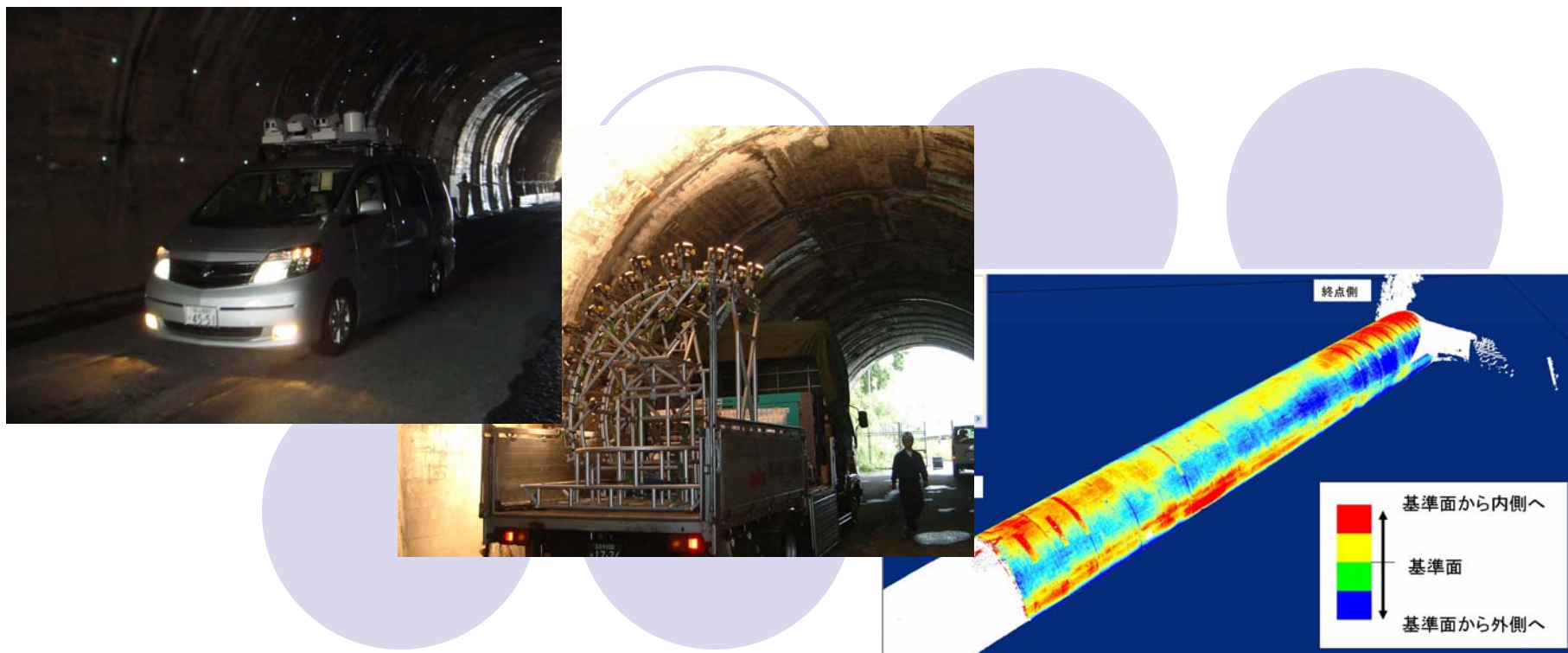


第6回新都市社会技術セミナー

道路トンネル健全性評価技術の研究



2009年5月29日(金)

道路トンネル健全性評価プロジェクト

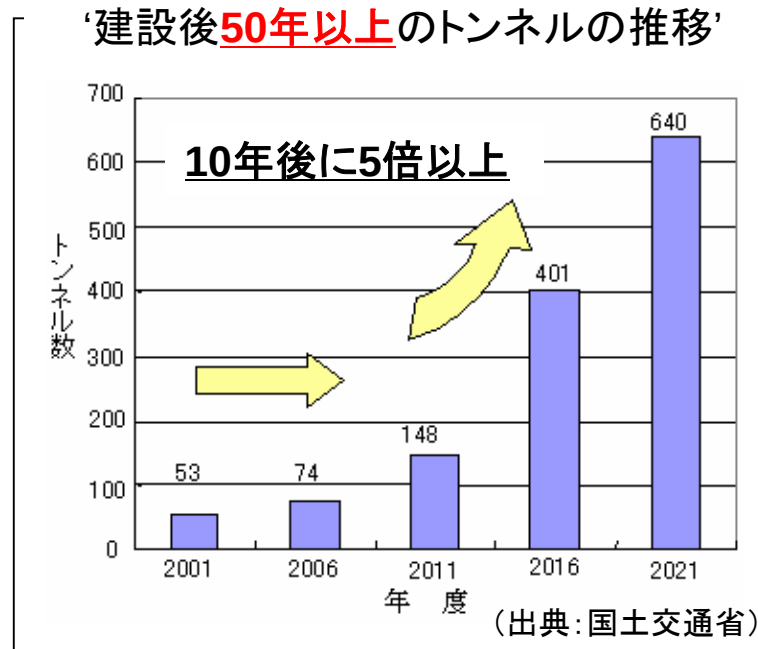
プロジェクトリーダー 大西有三(京都大学)

発表の内容

1. 研究概要
2. 健全性評価手法の検討
3. 適切な健全性評価手法の提案
4. Oトンネルへの適用
5. アセットマネジメントへの取組み

背景と目的

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



‘JR山陽新幹線小倉-博多間のトンネル内でのコンクリート塊剥落事故 1999.6’



(出典: 中国新聞)

効率的な維持管理のために、‘適切な健全性評価手法’を確立する

プロジェクトの体制

リーダー(学)

京都大学理事 副学長 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)

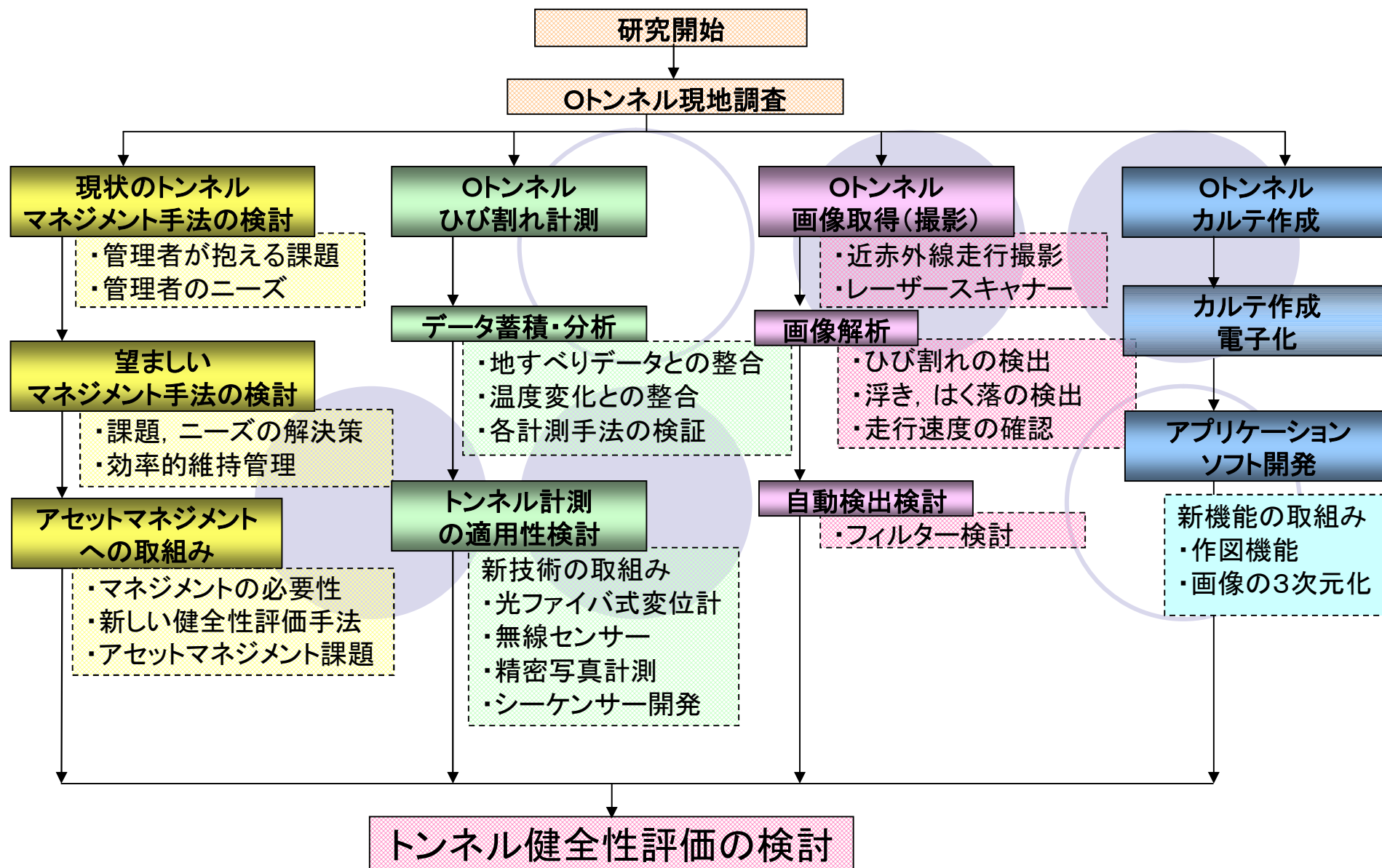
学

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

研究フロー



研究項目

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	現状のトンネルマネジメント手法, 望ましいマネジメント手法
計測グループ	目指すべき計測技術の活用
3次元ビジュアル化グループ	道路トンネルデータベースの研究
データマネジメントグループ	健全性評価の検討, アセットマネジメントへの取り組み

現状の健全性評価手法

2. 健全性評価手法の検討

- ・トンネルがトンネルとして‘**人にとって安全に**’機能しているか？
(構造的な安定性は狭義の健全性といえる)

どうやって評価するか？

- ・何から？
- ・どうやって計るか？

学術的な知見

経験的蓄積

技術的な制約

経済的な制約

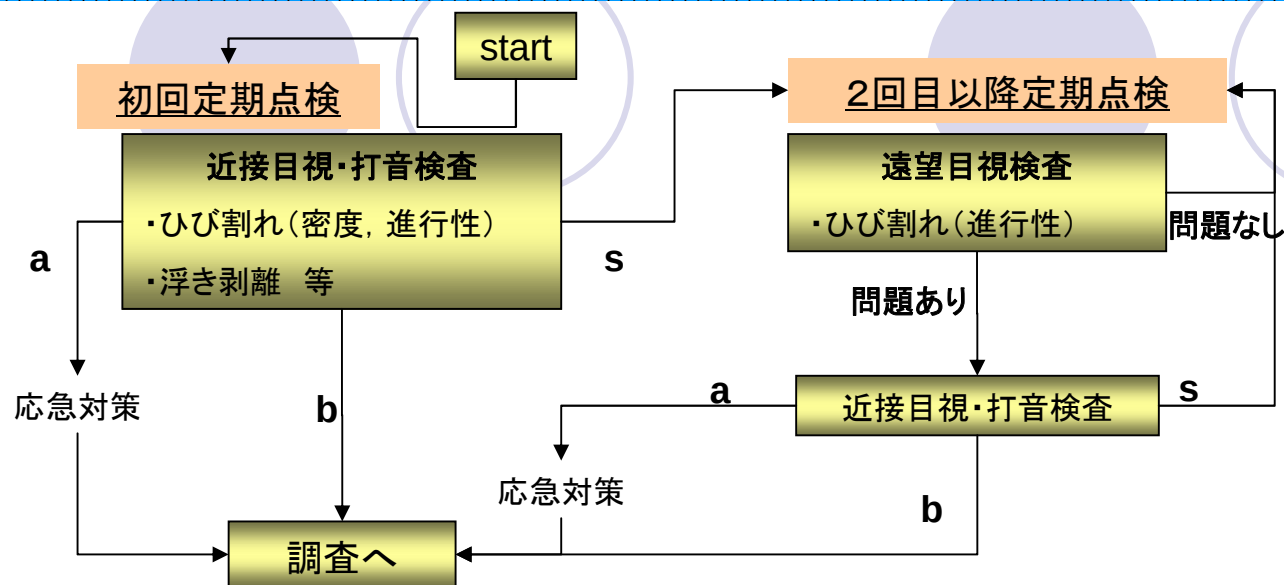


手法(枠組み)が必要

1. 現状の管理手法
2. 学術的な知見
3. 計測技術

近畿地方整備局における現状の健全性評価手法

点検



調査

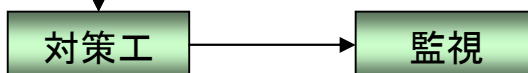
調査
ひび割れ(進行性, 幅, 長さ), 浮き剥離, 漏水, 覆工巻厚, 背面空洞, 覆工の変形 等

