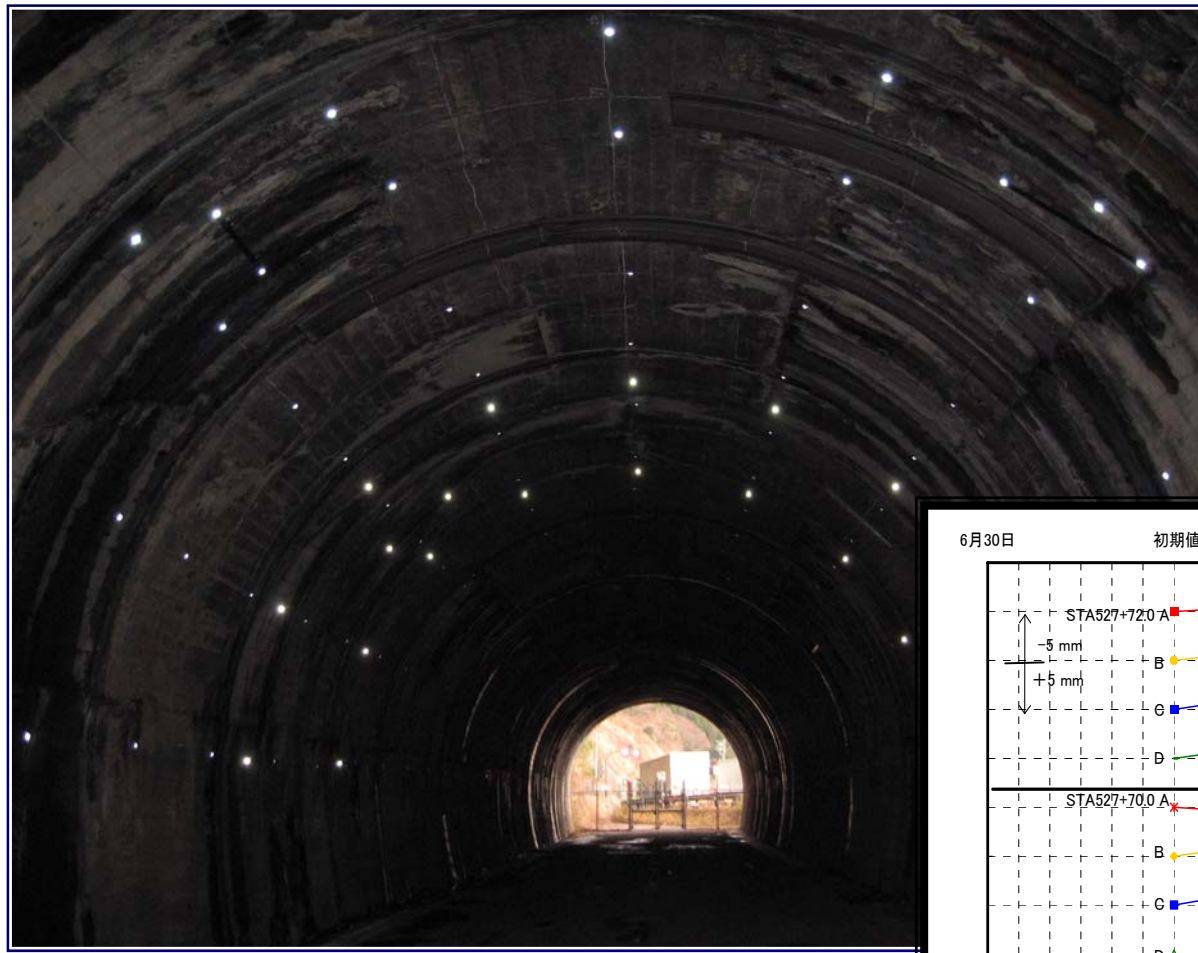


三脚などを必要としない適当な位置から撮影

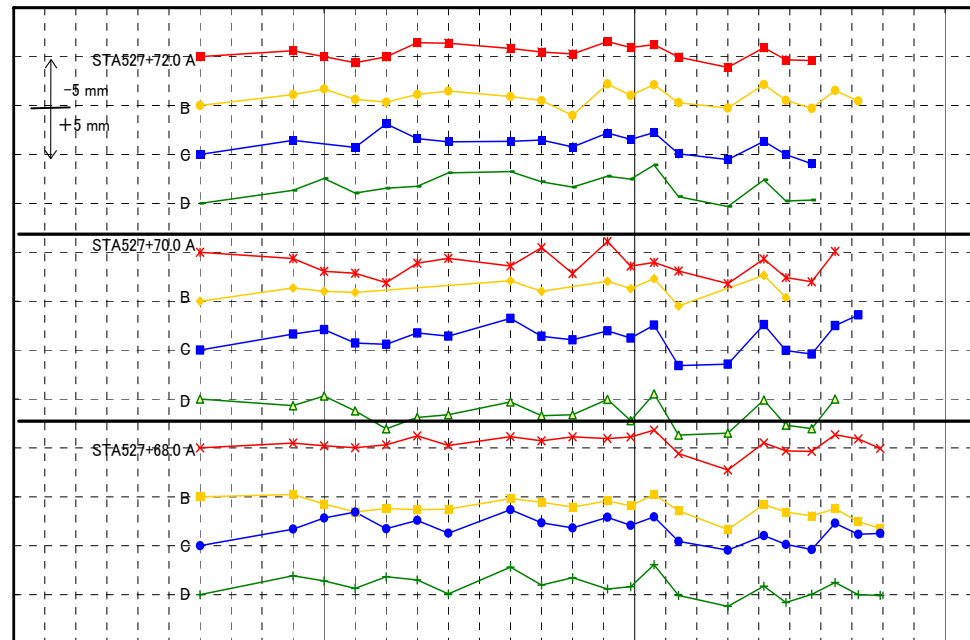
モニタリング技術

トンネル変状計測

◆ 精密写真計測

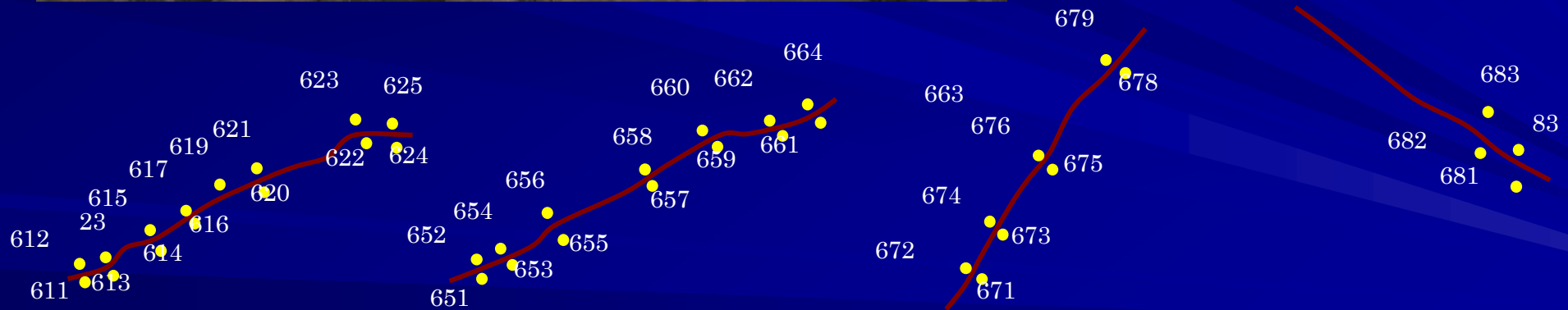


6月30日 初期値 7月10日 7月20日 7月30日



◆ 精密写真計測

◇ 亀裂変化の計測

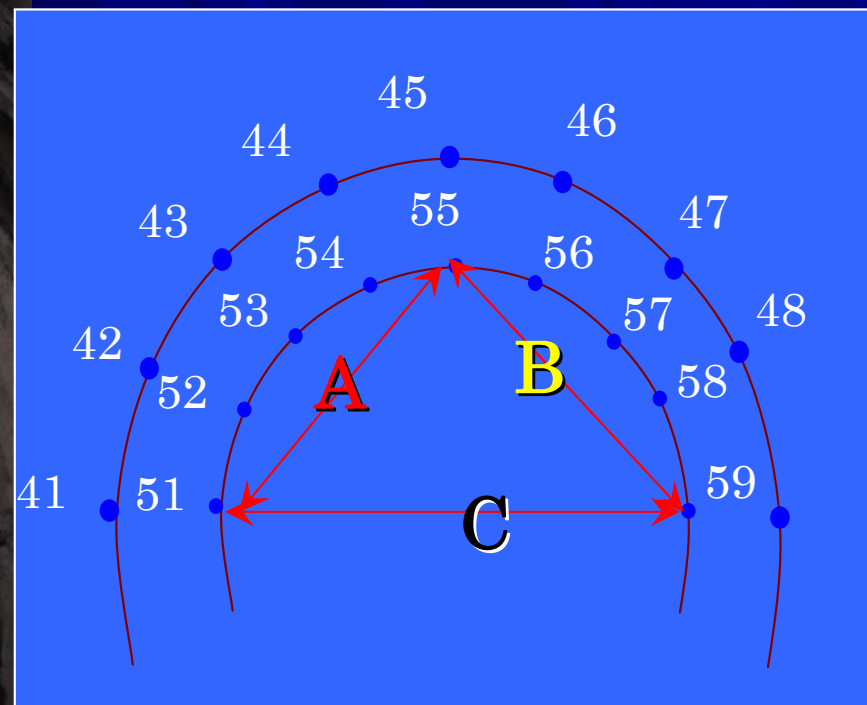


モニタリング技術

トンネル変状計測

◆ 精密写真計測

◇ トンネル内空変位の計測結果



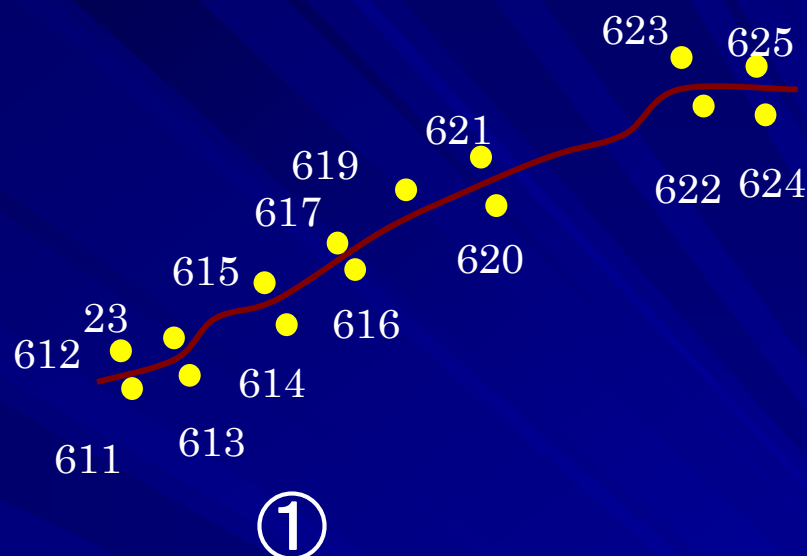
計測日			2 点 間 距 離				2点間変位(mm)			
			1月25日	2月22日	5月29日	11月1日	1月25日	2月22日	5月29日	11月1日
41	45	A	5588.33	5587.75	5588.20	5588.42	0.00	-0.58	-0.13	0.09
49	45	B	5497.65	5497.43	5497.29	5497.14	0.00	-0.22	-0.36	-0.50
41	49	C	7774.04	7773.38	7773.09	7773.56	0.00	-0.66	-0.95	-0.48
51	55	A	5573.05	5572.66	5573.13	5573.14	0.00	-0.39	0.08	0.09
59	55	B	5468.76	5468.66	5468.68	5468.59	0.00	-0.10	-0.08	-0.17
51	59	C	7795.53	7795.34	7795.19	7795.63	0.00	-0.19	-0.33	0.11

〇〇トンネルの計測結果

モニタリング技術

トンネルひび割れ変状計測

◆ 精密写真計測



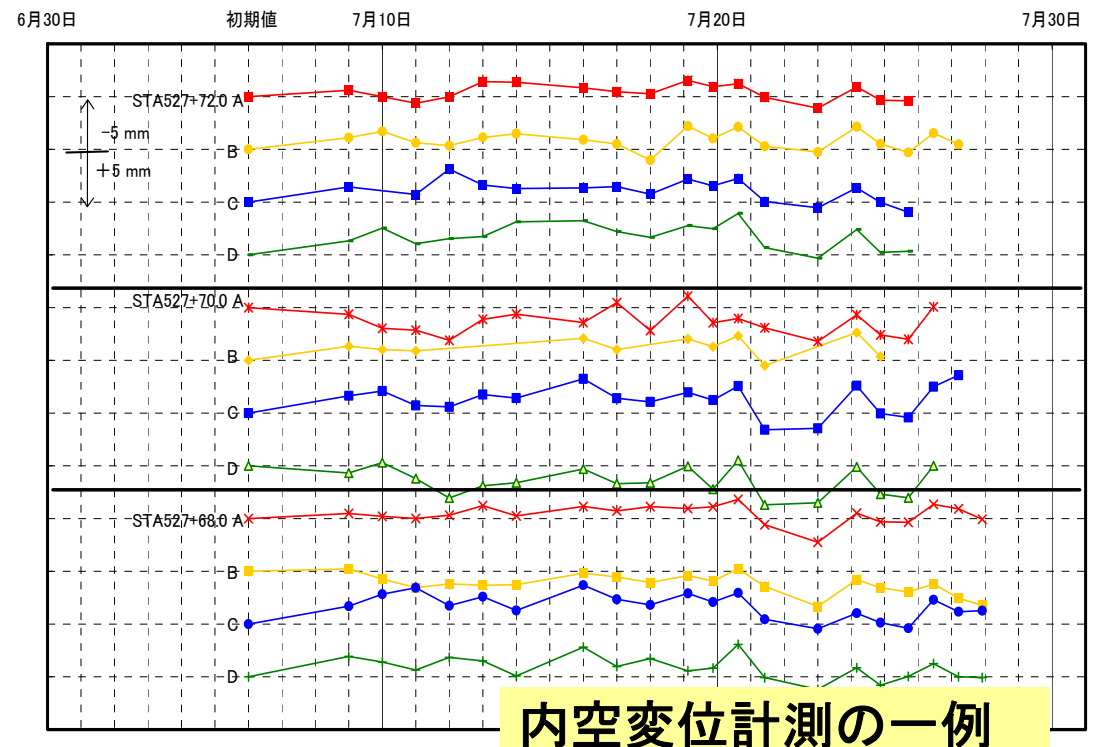
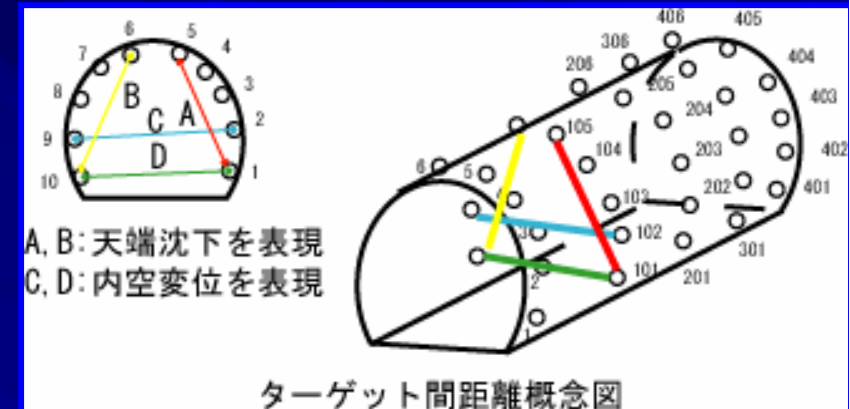
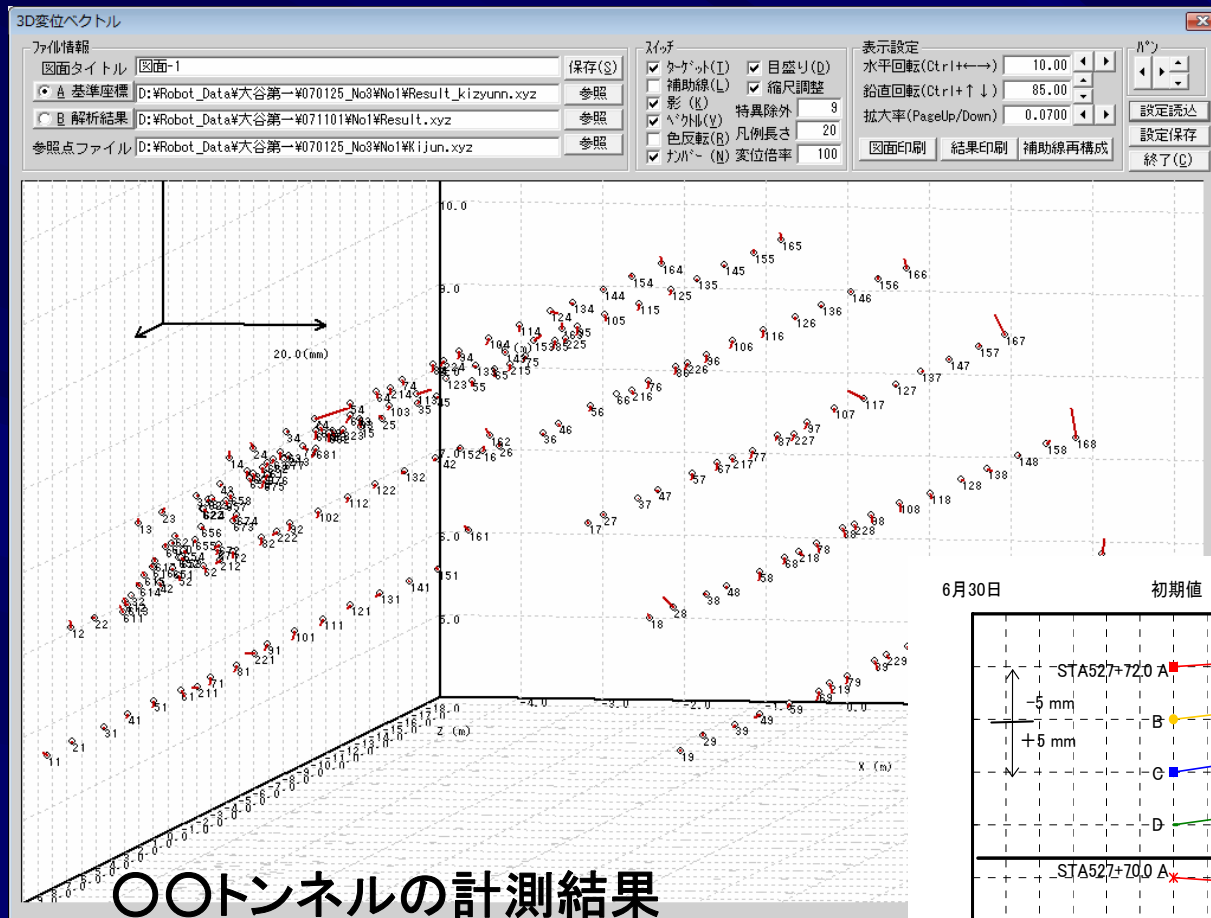
◇ 亀裂幅の変化の計測結果

番号		2点間距離(mm)		変位(mm)
611	612	145.5809	145.5269	-0.05
613	23	3023.341	3023.037	-0.30
614	615	174.484	174.3555	-0.13
616	617	118.951	119.1552	0.20
620	621	135.5981	135.5566	-0.04
622	623	199.631	199.286	-0.35
624	625	185.4324	185.4993	0.07