判定区分 I	判定の内容
3A-I	変状が大きく、通行者・通行車両に対して危険があるため、 直ちになんらかの対策 を必要とするもの。
2A-I	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を与えるため、 早急に対策 を必要とするもの。
A-I	変状があり、将来、通行者・通行車両に対して危険を与える可能性があるため、 必要に応じて対策工を計画的に 実施するもの。
B-I	変状があっても軽微な変状で、現状では通行者・通行車両に対して大きな影響はなく、日常点検での注視を実施するもの。

II

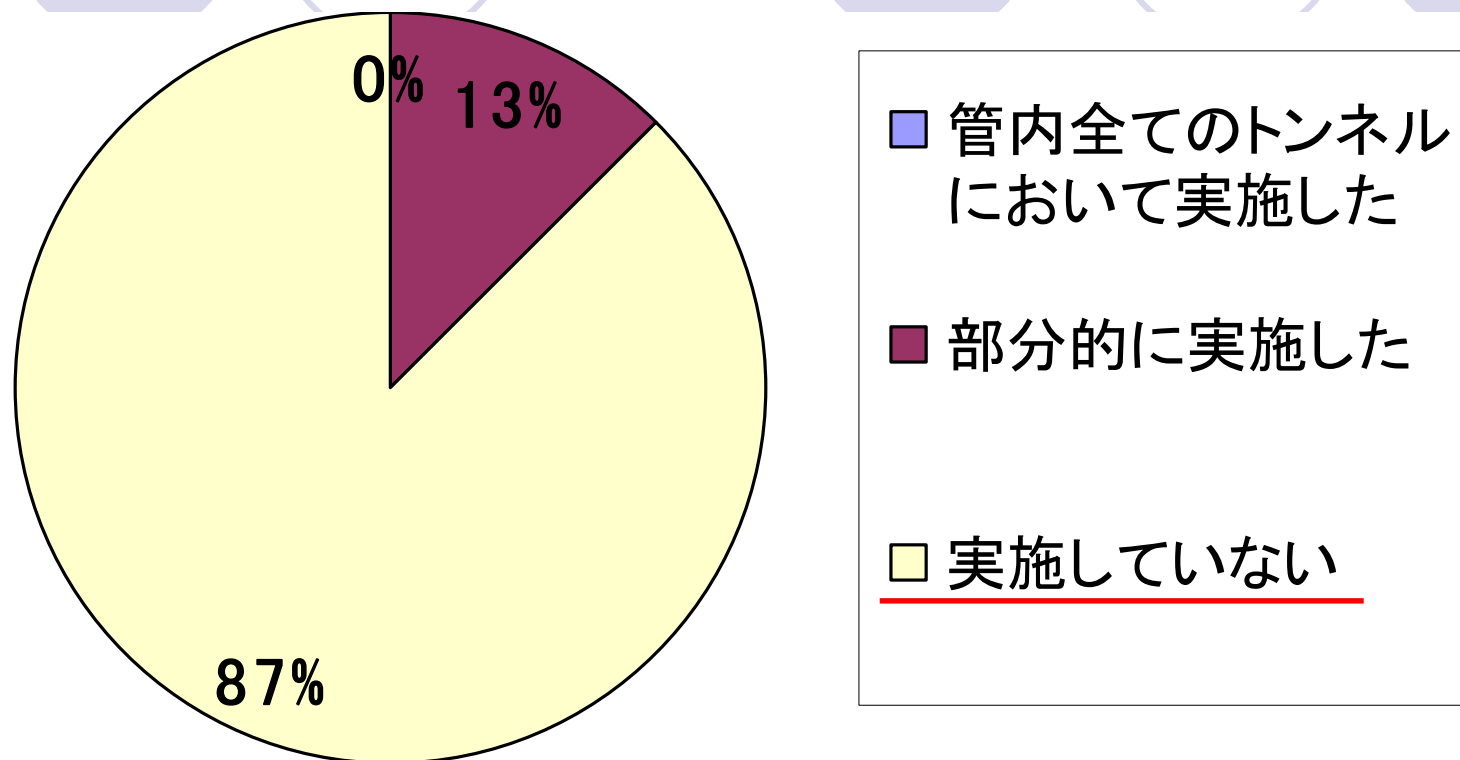
判定区分 II	判定の内容
3A-II	変状が大きく、トンネル構造自体の安定に問題があり、 早急に対策 を必要とするもの。
2A-II	変状があり、それが進行して、トンネル構造自体の安定に問題が生じるため、 計画的に対策 を必要とするもの。
A-II	変状があり、将来的にトンネル構造自体の安定に問題が生じる可能性があると考えられ、 継続的な調査 または調査項目を追加し 再調査 を必要とするもの。
B-II	軽微な変状で、現状ではトンネル構造の安定に問題はなく、日常点検での注視を実施するもの。

対策



近畿地方整備局におけるトンネル管理の現状(1)

トンネルの調査を実施したか？



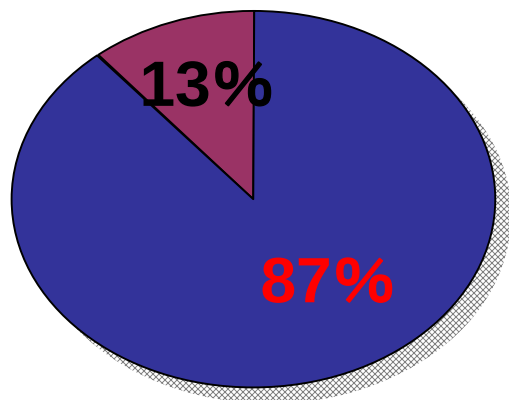
道路管理者に対するアンケート(近畿地方整備局管内、平成19年)

- ◆点検・調査という二段階方式で、調査の実施が実質的に困難である
- ◆点検が中心で、ある程度の健全性が判断されている

近畿地方整備局におけるトンネル管理の現状(2)

点検に対する課題はなにか？

“定期点検に対する課題は？”

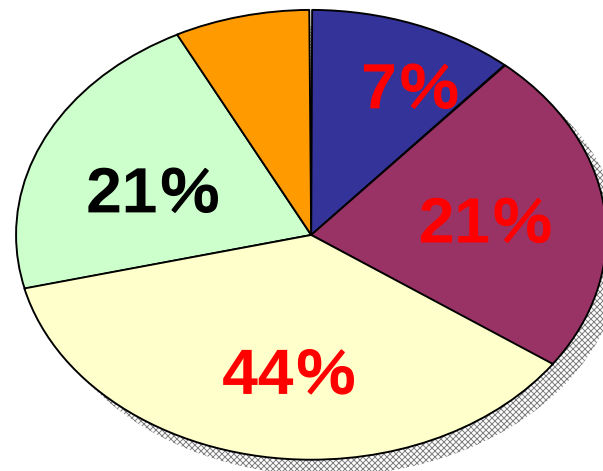


ある



ない

“その課題の具体的な内容は？”



点検費が高く頻繁に行えない



交通規制が伴い危険である



対策の時期がわからない

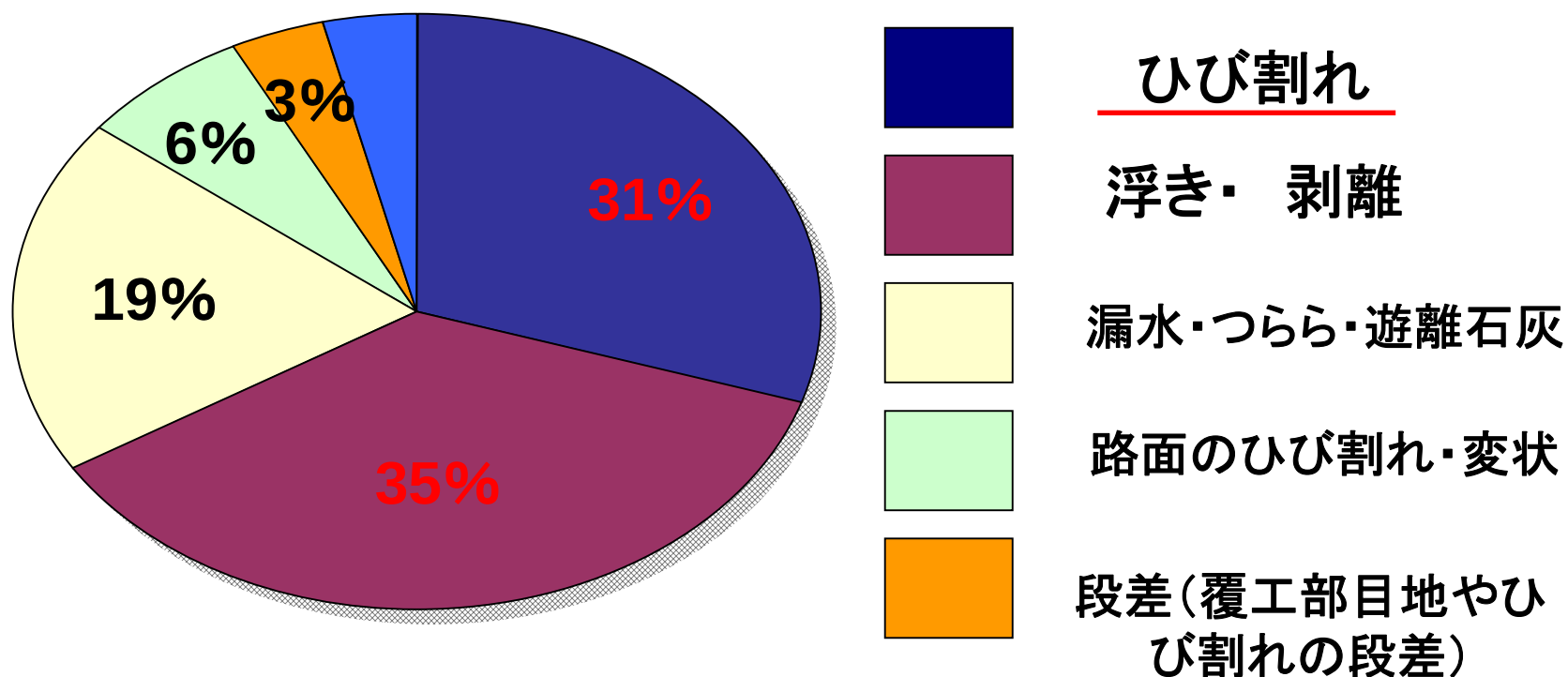


最新の状況がわからない



近畿地方整備局におけるトンネル管理の現状(3)

“損傷が多く発生し、注意しているものの損傷種別は？”



道路管理者に対するアンケート(近畿地方整備局管内、平成19年)

既往の健全性評価に関する文献調査

I

第三者影響を
誘発する変状

きっかけとなるひび割れ等



ひび割れの拡大, 劣化



◆ひび割れの閉合性が重要

ひび割れ等により3次元的に囲まれた状態

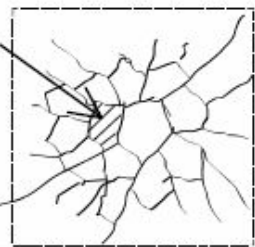
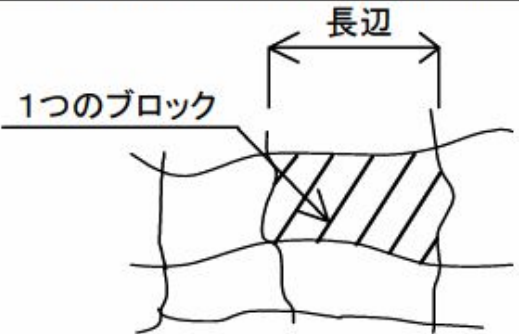
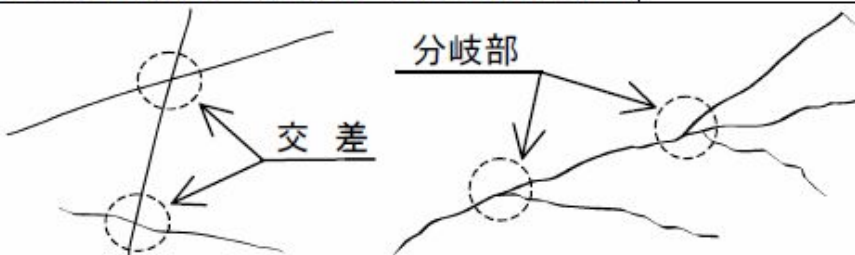