〇〇トンネルにおける5/29から11/1の5ヶ月の変位

モニタリング技術

◇精密写真計測結果



一定の動きが確認されるが、
今後内空変位計測結果等との
整合を図り、適用性の検討
を行っていくものとする

試作機の完成と開発状況



シーケンサ
本体

ひずみ
ゲージ

アナログ増幅アンプ

◆特徴と今後への適用

<特徴>

- 小さく、収納スペースをとらない。
- 多くのひずみ情報の取り込みが可能。
- プログラム、演算、比較機能がある。
- データ収集機能がある。

<今後の取り組み>

- ひずみゲージ信号にて、シーケンサの動作確認。
- 実際のトンネルでのフィールドテストを行う。
- 遠隔地へのデータ転送、遠隔地からシーケンサへのアクセスを試みる。

モニタリング技術

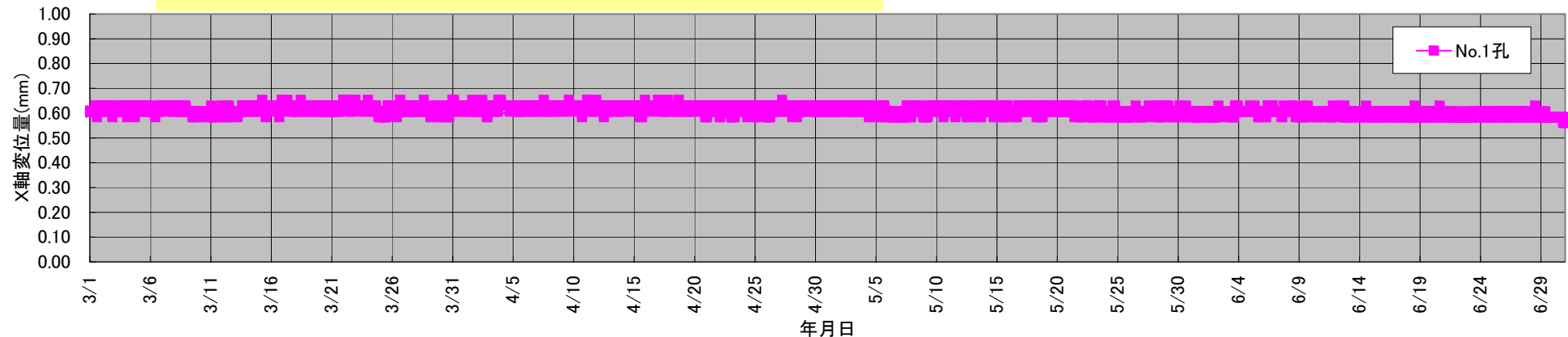
◆計測データの分析

- 計測データ分析
- 地すべり変形とひび割れ進行の関係
- ひび割れモニタリングの今後
- 計測データ分析における今後の課題

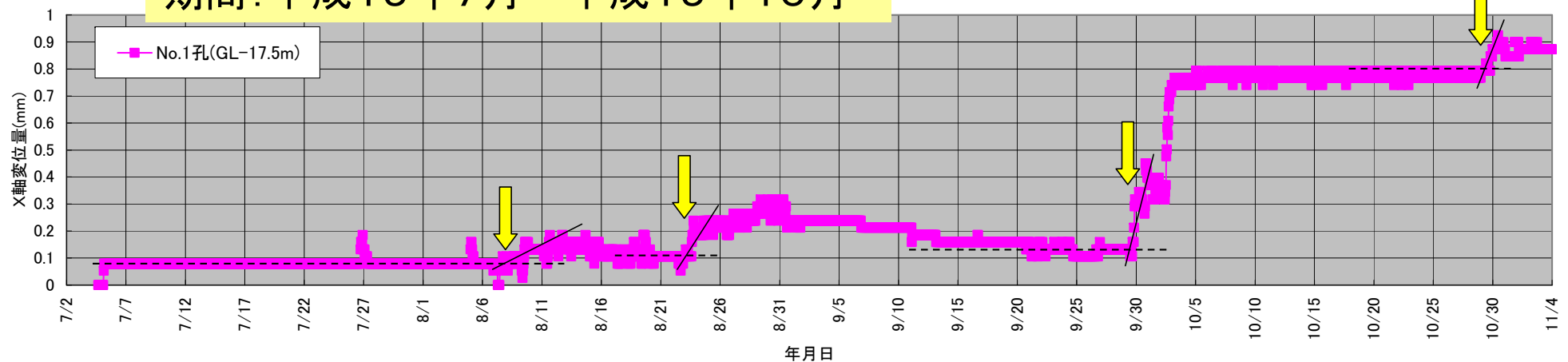
計測データの分析

既設の埋設型傾斜計による変位データ

期間: 平成19年3月～平成19年6月



期間: 平成19年7月～平成19年10月



埋設型傾斜計から推定される 地すべり挙動

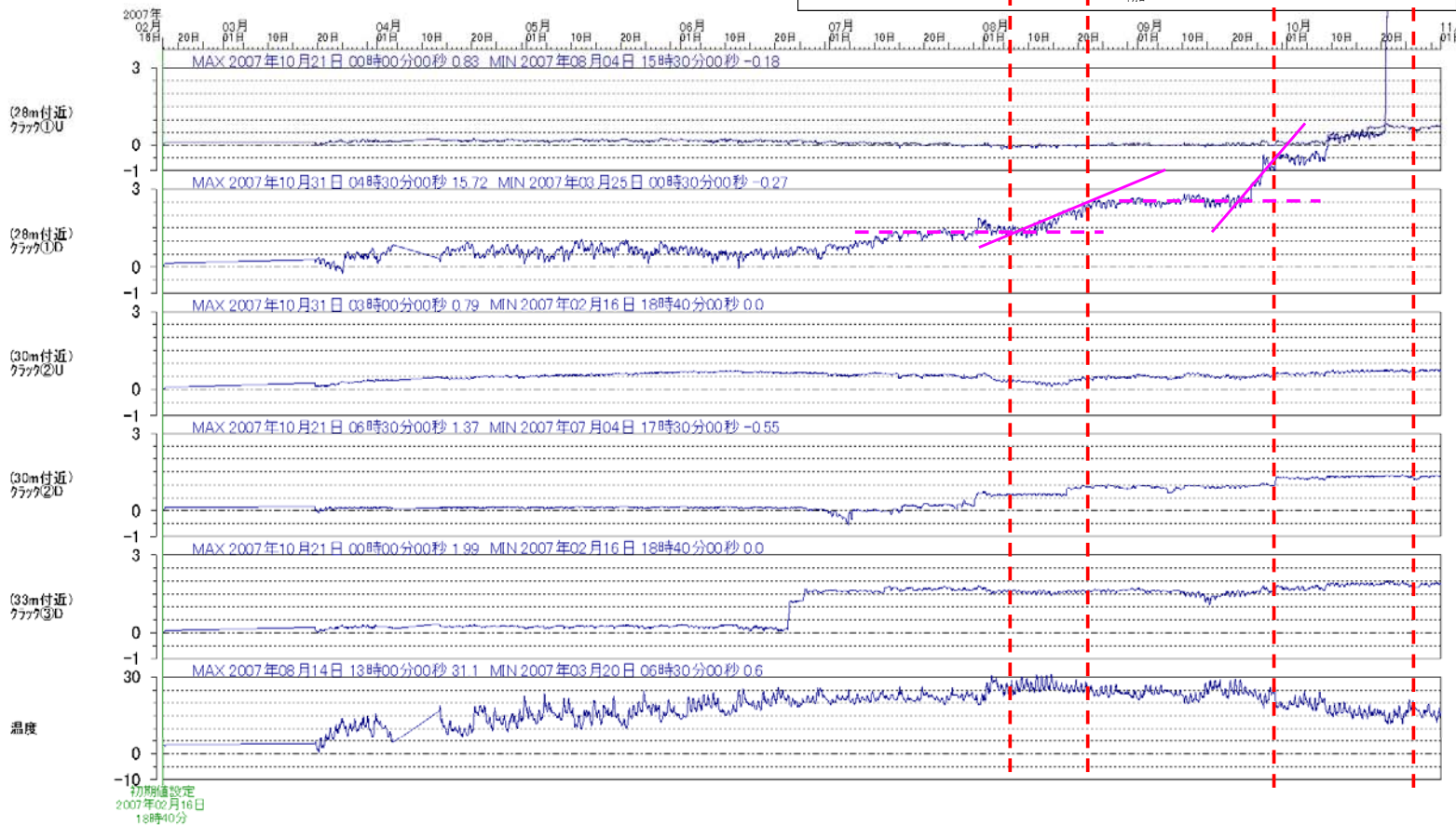
- 平成19年7月末までの期間は、顕著な変位は観測されていない。
- 平成19年8月以降には、以下の時期に地すべり活動によると推定される変位が観測されている。
 - ・8月6日頃
 - ・8月23日頃
 - ・9月29日頃
 - ・10月29日頃

トンネル計測データ

◇ひび割れ進行ゲージ

大谷第一トンネル

経時変化図 [クラックゲージ] 温度相関による補正後データ



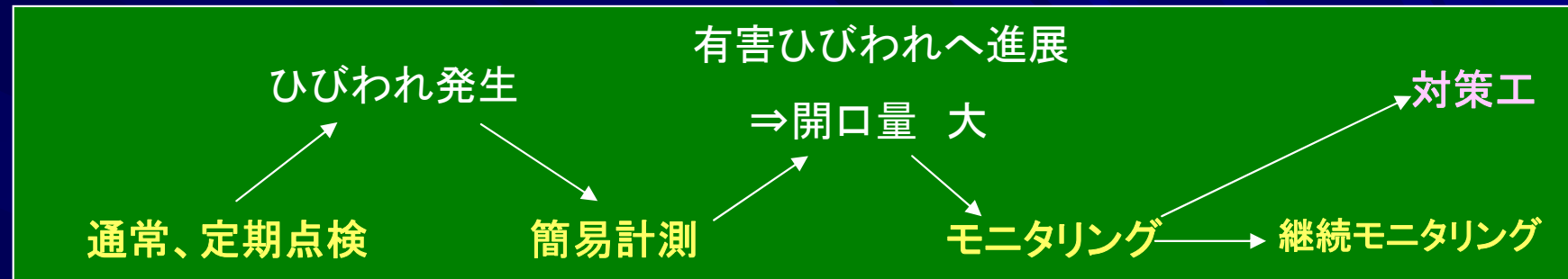
地すべり変位とひび割れ進行の関係

- 埋設型傾斜計による変位に対して、調和的にひび割れの進行が計測されている箇所がある(斜め方向ひび割れ)。
- ひび割れ幅の計測データには、埋設型傾斜計の変位と調和的な挙動は計測されていない。
- 今後、融雪時や梅雨時期に地すべりの活動が活発になることが考えられ、計測を継続することにより、ひび割れの進展や開口速度のデータを得ることが可能であり、将来的な安定性を予測するための基礎データとする。