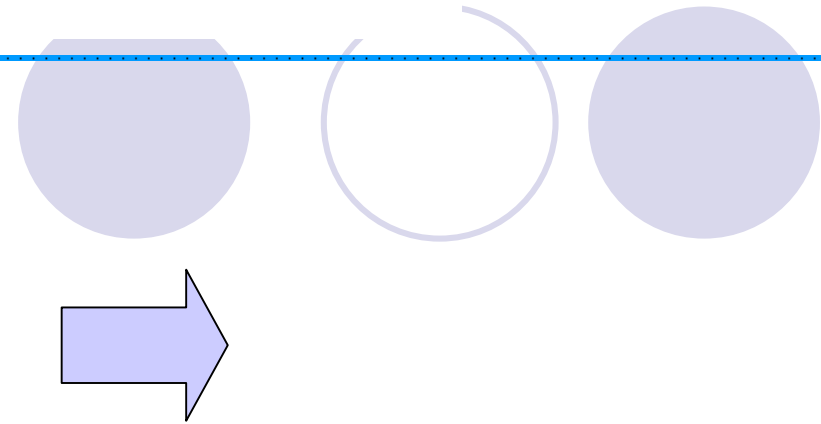
← 自重, 振動等

剥落



ひび割れパターンの定義

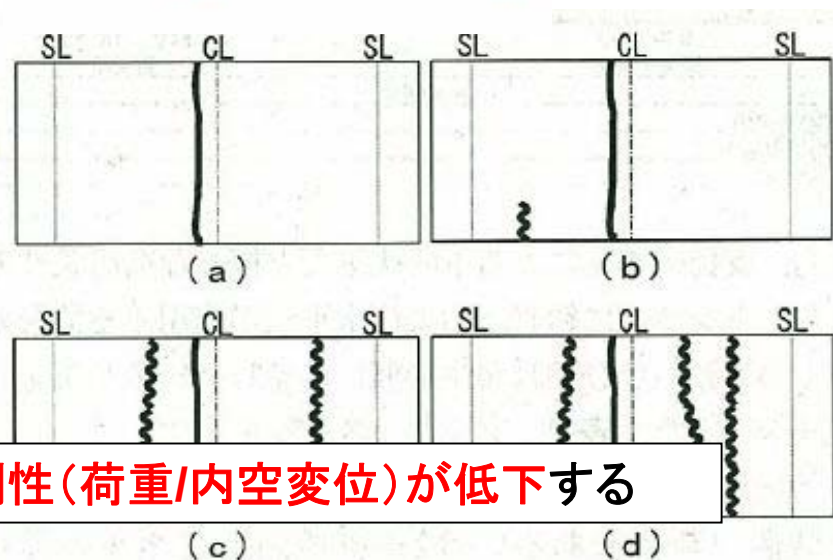
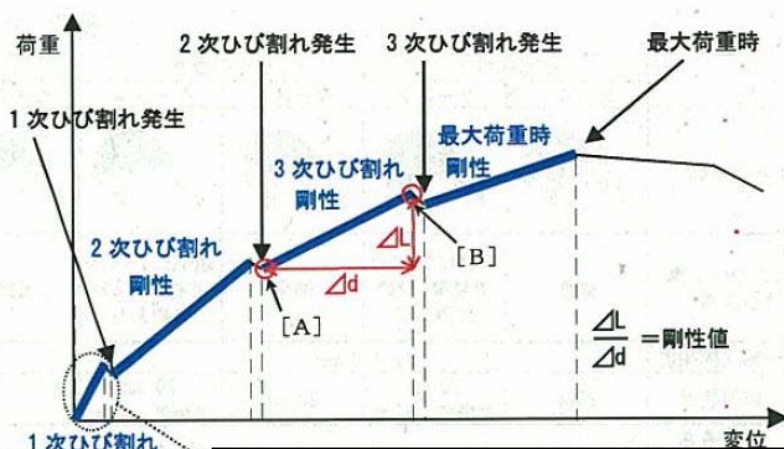
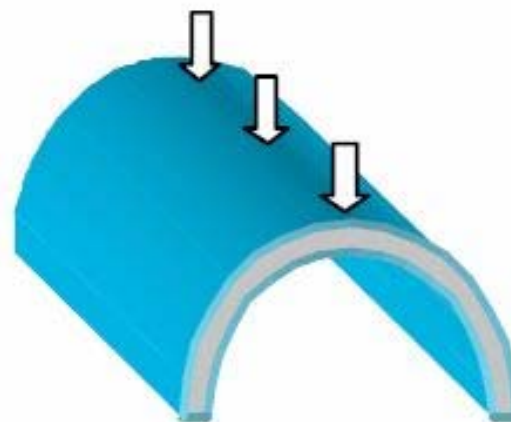
パターン図	
亀甲状	1つのブロック  【目安】 1つの閉合ブロックのサイズが100cm²以上を閉合型、100cm²未満を亀甲状.
閉合型	1つのブロック 長辺  縦断・横断・斜め方向ひび割れにより囲まれた状況で、長辺が1m未満を対象
交差・分岐	分岐部 交差  交差とは2本のひび割れが交差している状況. 分岐とは1方向ひび割れが、2方向または多方向に分かれる状況. 亀甲状と判断した交差・分岐は対象外とし、箇所数の合計で評価.



ひび割れの閉合性(ひび割れで囲われているかどうか)と密度を指標として評価する必要がある

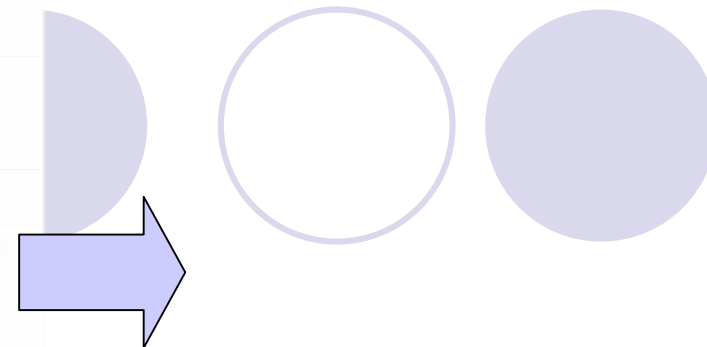
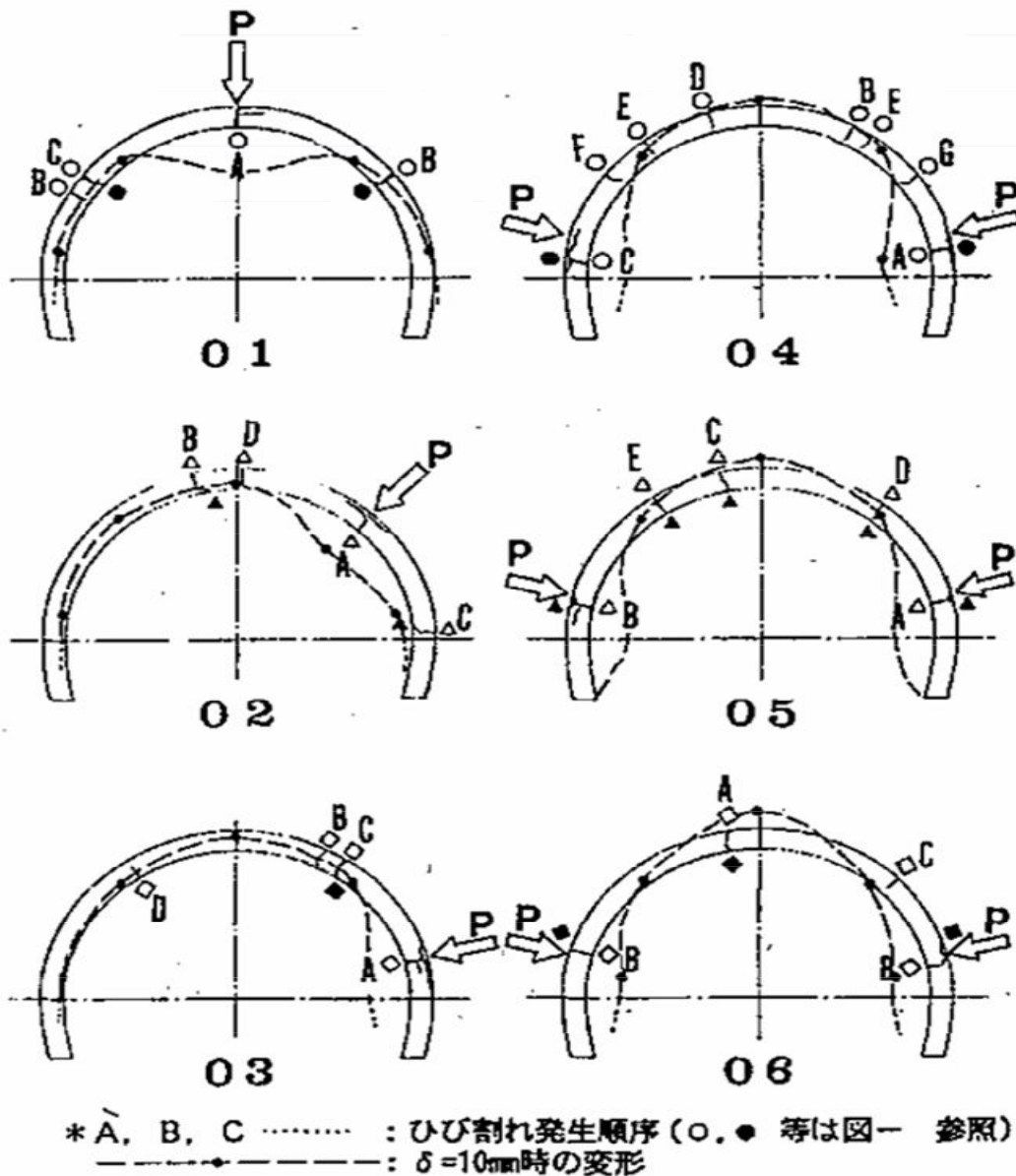
変状事例では即対応するなど、ひび割れの評価以前に処置を行う必要がある

Ⅱ 構造的な変状に対する健全性評価



外力作用の増大により、覆工の剛性(荷重/内空変位)が低下する

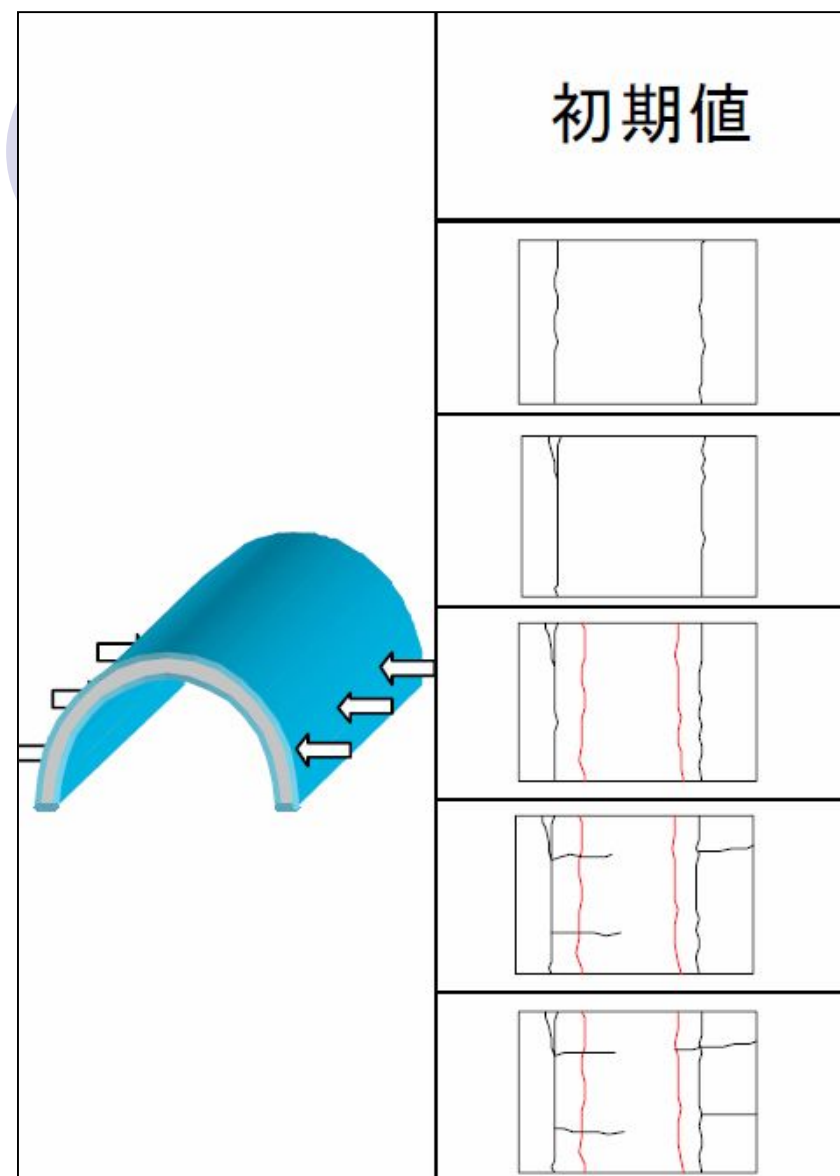
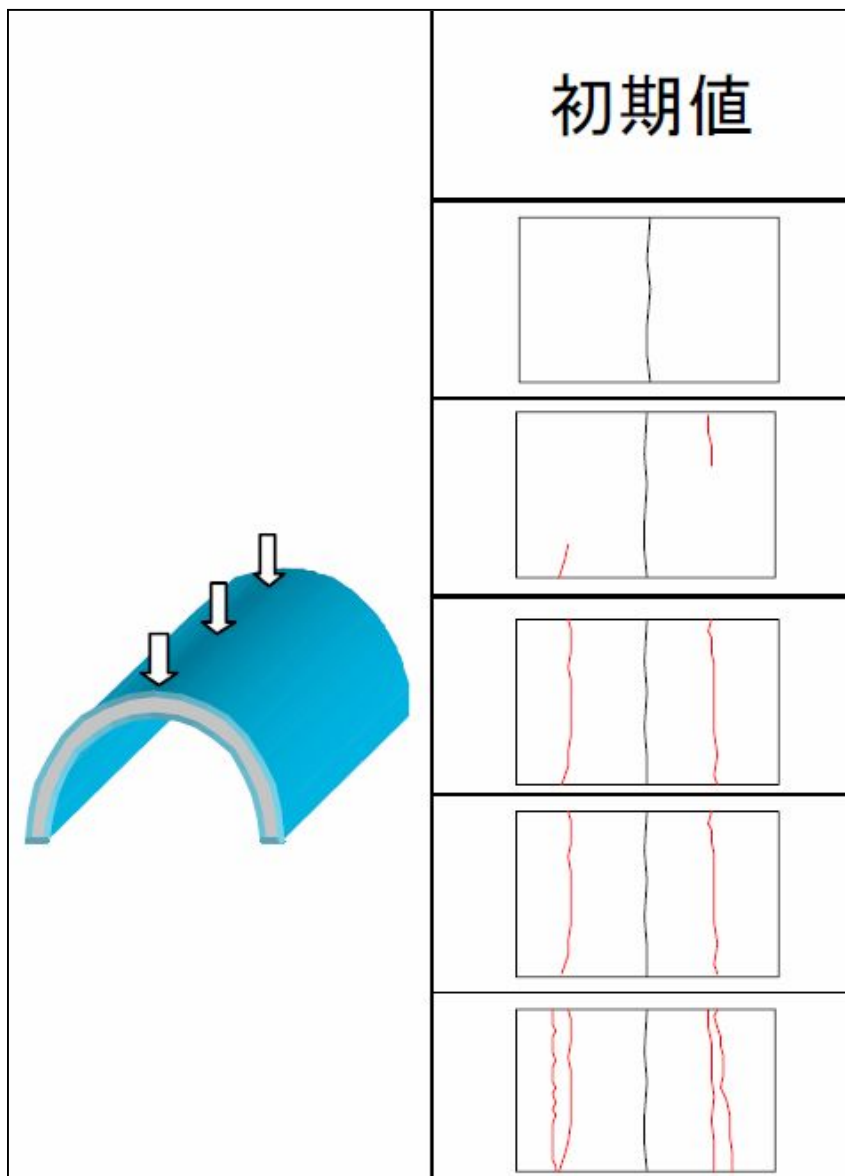
- ◆外力作用の増大により、覆工に生じるひび割れが進展する
- ◆外力作用の増大により、覆工の変位が進展する



トンネル覆工にかかる地圧(外力)は通常, 塑性圧, 緩み圧, 偏圧に分類される

それぞれの変形モードに応じてひび割れの位置、方向などが違ってくる

外力方向による変形モード



◆外力によってひび割れの形態が異なる

計測技術の調査

近接目視に代替する技術

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

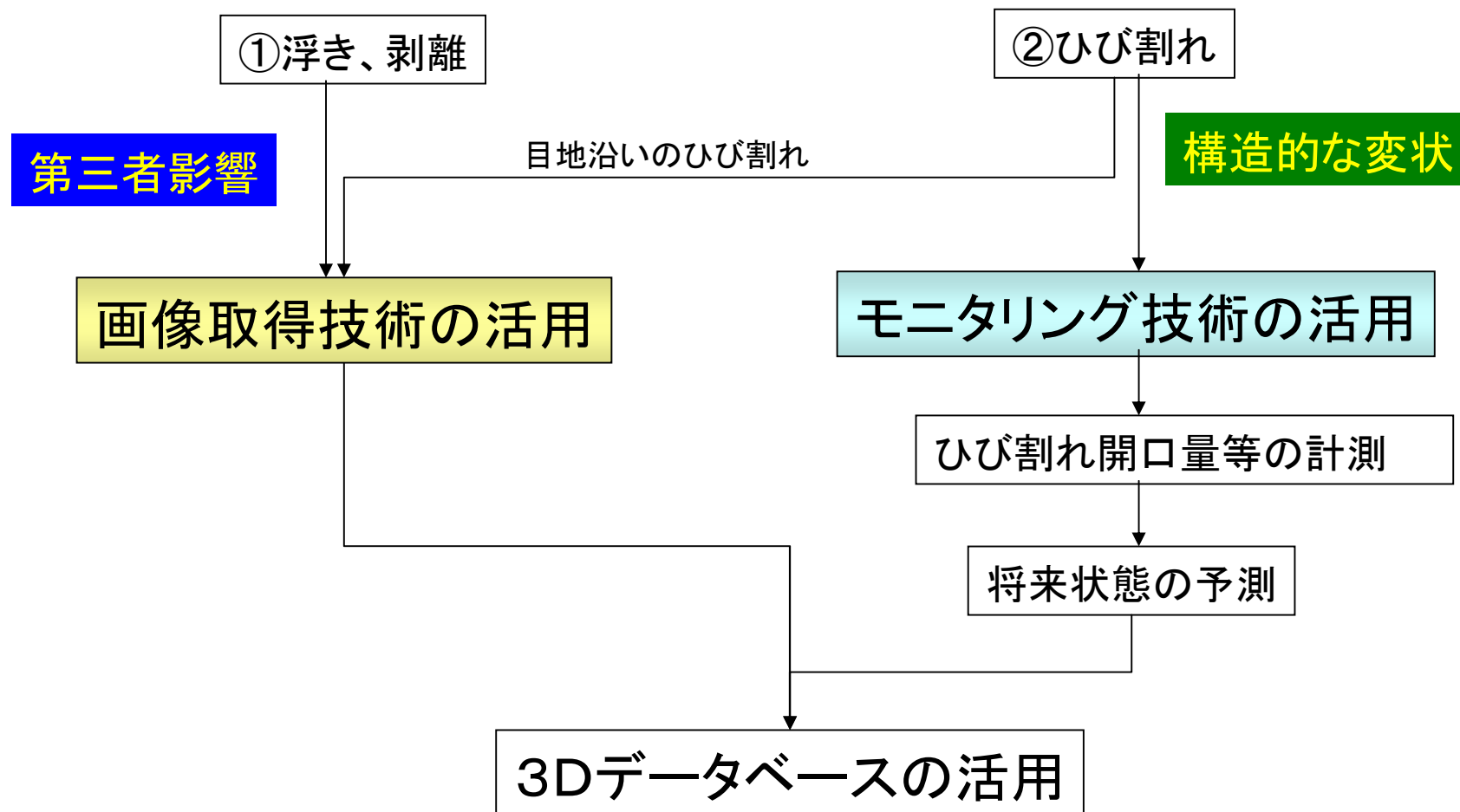
- ・ 簡便に（通行規制せず）変状を察知する
 - ひび割れパターン、目地周辺変状
 - 画像取得手法の適用

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を計測技術にあてはめる

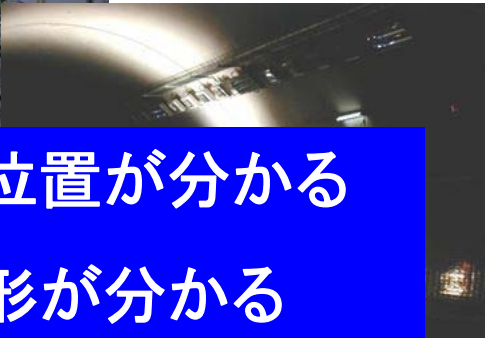


画像計測技術

近接目視に代替する技術

1、走行型画像計測 (Mobile Imaging System)

走行しながら連続画像撮影を行うことで、**覆工全延長**のデジタル展開画像の取得が可能

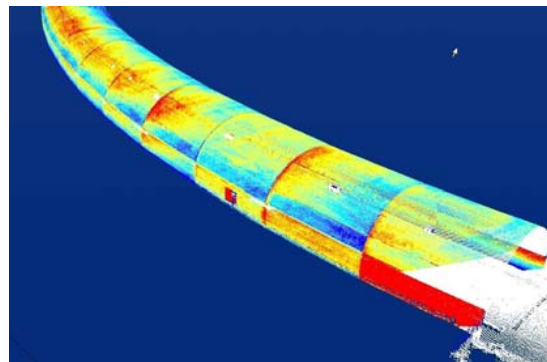


- ・ひび割れの位置が分かる
- ・ひび割れの形が分かる

安全かつ効率的

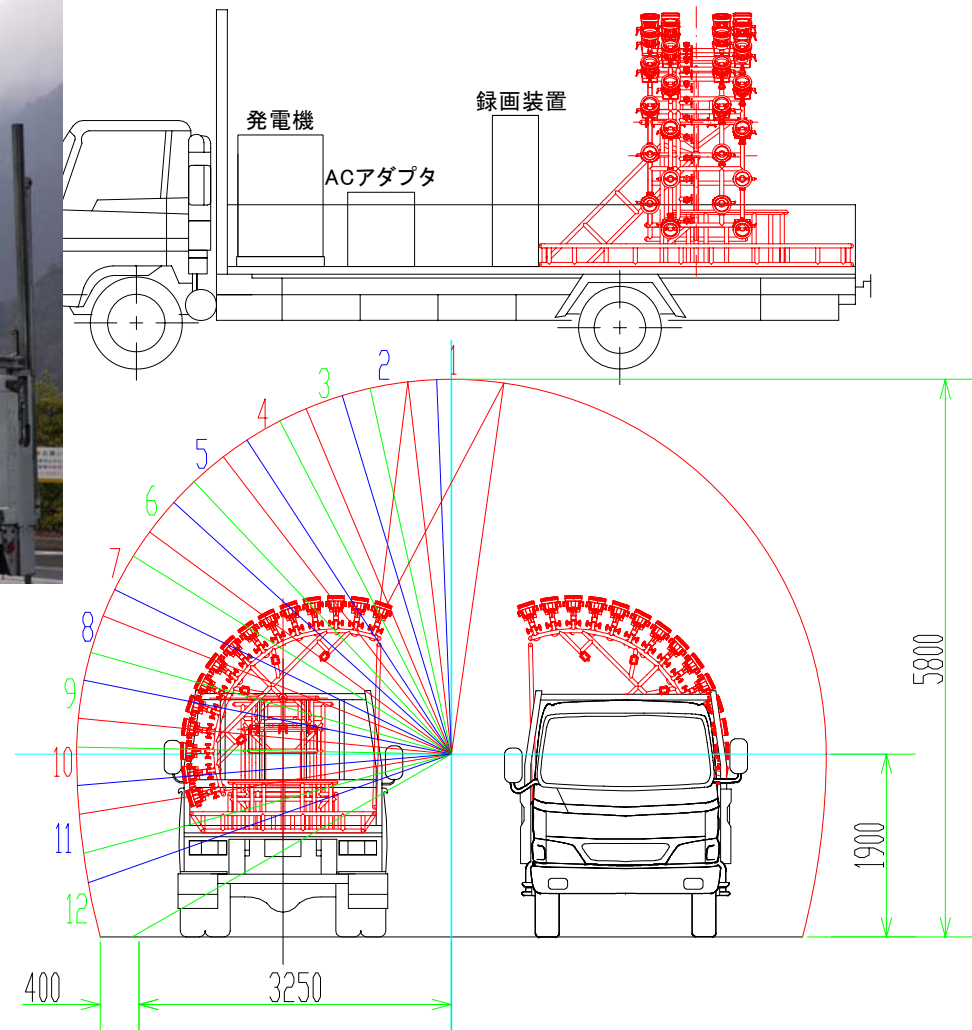
2、走行型レーザ計測 (Mobile Mapping System)