ひび割れモニタリングの今後

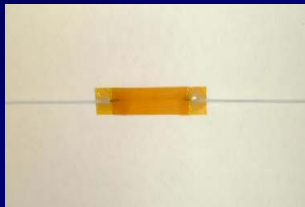
- 今回のひび割れ計測により、地すべり変位と調和的な変位を捉える可能性が立証できたことから、他のトンネルでも適切なひび割れを抽出することで、変状の進行性に対する将来予測が可能。
- 変状原因（地すべり、緩み土圧、塑性土圧、偏土圧 etc.）に対して、モニタリングに最も有効なひび割れを抽出することが重要（坑壁画像取得技術の適用）。
- 計測データの取得方法の確立（無線センサー、シーケンサ技術の活用）。

ひびわれモニタリングの適用と課題



	・目視点検 ・画像点検	・FBGセンサ ・歪ゲージ	変位計	変位計
適用条件	・広範囲を早く、正確に、安価に点検する	・ひびわれ開口量を簡易に、安価にモニタリングする	・ひびわれ開口量を耐久性、信頼性を維持してモニタリングする	
検知精度	・ひびわれ発生、漏水を検知	・高精度(歪み計測) ・温度影響をキャンセル ・事前計測実施	・高精度(±0.05mm/mm) ・温度影響をキャンセル ・事前計測を行いトンネル固有の影響をキャンセル	
適用時期	・通常、定期点検時	・ひびわれ発生後	・ひびわれ成長時	・ひびわれ成長時 ～対策工実施前
コストバランス	・安価	・安価	・信頼性が高く、安定したモニタリング	・信頼性が高く、安定したモニタリング
課題	・コストダウン	・コストダウン ・センサ設置作業等の効率化 ・漏水箇所などでの耐久性向上	・コストダウン ・センサ設置作業等の効率化 ・計測システムの簡素化	

光ファイバセンサ(FBG)のひびわれ計測への適用イメージ

		ひびわれ(小)	ひびわれ(大)→亀裂	
				
		表面:乾燥	表面:湿潤	
FBGセンサ(生センサ)	微小な歪 計測可能(±5 μ)	接着等が難しく耐 久性の面で不安 あり	亀裂の動きが大きい場合、断線の 可能性もあり、計測値もブレが大き くなる。	
	○	△	△	
FBG亀裂変位計	変位計であり、ひずみ計測と しては感度的に難しい	精度0.05mmで5mmまで計測可能 施工性 良、耐久性 良 (高価)		
	△	○		

計測データ分析における今後の課題

- 外力の変化に対して最も有効な計測手法の確立（計測器の選別、データの取得方法）。
- 地すべり変位とひび割れ進展のデータを蓄積し、その相関性の検証。
- 変状原因に対するモニタリングすべきひび割れの抽出。
- 地すべり変位とひび割れ進行の変位に時間的なずれが見られ、地すべりのメカニズムも含めた変形に関するデータ分析。
- 計測データの安定性評価指標への展開。

トンネルデータのビジュアル化

- ◇データベースシステムの目的
- ◇データベースシステムの開発概要
- ◇データベースシステムの開発内容
- ◇データベースシステムのまとめ

データベースシステムの目的

◆データベース化に伴う基本理念

- 既往の点検カルテを活用
- 変状履歴を検索
- 第三者影響変状の箇所抽出，進展（剥落の懸念，危険性早期検出，対策実施の必要性，対策実施後の経過観察）
- 外力変状の箇所マーキング，ひび割れ進展，開口量の進展（開口速度），ひび割れパターン認識，変状原因推定，トンネル安定性評価，変状進展予測，対策時期最適化

データベースシステムの目的

◆データベースの開発目的

(1)目的

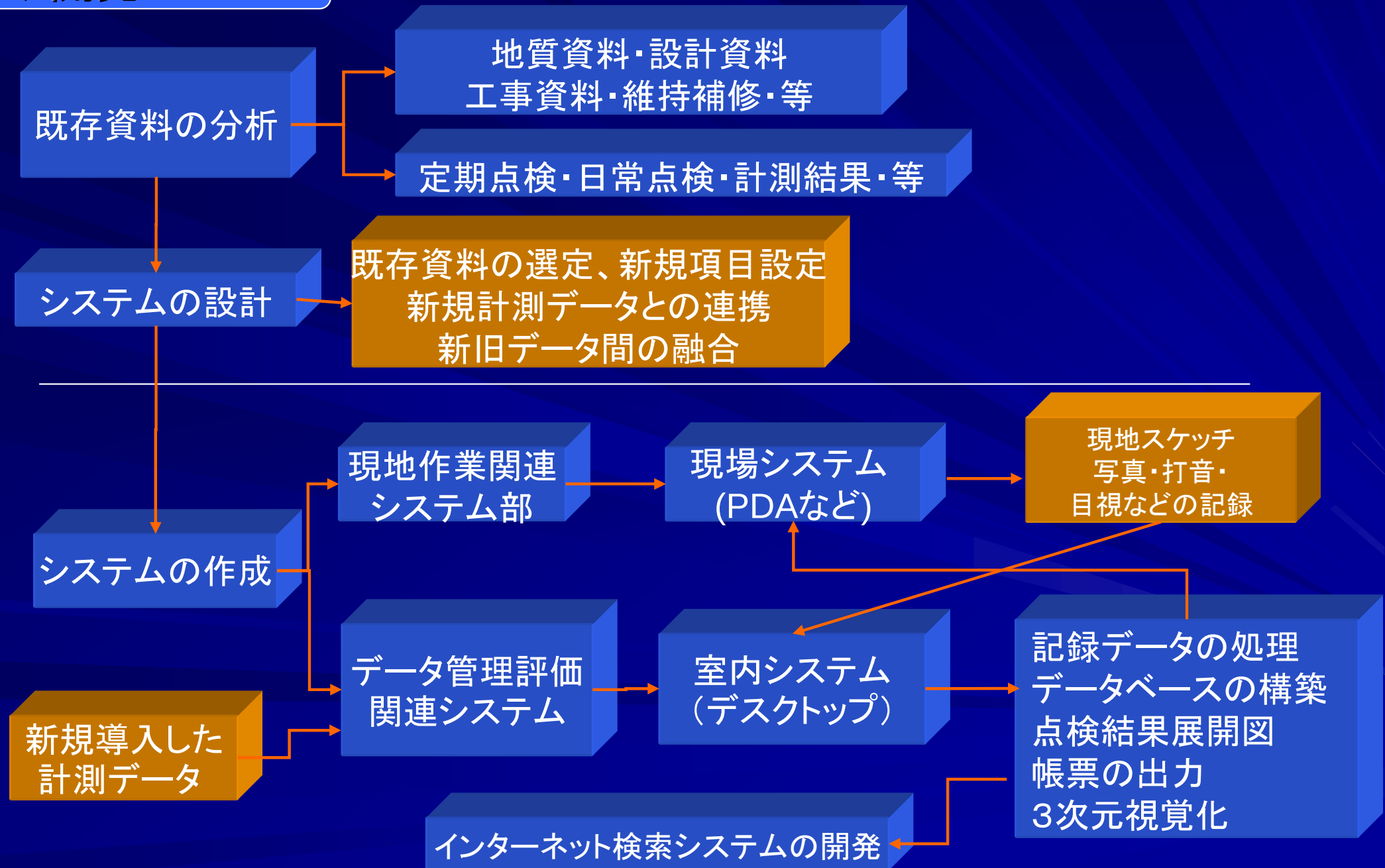
トンネルの建設・維持・補修・更新を含めて、その費用・便益を総合的に評価する方法論として、土木構造物の資産管理という概念が注目されている。この概念を導入する基礎として、構造物の性能や機能水準のモニタリングと継続的でアクセス容易な3次元データを扱えるデータベースが必要になると考える。

(2)目標

定期点検結果などのデータを貯蔵することで、経時的な岩盤・構造物の劣化状態を、コンピュータの中の世界で3次元に視覚化して、疑似体験を可能にしたトンネルデータのビジュアル化システムを開発する。

データベースシステムの開発概要

◆開発フロー



データベースシステムの開発概要

◆システムの特徴

- 1. 既存資料の再利用**：既存の紙記録を現在のCADベースのデータと同じレベルで取り扱える。保存性、閲覧性の向上。
- 2. データの3次元可視化**：既存の紙ベース及びCADデータを3次元ビジュアル化することで、トンネル健全性の評価を容易にする支援システムとなる。
- 3. 現地での点検記録**：データを持ち出し、バーチャルリアリティを用いて、該当箇所の確認、スケッチ等の追記が可能。
- 4. 帳票出力**

データベースシステムの開発内容

◆基本資料の入力・閲覧

トンネル名称		大谷第一トンネル		路線名	一般国道8号(旧道・開通)		管轄	近畿地方整備局	管理機関コード	867084	
所在地	自	福井県敦賀市		距離標	自	446 K+ 912		福井河川国道事務所	トンネルコード	国-8-7	
	至	福井県敦賀市			至	447 K+ 215			調製年月日	2008/01/05	

構造規格	C 級	設計年次	1962	種 別	アスファルト系	施設の内訳	個 数	形 式
設計速度	310 km/h	トンネル等級	第1種 第2級	厚 さ	0 m	非常用電話	0	
分割区分	上下線併用	設計交通量	12122 台/日	面 積	0 m ²	押ボタン通報装置	0	
トンネル分類	陸上トンネル掘削工法	現在交通量	12122 台/日	種 別	ナトリウム灯	火災検知器	0	
トンネル工法	矢板工法	壁面種類	覆工(内装なし)	照 明	灯 数	0		
完成年次	1963/01/01	天井種類	覆工(内装なし)	自然・強制の別	自然換気	自動通報装置	0	
トンネル延長	82 m	起点	形式	面壁型	換 気	警報表示板	0	
土被り		延長	形式	面壁型	方式	点滅灯(警告灯)	0	
内空断面積		終点	形式	面壁型	台 数	0		
道路幅	7.3 m	トンネル非常用設備	排水設備の種類	自然排水	避難誘導設備	誘導表示板	0	
車線幅	3.3 m	アーチ	種 類	なし	排煙設備	0		
歩道等幅(上)	0.4 m	側 壁	延 長	0 m	避難通路	0		
歩道等幅(下)		インバート	面 積	0 m ²	消火栓	0		
建築限界高	4.5 m	アーチ	都道府県	福井県	消火器	0		
中央高	5.75 m	側 壁						
有効高	4 m	インバート						
縦断勾配	上り6.0%	類 寸 法	管理					
直線区間長	310 m							
区間長								
A1								
A2								
R								

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

新規追加_大谷第一トンネル

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線名

一般国道8号(旧道・開通)

距離標

自 446 K+ 912

至 447 K+ 215

管轄

近畿地方整備局
福井河川国道事務所

トンネル台帳1

トンネル台帳2

トンネル台帳3

開じる

トンネル名称

大谷第一トンネル

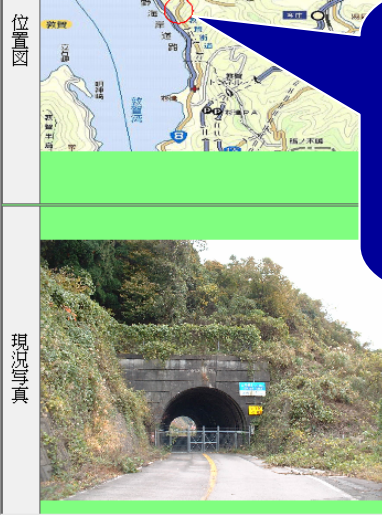
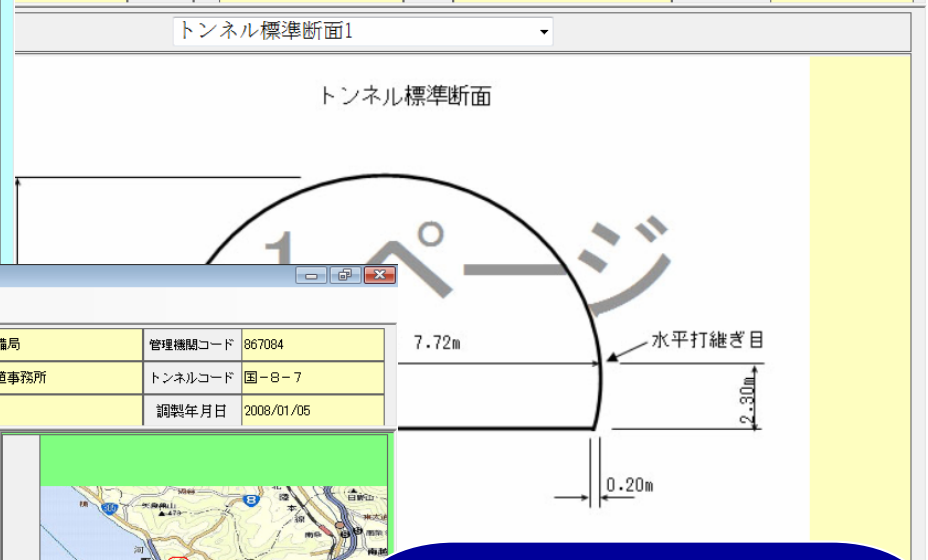
所在地

自 福井県敦賀市

至 福井県敦賀市

路線

トンネル台帳3						開じる				
路線名		一般国道8号(旧道・開通)		管轄	近畿地方整備局		管理機関コード		867084	
距離標	自 446 K+ 912		福井河川国道事務所		トンネルコード		国-8-7			
	至 447 K+ 215				調製年月日		2008/01/05			



マウスカーソルを当てた箇所の観測記録が呼び出されて同時に閲覧できる。

現在まで取られたデータを無駄にすることなく、統一フォーマットで整理することで、保存性も良くなる。

データベースシステムの開発内容

◆点検データの入力編集・閲覧

点検業務名_大谷第一トンネル

ATOK あ 連 R 漢

追加 上書き保存 閉じる

点検、調査・対策工名

点検種別

実施

点検・調査結果

点検員等

平成19年度 大谷第一トンネル第4回総点検

点検

2009/12/05

内容・所見等

変状概要

近接目視、打音検査実施。主な変状はひび割れ、剥離、うきであった。打音検査から覆工自体のうきはなく、目地補修跡のうきがほとんどであり、応急対策の必要な箇所は見られない。

- ・トンネル全体として変状が多く見られ、炭素繊維シートにより対策が施されている区間もある。比較的漏水箇所は少ない。
- ・終点(敦賀側)坑門部からアーチ部にかけて開口亀裂によりブロック化(1m×2m)されている箇所があり、対策が必要である。
- ・スパン20は楕円形状に亀裂(主にヘアカラック)が入っているが、コールドジョイントと想定しても規模が大きく一つの塊で剥落する可能性は低い。

追加

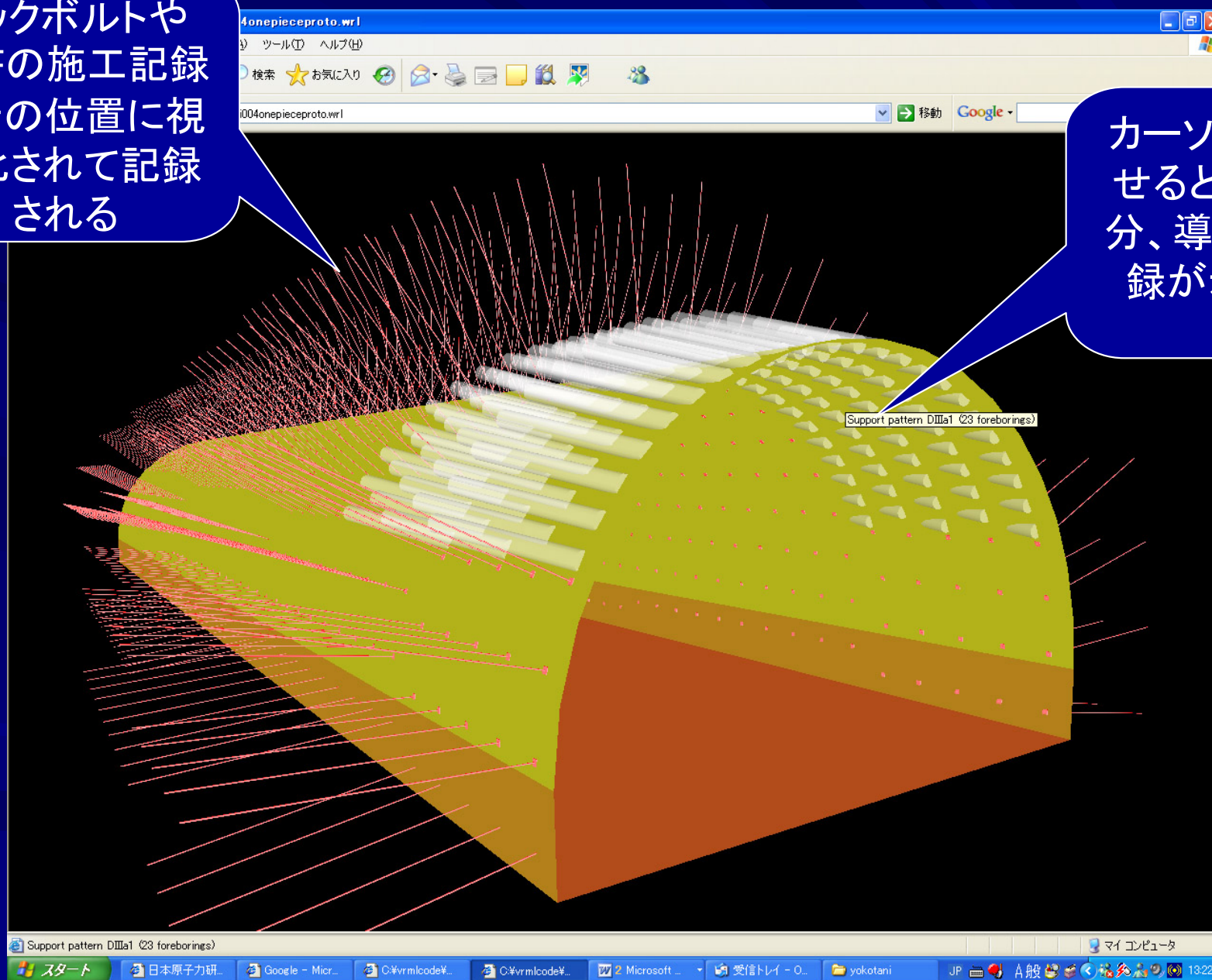
編集

点検種別	点検、調査・対策工名	実施	点検・調査結果	点検員等	内容・所見等	変状概要
点検	平成20年1月7日	2008/01/07 16:27...				
点検	平成20年度 第一トンネル第4回...	2008/01/05 20:38...			近接目視、打音検査実施。主な変状はひび割れ、剥離、うきであった。打音検査から覆工自体のうきはなく、目地補修跡のうきがほとんどであり、応急対策の必要な箇所は見られない。	・トンネル全体として変状が多く見られ、炭素繊維シートにより対策が施されている区間もある。比較的漏水箇所は少ない。 ・終点(敦賀側)坑門部からアーチ部にかけて開口亀裂によりブロック化(1m×2m)されている箇所があり、対策が必要である。 ・スパン20は楕円形状に亀裂(主にヘアカラック)が入っているが、コールドジョイントと想定しても規模が大きく一つの塊で剥落する可能性は低い。
点検	平成19年1月20日	2007/01/20 15:22...	カルテ対応	隧道太郎	近接目視、打音検査実施。主な変状はひび割れ、剥離、うきであった。打音検査から覆工自体のうきはなく、目地補修跡のうきがほとんどであり、応急対策の必要な箇所は見られない。	・トンネル全体として変状が多く見られ、炭素繊維シートにより対策が施されている区間もある。比較的漏水箇所は少ない。 ・終点(敦賀側)坑門部からアーチ部にかけて開口亀裂によりブロック化(1m×2m)されている箇所があり、対策が必要である。 ・スパン20は楕円形状に亀裂(主にヘアカラック)が入っているが、コールドジョイントと想定しても規模が大きく一つの塊で剥落する可能性は低い。