走行しながらレーザ点群計測が可能であり、**覆工全延長**の三次元座標の取得が可能

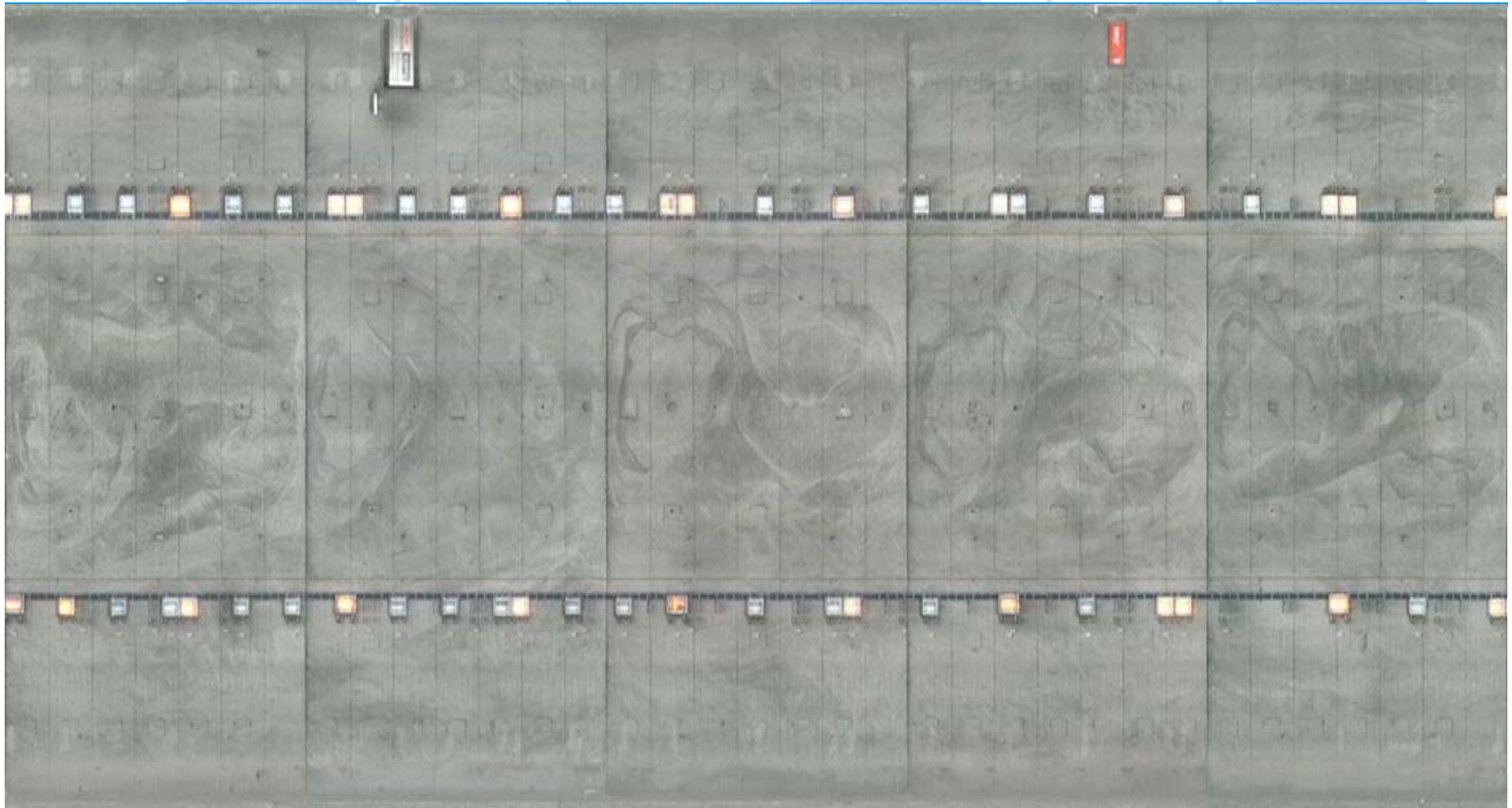


- ・覆工の変形(モード)が分かる

走行型画像計測 (Mobile Imaging System : MIS)



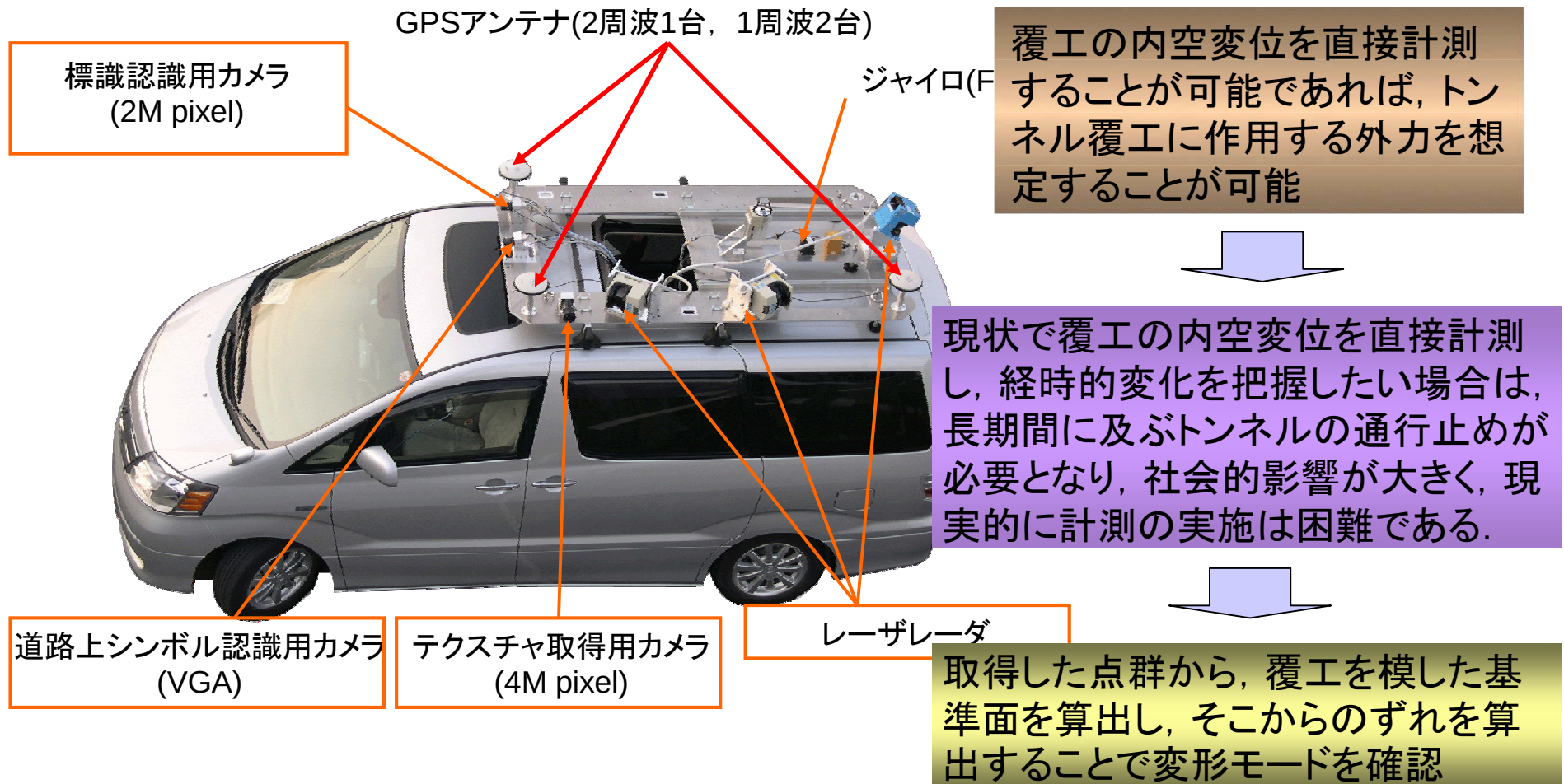
走行型画像計測(MIS)による画像



本画像により、ひび割れのような変状の有無だけでなく、漏水、遊離石灰等の判別や、避難誘導設備や消火設備などの判別などにも有効である。さらに、**走行速度5km/hでの最小分解能が0.1～0.2mm, 50km/hでも0.5～1.0mm程度**であることが示されており、ひび割れの検出要求(0.5mm程度)は十分に満たすものといえる。

走行型レーザ計測 (Mobile Mapping System : MMS)

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次元モデル等を取得出る走行計測車両
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。



走行型レーザ計測(MMS)の画像

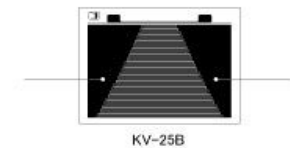
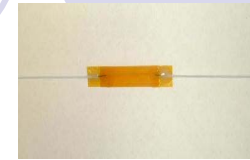
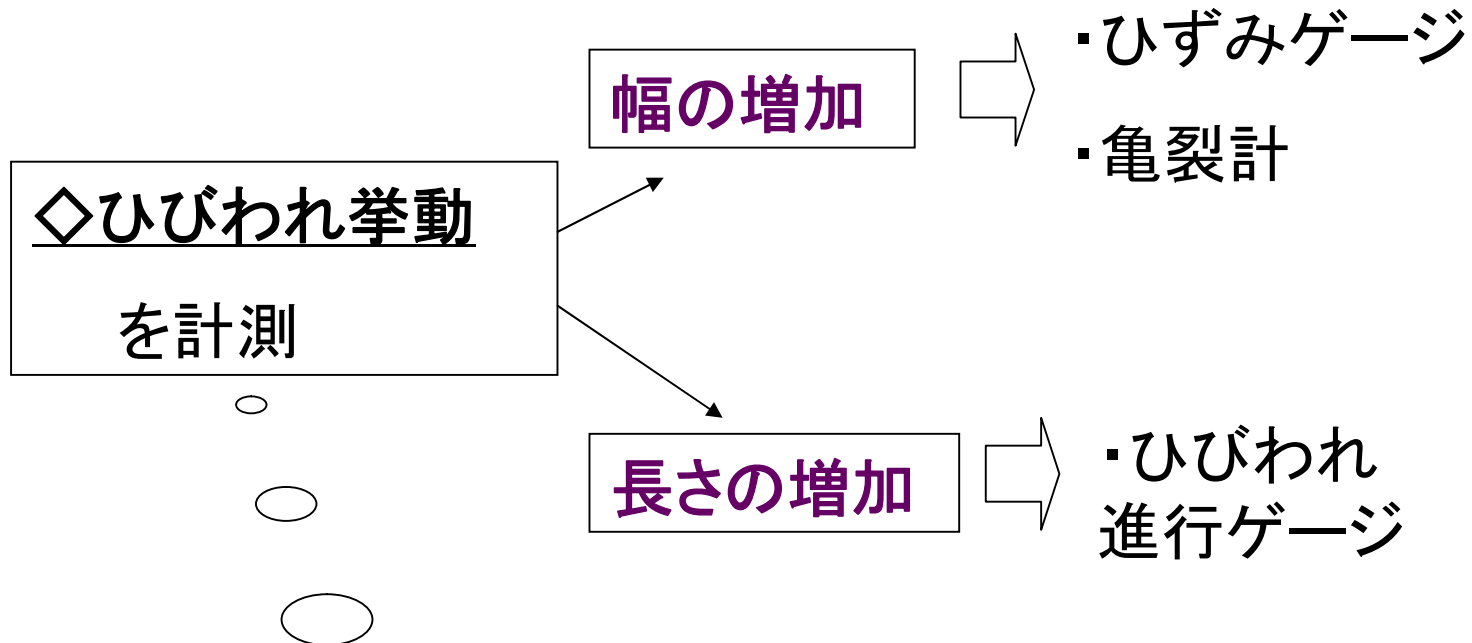