3次元データの記録閲覧性

ロックボルトや
AGFの施工記録
がその位置に視
覚化されて記録
される

カーソルを合わ
せると、設計区
分、導入施工記
録が示される



バーチャル・リアリティーの世界



スケッチの入力編集及び3次元可視化

0, 294

ATOK あ 連 R 漢

上書き保存 現在の場所 閉じる

点検スケッチファイル 平成20年度 第一トンネル第4回総点検 参照スケッチファイル 平成20年 1月7日

スパン番号 S005

☒ 新規作成 ☐ 変状の編集

☐ 今回の変状種類の選択
☒ 前回の変状種類の選択

☒ 確定 ☐ キャンセル

----- 施工目地

----- ひび割れ (0.3mm) 以下

----- ひび割れ (0.3mm) 以上

----- 段差

----- コールドジョイント

----- 圧ざ

----- うき、剥離

----- 剥離 (はく落跡)

----- 骨材の露出 (豆板部)

----- 漏水 (リットル/分)

----- 漏水 (塗れている部分)

----- 滞水、氷盤、沈砂 (厚さ cm)

----- 溶脱物 (遊離石灰など)

----- 遊離石灰・亀裂

----- 漏水防止工 (導水工)

----- 漏音がする。
はく落?

----- 漏音がする

36 S007 36
35 35
34 34
33 33
32 32
31 S006 31
30 30
29 29
28 28
27 27
26 26
25 S005 25
24 24
23 23
22 22
21 21
20 20
19 19
18 18
17 17
16 16

変状箇所番号	変状	繪製区域	形状等	点検時の判定	調査時の判定I	調査時の判定II	対策工の実施	対策完了日 年 月	現況写真	所
1	コールドジョイ...	壁面		b	A-I	A-II	☒	1/05/2008	☒	
3	剥離 (はく落跡)	壁面		a	B-I	3A-II	☒	10/08/2007	☒	

スケッチの3次元可視化

点検スケッチ_大谷第一トンネル

現場写真の対応

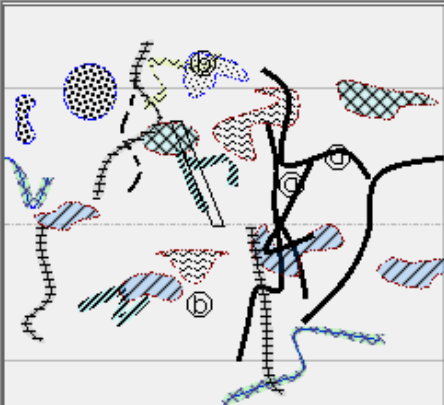
上書き保存

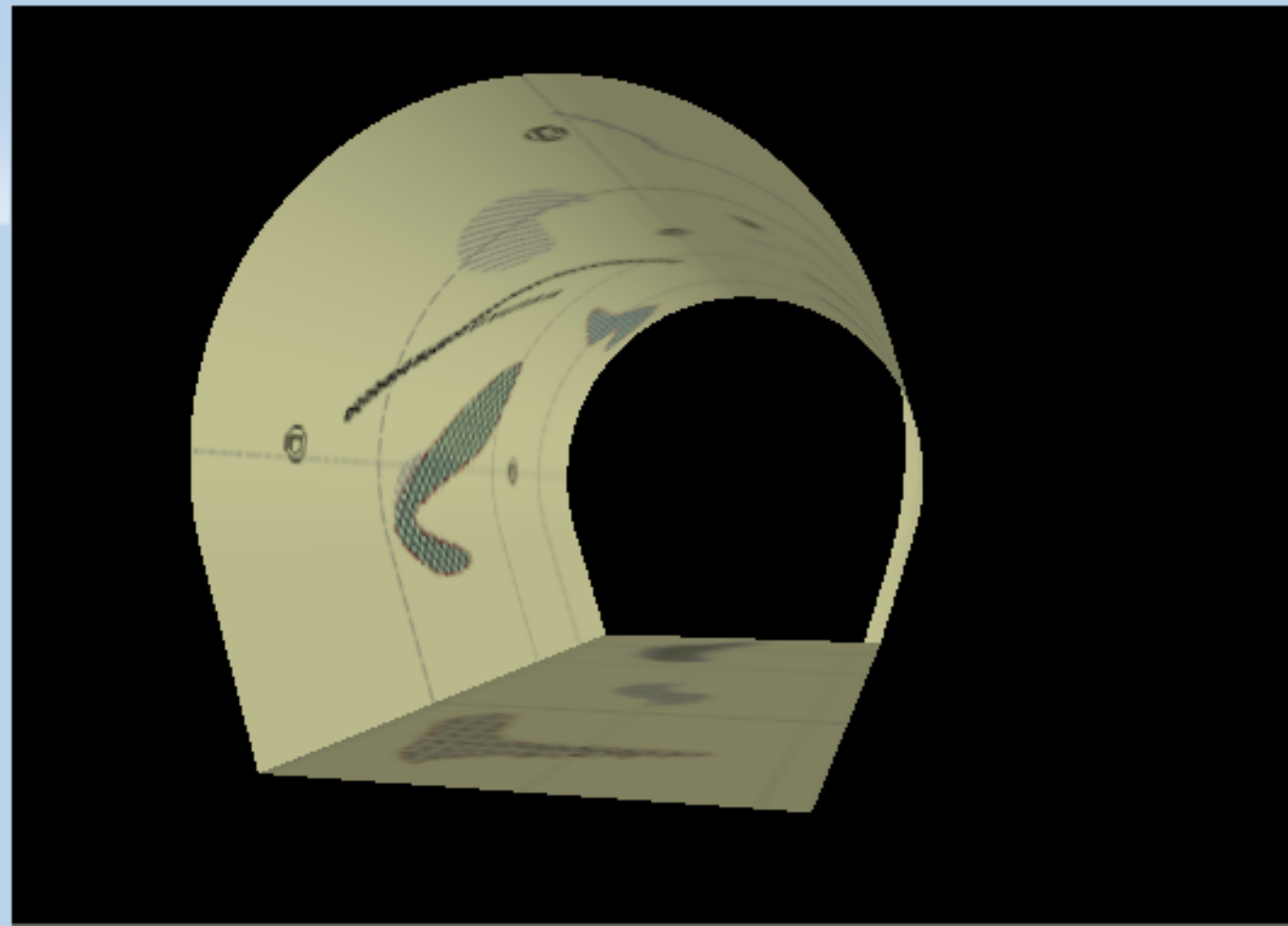
閉じる

点検スケッチファイル

平成19年1月20日

参照スケッチファイル





スパン番号	変状箇所番号	変状	繪製区域
S005	1	ひび割れ(0.3mm)以下	壁面
S005	2	段差 矢印側突出、数値は段差(mm)	路面
S005	3	コールドジョイント	壁面
S005	4	剥離(はく落跡)	壁面
S005	5	漏水(漏水量 リットル/分)	壁面
S005	6	骨材の露出(豆板部)	壁面
S005	7	漏水(塗れている部分)	壁面
S005	8	遊離石灰・亀裂	壁面

三次元表示_大谷第一トンネル

False

False

False

↑

↺

⊙

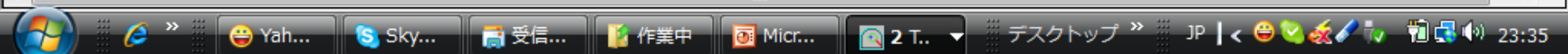
↻

←

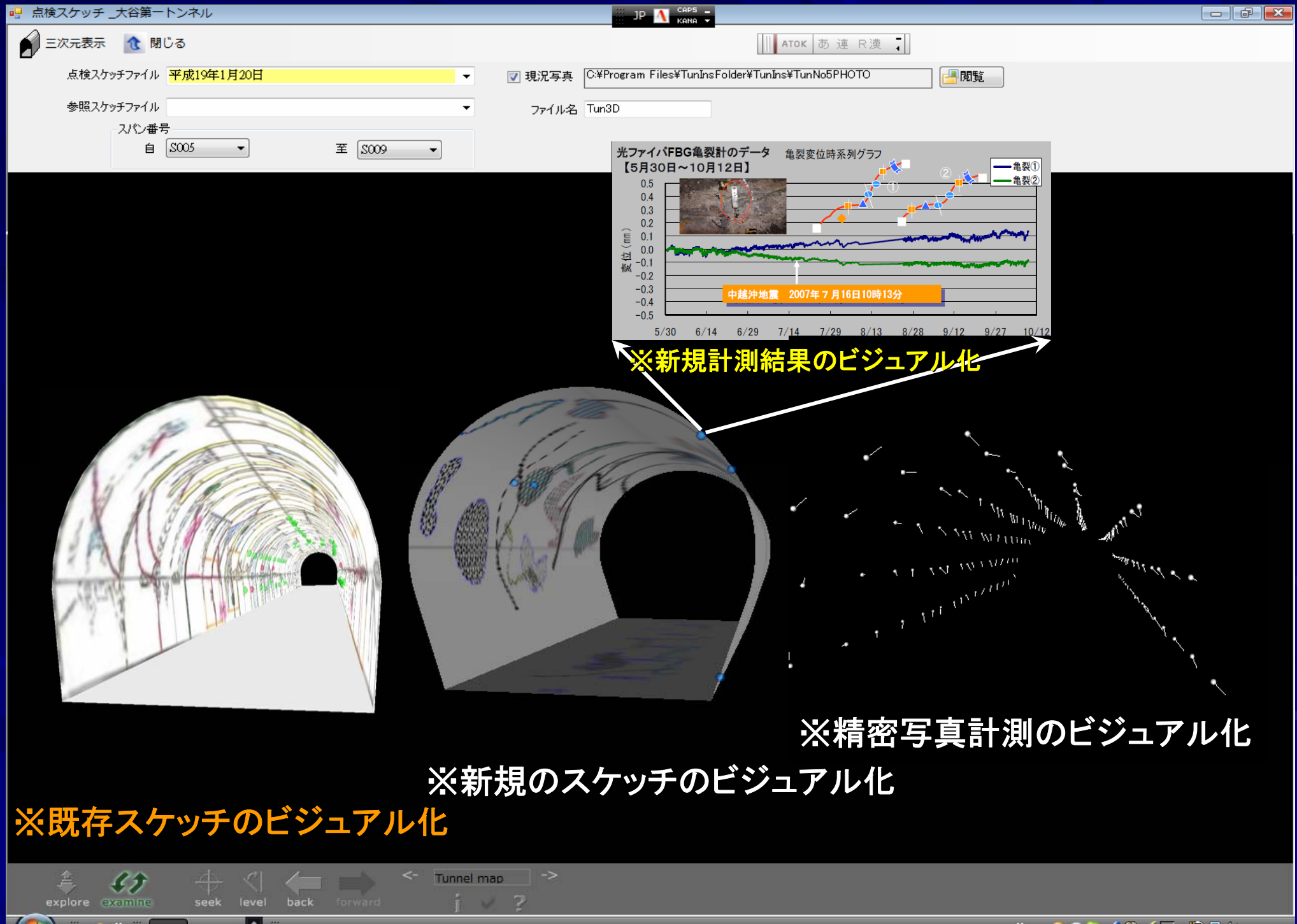
→

↶

Tunnel map



トンネル健全度評価の支援



データベースシステムのまとめ

- 1. 既存資料の再利用**：既存の紙記録を現在のCADベースのデータと同じレベルで取り扱える。保存性、閲覧性の向上。
- 2. データの3次元可視化**：既存の紙ベース及びCADデータを3次元ビジュアル化することで、トンネル健全性の評価を容易にする支援システムとなる。
- 3. 現地での点検記録**：データを持ち出し、バーチャルリアリティを用いて、該当箇所の確認、スケッチ等の追記が可能。

アセットマネジメントへの取り組み

- ◇アセットマネジメントの必要性
- ◇新しい健全性評価手法に基づく維持管理方法
- ◇アセットマネジメントへ向けた課題

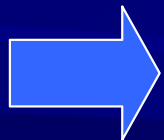
アセットマネジメントの必要性

なぜトンネルは遅れているのか

- ①トンネルの機能水準、性能水準とは 空間確保
- ②主要材料は、覆工コンクリートを含む周辺岩盤
- ③更新が困難(容易に取り替えができない)
- ④点検数が極端に少ない
- ⑤第3者影響、構造的変状
- ⑥基本的に健全で強固な構造物
維持管理コストがかからない構造物



これまでは対処療法的でも良かった

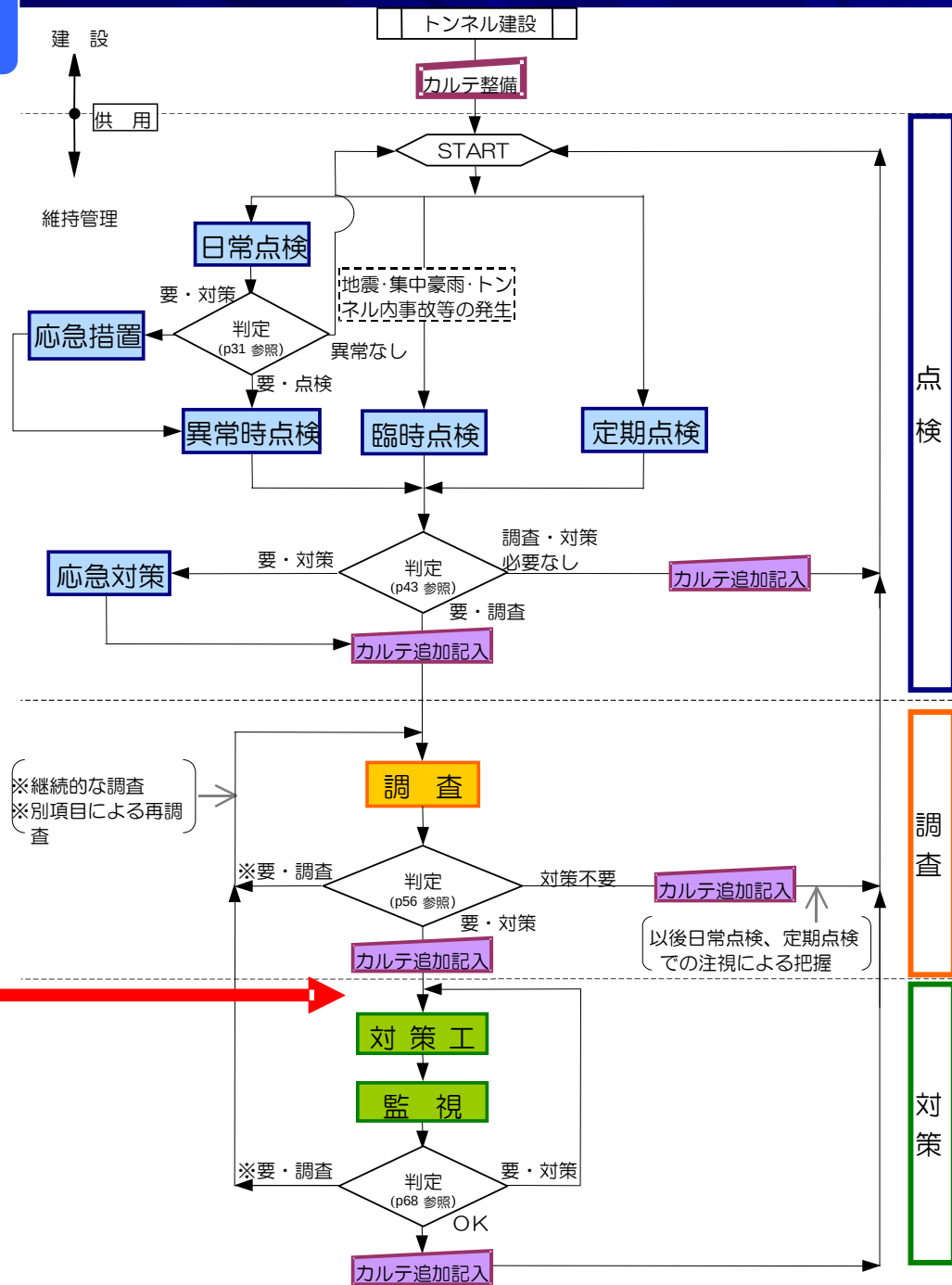


これからは、事故の度に一齐点検、一齐補修は不適
一度に多額のコストが発生する
点検費用さえ捻出できない(点検箇所限定)
予算の平準化, 計画的・効率的に対応すべき

この手法がトンネルアセットマネジメント

アセットマネジメントの必要性

◆トンネル維持管理フロー



新しい健全性評価手法に基づく維持管理方法

◆健全性評価手法

■ 第三者影響（浮き・剥離・ひび割れ）

画像取得：短時間、概略把握

注目する変状特定 → カメラによる集中管理

→ 簡便な健全性評価基準の導入

■ 構造的変状（ひび割れ）

ひび割れ開口量・開口進展のモニタリング

ひび割れ開口量とトンネル安定性の相関

計測種別と導入時期

将来状態の予測

補修・補強工の判定

→ 性能照査型健全性評価手法の導入

新しい健全性評価手法に基づく維持管理方法

◆健全性判定基準(簡便型)

■近接目視・打音点検の評価（覆工に対する評価）

判定 ランク	判定の内容	対策提案 (対策時期)	ひび割れ密度	ひび割れ位置
3A	変状が大きく、通行者・通行車両に対して危険があるため、直ちに何らかの対策を必要とするもの。	応急処置後、直ちに 対策工を検討する。 (可能な限り早く)	・ひび割れ密度； 0.5m/m ² 以上	・天端、肩部、 に加え、側壁にも縦断方向ひび割れが発生する。
2A	変状があり、それが進行して、早晚、通行者・通行車両に対して危険があるため、早急に対策を必要とするもの。	応急処置後、早急に 対策を検討する。 (1年以内)	・ひび割れ密度； 0.5～0.2m/m ²	・天端の縦断方向ひび割れに加え、肩部にも縦断方向ひび割れが発生する。
A	変状があり、将来、通行者・通行車両に対して危険を与えるため、重点的に監視をし、計画的に対策を必要とするもの。	応急処置後、継続監視し、計画的に対策を検討する。 (5年以内)	・ひび割れ密度； 0.2m/m ² 以下	・天端に縦断方向のひび割れがある（1スパンを貫通）。
B	変状がないか、あっても軽微な変状で、現状では、通行者・通行車両に対して危険はないが、監視を必要とするもの。	継続監視。 (監視結果を踏まえ、検討する)		・天端に縦断方向のひび割れがある。
S	健全なもの（変状がないか、あっても軽微）	簡易点検にて対応 (点検結果から検討する)		