搭載しているレーザスキャナは、一秒間に13500点の計測が可能であり、**走行速度は70km/hまで可能**

モニタリング技術

ひずみゲージ、亀裂計 など

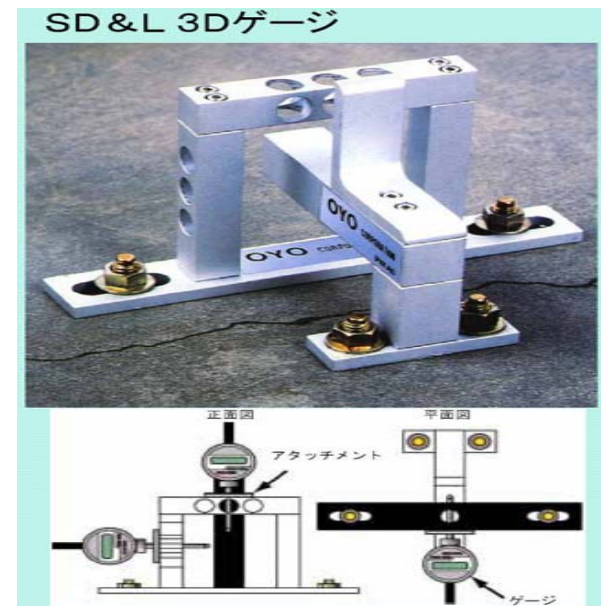
◆ひび割れ計測の種類(1)



検証として

内空断面計測、温度
周辺地盤での 傾斜計、地下水位など

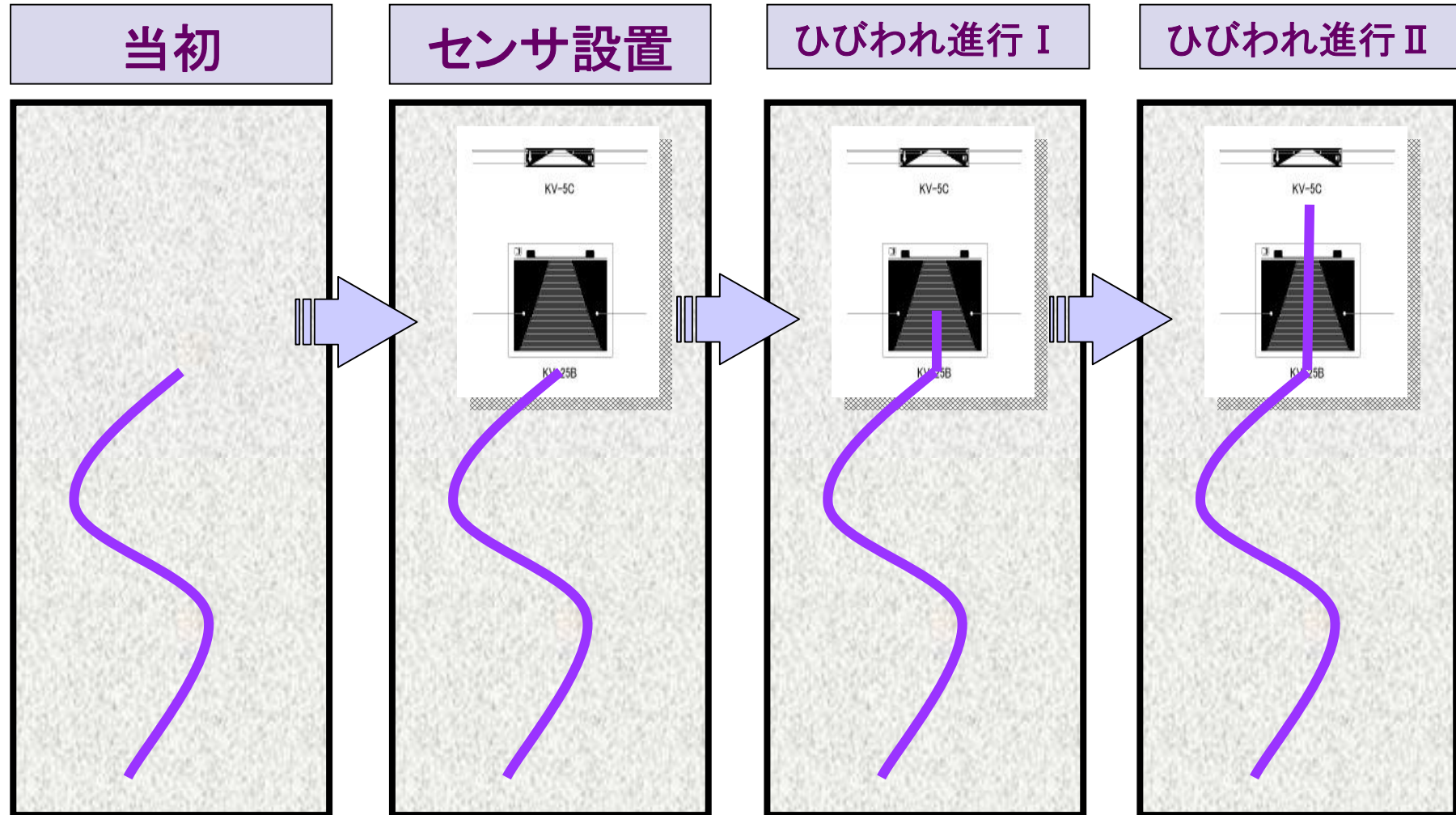
ひびわれ進行ゲージ



モニタリング技術

ひびわれ進行ゲージ

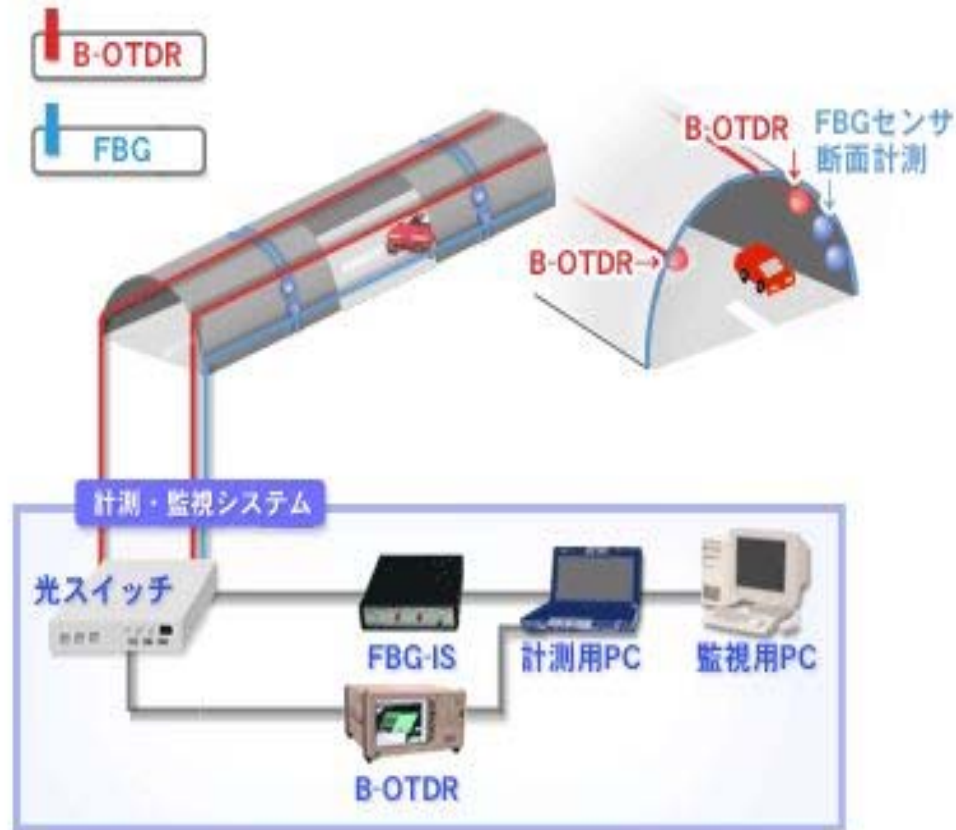
◆ひび割れ計測の種類(1)



モニタリング技術

光ファイバ遠隔モニタリング

◆ひび割れ計測の新技術(1)



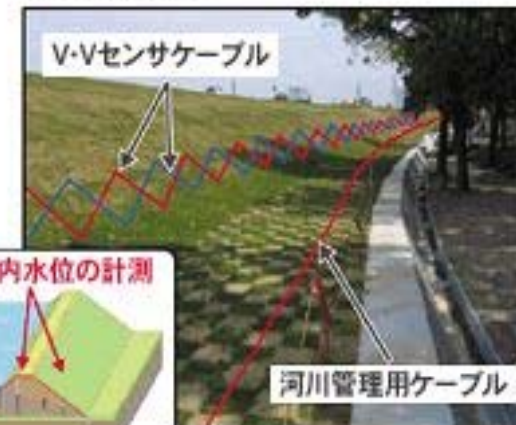
落雷やノイズなどの影響を受けず、安定した計測が実施できる。また、道路管理上懸念されるセンサの剥がれや落脱による第三者への被害の恐れも少ないといった利点がある。

モニタリング事例

変状／温度検知(トンネル)



堤体変状監視



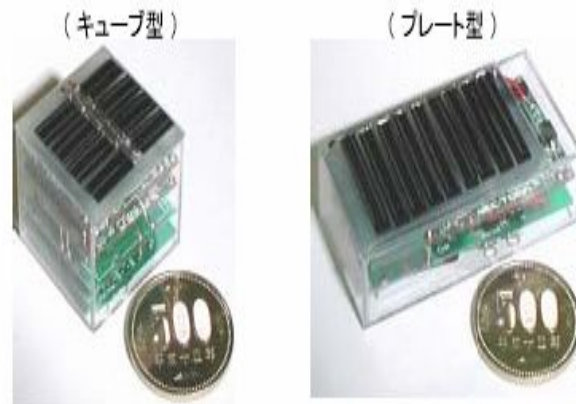
モニタリング技術

無線センサ

◆ひび割れ計測の新技术(2)