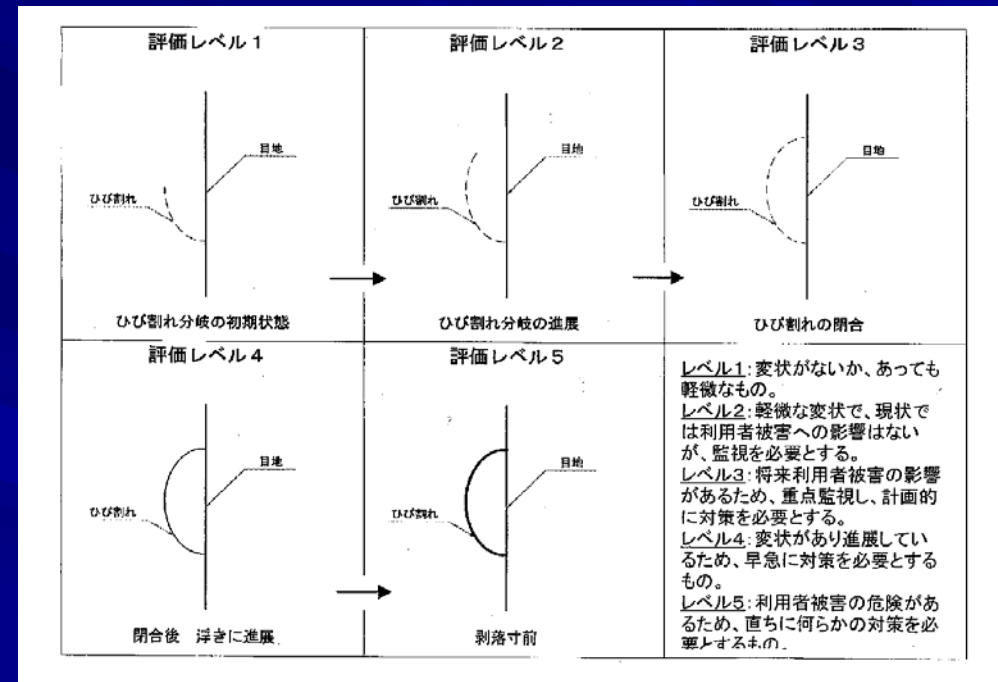
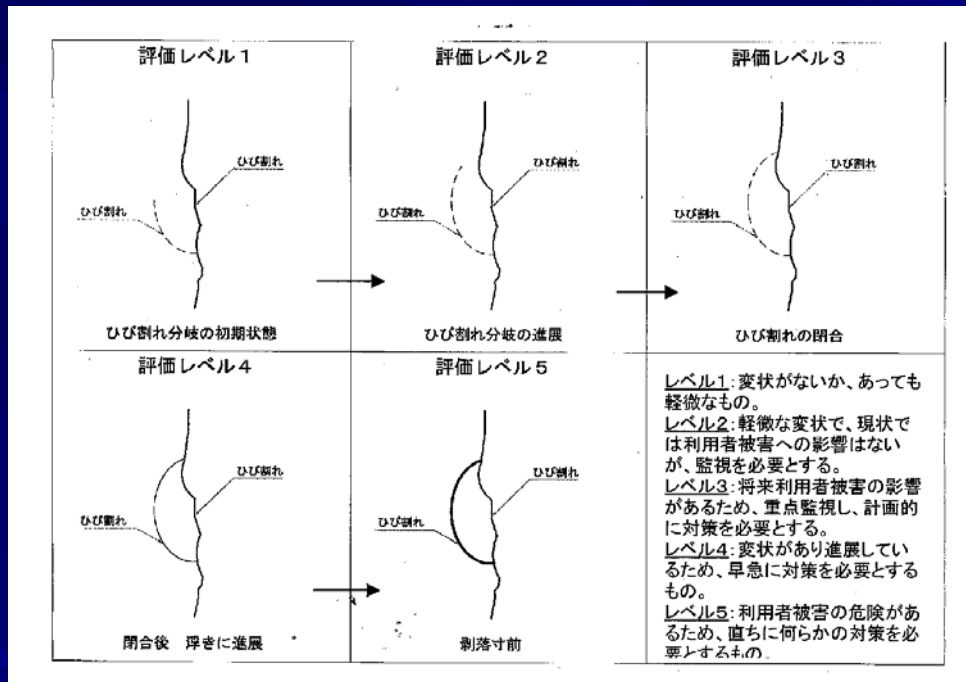
新しい健全性評価手法に基づく維持管理方法

◆ひび割れ判定法(簡便型)

小ブロック化ひび割れの判定

覆工面のひび割れ

打設目地におけるひび割れ



新しい健全性評価手法に基づく維持管理方法

◆性能照査型健全性評価手法

要求性能	性能評価指標	照査手法	
		数値評価	レーティング
構造安定性能	内空変位, 覆工耐力, 鋼材腐食, ひび割れ, 目違い, 目地欠け等	数値評価 基準による判定	5段階評価
安全性能	コンクリート片落下, 耐火性		5段階評価
耐久性能	防食, 防水, 塩害, 中性化	数値評価	5段階評価
使用性能	走行性, 剥落, 漏水		5段階評価
環境影響	地下水, 地表面, 近接物		5段階評価

部材毎, 各性能の判定(5段階評価)
↓
重み付けによる統合(連続量 100 点満点)
↓
トータル性能インデックス

サービスレベルに応じた維持管理法

	サービスレベル 低		サービスレベル 中		サービスレベル 高	
	交通量少，劣化進行低，山間部（離島） （ミニマムメンテナンス）		交通量中，劣化進行中，中間地域 （国交省での標準的な手法）		交通量大，劣化進行高，都市部， 重要路線，災害道路，ネットワーク	
分類	第3者影響	構造的変状	第3者影響	構造的変状	第3者影響	構造的変状
日常点検	日常の巡回（低頻度）， 通行者通報	日常の巡回（監視ポイント明示）	日常の巡回	日常の巡回	日常の巡回	日常の巡回
定期点検	一度は実施 必要に応じて実施（頻度5年以上）	一度は実施 必要に応じて監視ポイントのみ実施	2～5年に1回	2～5年に1回	2～5年に1回 レーザースキャン実施 （標準2年以内）	2～5年に1回 レーザースキャン実施 （標準2年以内）
標準調査	—	—	応急処置	点検に併せ実施	実施	実施
モニタリング	—	必要に応じ，監視ポイントのみ簡易計測（簡易ひび割れ計：目視観測）	定期点検で判定	簡易計測実施 必要に応じて右の計測実施	レーザースキャンで判定	内空変位，ひび割れ進展など構造耐力判定の計測
点検DB	点検要領の記録シートに記入，紙DB，2回目以降は追記	点検要領の記録シートに記入，紙DB，2回目以降は追記	点検要領の記録シートに記入，電子データDB化，体系表	点検要領の記録シートに記入，電子データDB化，体系表	壁面画像+GISによるデータ化，数量処理，変状分析	壁面画像+GISによるデータ化，数量処理，変状分析
変状原因	1回目定期点検後，専門技術者が判定	1回目定期点検後および必要に応じて専門技術者が判定	専門技術者	専門技術者 標準調査で判定	専門技術者 標準調査で判定	モニタリングによる構造解析により定量的に分析
点検定量化 健全度評価	レーティング	レーティング	レーティング +連続データ変換	レーティング +連続データ変換	レーティング +連続データ変換	性能照査型評価 →連続データ化
劣化予測	—	必要に応じて，専門技術者が点検，簡易計測結果を確認し，進行度を判定	上記連続データに基づき，残存耐用年数等による確定論的に予測	上記連続データ+簡易計測データに基づき，残存耐用年数等による確定論的に予測	上記連続データに基づき，不確実性を考慮した確率論的に健全度低下予測	同左 + モニタリングデータに基づき，時間依存性を考慮した構造解析的に予測
LCC最適化	—	必要に応じ	実施	実施	実施	実施
対策工等の意思決定	目地周辺の浮き・剥落，トンネル天端の縦断ひび割れ，ブロック状閉合ひび割れ，路面への漏水に対してのみ判定。 目地部については，簡易で経済的な導水樋方式で必要な箇所は事前に対策。 その後は点検結果に応じて判断。		LCC最適化により，点検頻度，対策工実施時期（対策工は想定）を選定，計画的投資を意思決定		LCC最適化により，点検頻度，対策工種別・実施時期を選定，計画的投資を意思決定	

アセットマネジメントへの課題

- ① 点検時点の性能や機能水準の現在状態の規定，
将来的に健全度低下を規定するための性能評価法
- ② 将来的な健全度の低下進展モデル
不確実性を考慮した確率過程でモデル化 修繕(補修・補強)過程のモデル化
- ③ 点検間隔，臨界健全度によって健全度の遷移を制御するモデル
ライフサイクルコストを算定し，最適な組合せを求めるという意思決定モデル
- ④ 複数トンネルに対する優先度を決定する手法
- ⑤ 第三者影響と構造的変状の両者に適用できるモデルを目標とする．ただし，構造的変状の場合は，同一指標に換算後に組込む．
- ⑥ 点検法，評価アイテム，レーティング法，健全度低下予測，維持補修の最適化ルール



アセットマネジメントのコア技術

将来への展開

これまでの研究を通じて以下の成果が得られた。

◆第三者影響への対応

- ・近赤外走行撮影＋走行レーザー形状計測により、ひび割れ、漏水、浮き（規模の大きなもの）の検出は可能であり、十分な管理能力を有しているものと判断される

◆構造的変状への対応

- ・光ファイバーセンサを使用したモニタリングは精度が高く有効であり、構造的な変状への対応に適している
- ・挙動を分析することにより損傷原因やメカニズムの把握に役立つ

◆トンネルデータベースシステムの活用

- ・既存のカルテを活用し、つかいやすく（現地での作図化が可能、モニタリングデータの蓄積等）、わかりやすい（画像を3次元化）データベースを開発

◆新しい健全性評価手法

- ・第三者影響に対応する簡便な健全性評価基準（カメラデータ等による判定が可能）、構造的変状に対する性能照査型健全性評価基準（要求性能に評価し重み付けによる統合）を提案

将来への展開

これらの成果を踏まえ将来への展開を述べる。

◆第三者影響への対応

- ・小さな浮き、煤で汚れたトンネルへの適用性を検討する(さらなる精度の向上)

◆構造的変状への対応

- ・さらに計測データを蓄積し、ひび割れの開口量進展速度や内空変位との相関性などから、将来の進展予測、管理基準の立案、LCC分析につなげていく
- ・データ転送、機器類の集約化などにより、他トンネルへの適用性も含めたさらなる実用化を目指す 他

◆トンネルデータベースシステムの活用

- ・画像取得データ、モニタリングデータの有効活用
- ・他トンネルへの適用性も含めたさらなる実用化を目指す 他

◆アセットマネジメントへの取組み

- ・新しい健全性評価基準の検討
- ・将来的な健全度の低下進展モデルの検討
- ・健全度の遷移を制御するライフサイクルコストから最適な組合せを求める意思決定モデルの検討 他