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）



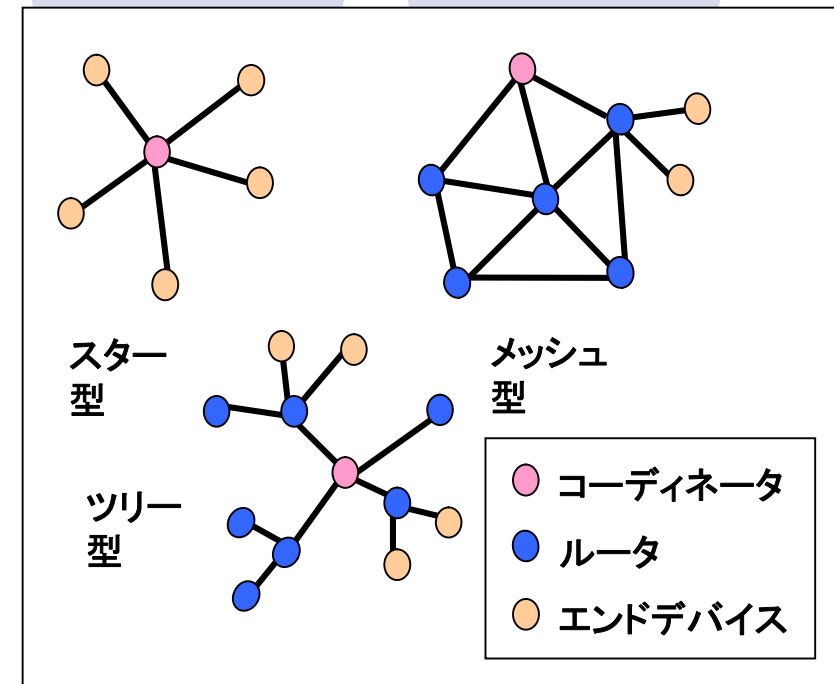
用途

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

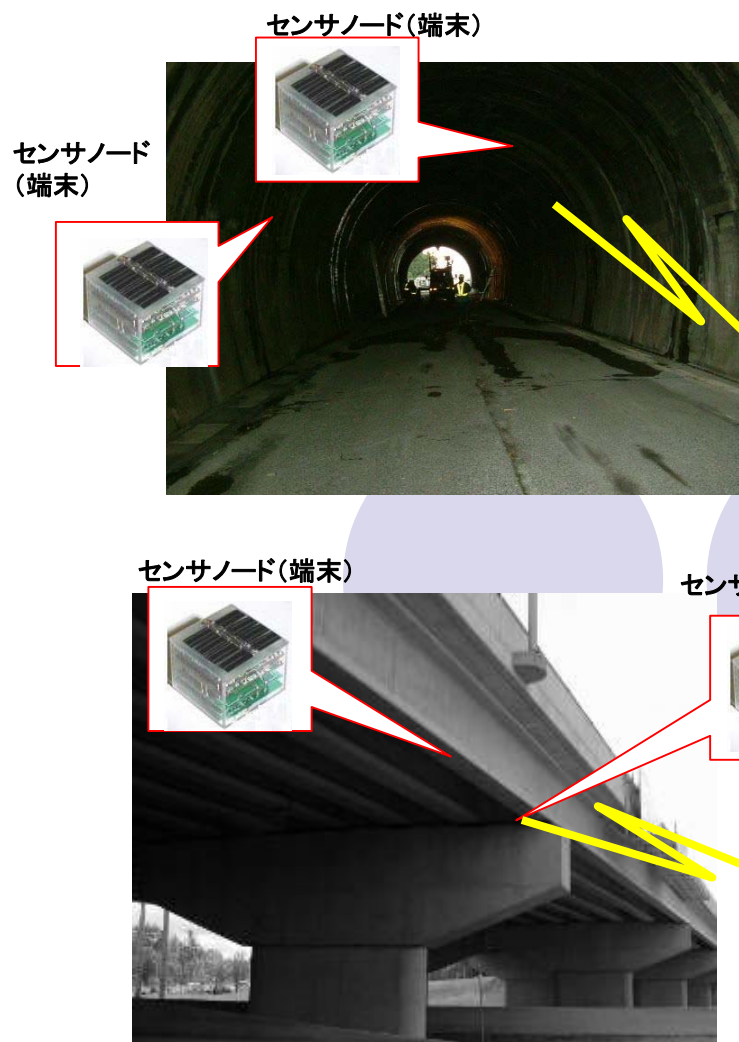


ZigBeeのネットワークポロジー

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)



等
公衆ネットワーク

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

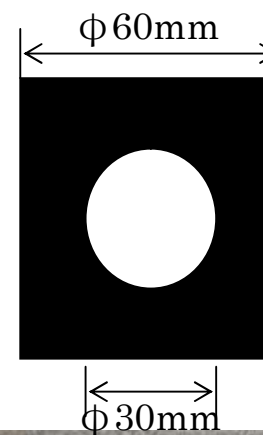
振動が閾値を超えました

モニタリング技術

精密写真計測

◆ひび割れ計測の新技術(4)

◆ターゲットの設置後全景



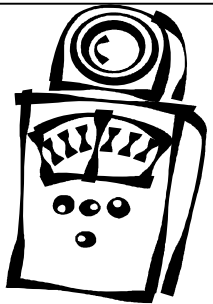
モニタリング技術

シーケンサとは？

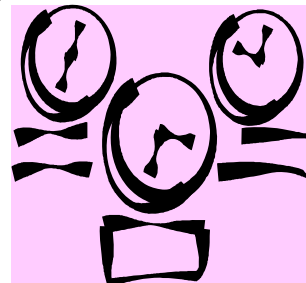
◆ひび割れ計測の新技术(5)

速い, 小さい, 賢い
FA(Factory Automation)機器

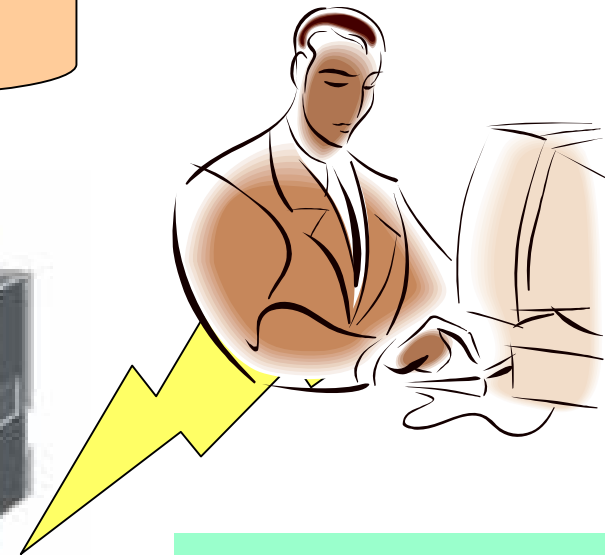
センサを動かす



データを集める



通信網を利用
して遠隔にて
データ取得



振り返って・・・適切な健全性評価手法とは？

現状の維持管理手法から、適切な健全性評価を行うには？

- ①簡単に健全性評価できること
- ②変状のうち特にひび割れ(幅, 本数, 漏水の有無, 場所)に着目すること
- ③第三者影響に関わるひび割れを適切に評価できること
- ④近接目視や打音検査などの替わりにより**効率的な新技術を導入**する

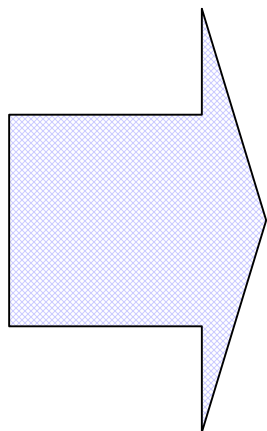
現状の健全性評価手法から、適切な健全性評価手法を行うには？

- ①構造的安定性は、覆工耐力による評価が可能
- ②覆工耐力は、ひび割れの形状と覆工の変形モードから、評価できる
- ③詳細な物性値(覆工厚, 地圧)等が測定されれば、より詳細な評価が可能
- ④第三者影響は、ひび割れの閉合性と密度に着目して剥落危険性を評価する

適切な健全性評価手法

3.適切な健全性評価手法の提案

本検討では、近畿地方整備局の維持管理手順を元にしており、計測技術として、走行型画像計測技術、及び走行型レーザ計測技術を導入したうえで、「定期点検」と「調査」の部分での改良を試みた。



①初回検査

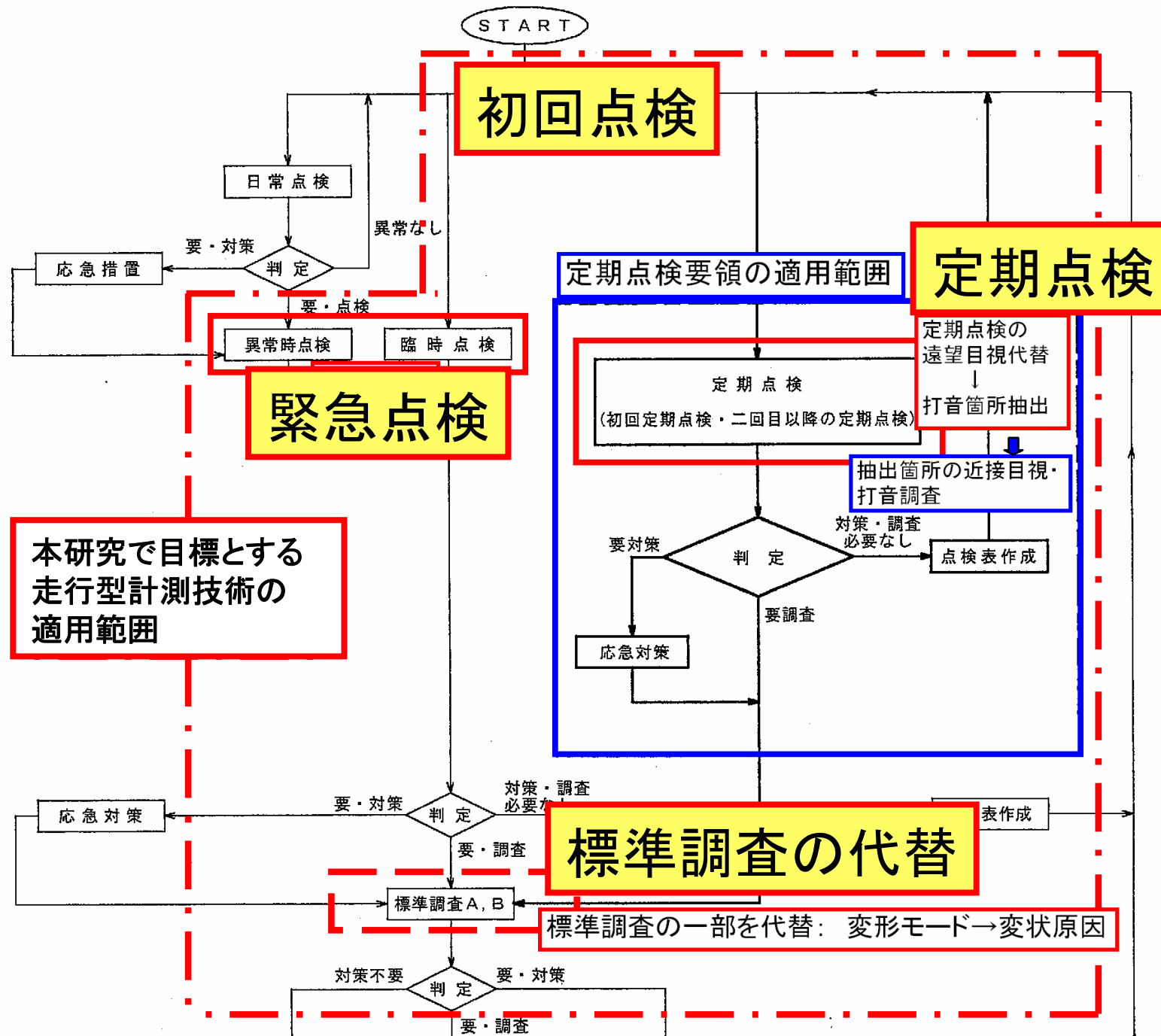
通常の近接目視・打音点検に加え、画像計測による覆工展開図の取得、およびレーザ計測による覆工形状計測を行い、変状が認められた場合の初期値として利用する。

②2回目以降の検査

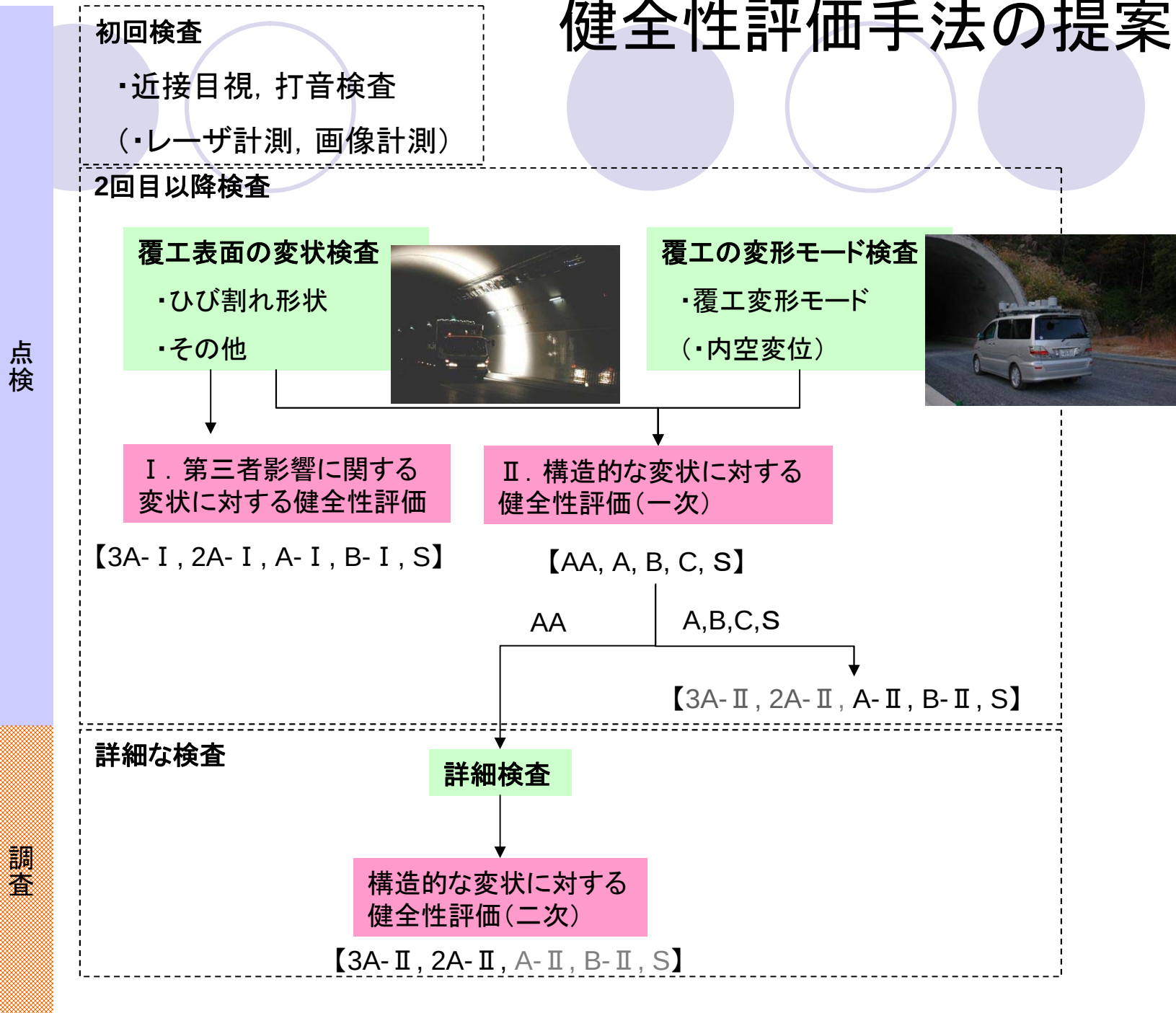
2回目以降の検査では、第三者影響に関する変状、及び構造的な変状に区分し、走行型画像計測技術による覆工表面の変状検査と走行型レーザ計測技術による覆工の変形モード検査の検査を行う。

③詳細検査

覆工背面空洞、覆工厚、内空変位の経時計測、背面地すべり調査などの詳細なデータを取得し、構造的な変状に対する健全性評価を行う。



健全性評価手法の提案



I. 第三者影響に対する健全性評価

step.1 即対処すべき変状の判定

- ・幅2mm程度のひび割れが長さ3m以上ある
- ・幅3mm程度以上のひび割れがある
- ・打継ぎ目三日月状のひび割れがある
- ・ジェットファン・標識など添加施設周辺に放射状のひび割れがある
- ・モルタル系の補修材による季節の対応箇所がある
- ・豆板・ジャンカなどがあり、浮き・剥落の危険性がある
- ・既存の点検データより損傷が認められ、落下の危険性がある

step.2 ひび割れ閉合性による評価

変状箇所の評価

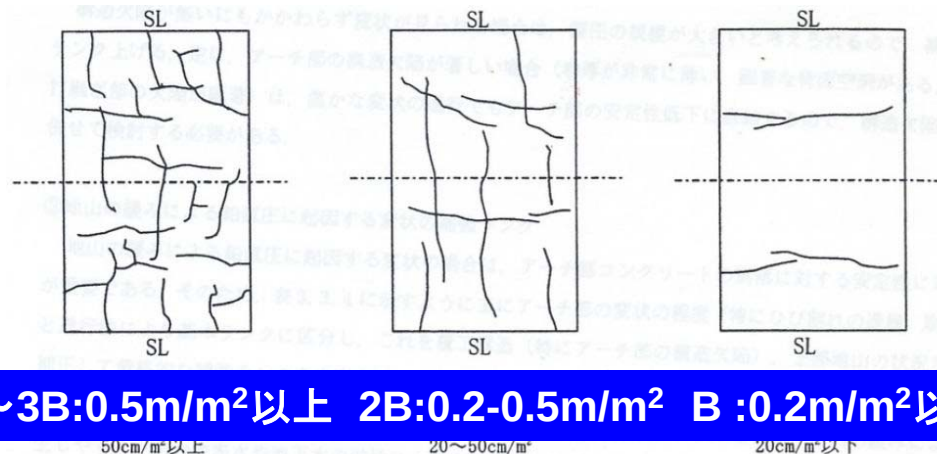
4A～3A: 閉合箇所があり、剥落の危険性が高くすぐに対処すべき

2A～ A: 剥落に繋がる閉合に発展するひび割れが存在し、観察等の対処をすべき

S: 現状では剥落に繋がるひび割れは存在しない

Step.3 ひび割れ密度による評価

スパンの評価



なし

4B～3B: 0.5m/m²以上 2B: 0.2-0.5m/m² B : 0.2m/m²以下 S : 0m/m²

step.4 覆工部の空隙の有無による評価

走行型の空隙を撮影できる装置が必要 (熱赤外走行、打音走行車両)

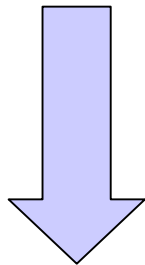
Ⅱ. 構造的な変状に対する健全性評価

1. 走行型計測技術で計測できる範囲での評価を下す

→ **外力による影響**が深刻かどうか？

(Ⅱ. 構造的な変状に対する健全性評価(一次)) 【AA, A, B, C, S】

レーザ (内空変形モード)	傾向あり 	傾向あり	傾向なし	傾向なし
画像 (ひび割れ形状)	傾向あり 	傾向なし	傾向あり	傾向なし
判定	AA, A	B	C	S



トンネルの選別ができる

2. 必要に応じて詳細調査, モニタリングを行う

(Ⅱ. 構造的な変状に対する健全性評価(二次))

【3A-Ⅱ, 2A-Ⅱ, A-Ⅱ, B-Ⅱ, S】

覆工変形モード	○		○	×	×
ひび割れ形状	○		×	○	×
評価	AA	A	B	C	S

AA: ひび割れと覆工変形モードの関係性について、既往の覆工模型実験結果との整合性があると判断され、かつ、ひび割れが複数個所に発生しているため、その進行が一次ひび割れ以降であると考えられる場合
あるいは、

ひび割れと覆工変形モードの関係性について、既往の覆工模型実験結果との整合性は無いと判断されるが、ひび割れが複数個所に発生しているため、外力が複合的に作用していると考えられる場合

A : ひび割れと覆工変形モードの関係性について、既往の覆工模型実験結果との整合性があると判断されるが、ひび割れが未発達であるため、その進行が一次ひび割れ以前までにあると考えられる場合

B : 覆工は変形しているが、覆工表面にひび割れが生じておらず、外力の作用が初期段階未満(一次ひび割れ未満)と考えられる場合

C : 覆工の変形が確認されず、覆工表面にひび割れが発生している場合で、温度変化や材料劣化等による覆工損傷と考えられる場合

S : 覆工の変形が確認されず、また覆工表面のひび割れも見られず、外力が作用していないと考えられる場合

構造的な変状に対する健全性評価

判定区分Ⅱ	判定の内容	評価区分	
3A-Ⅱ	変状が大きく、トンネル構造自体の安定に問題があり、 早急に対策 を必要とするもの。		
2A-Ⅱ	変状があり、それが進行して、トンネル構造自体の安定に問題が生じるため、 計画的に対策 を必要とするもの。		
A-Ⅱ	変状があり、将来的にトンネル構造自体の安定に問題が生じる可能性があると考えられ、 継続的な調査 または調査項目を追加し 再調査 を必要とするもの。		A
B-Ⅱ	軽微な変状で、現状ではトンネル構造の安定に問題はなく、日常点検での注視を実施するもの。		B
			C,S

詳細検査

〇トンネルへの適用

4. 〇トンネルへの適用

◆〇トンネル坑口部(北側)



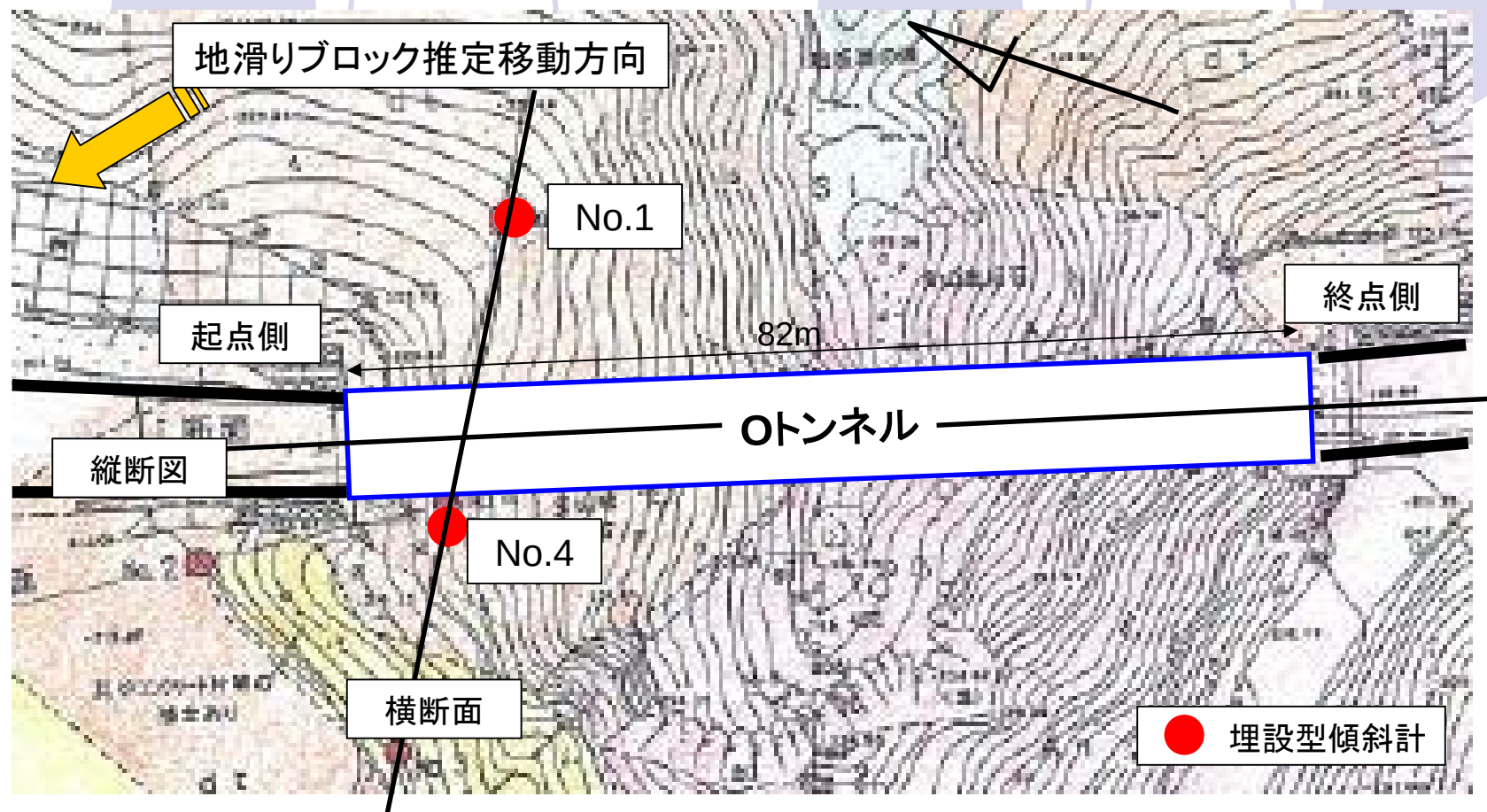
背面地山に地すべりが発生している

〇トンネルをモデルケースとして、今回提案した健全性評価手法の適用性について検討を行った。

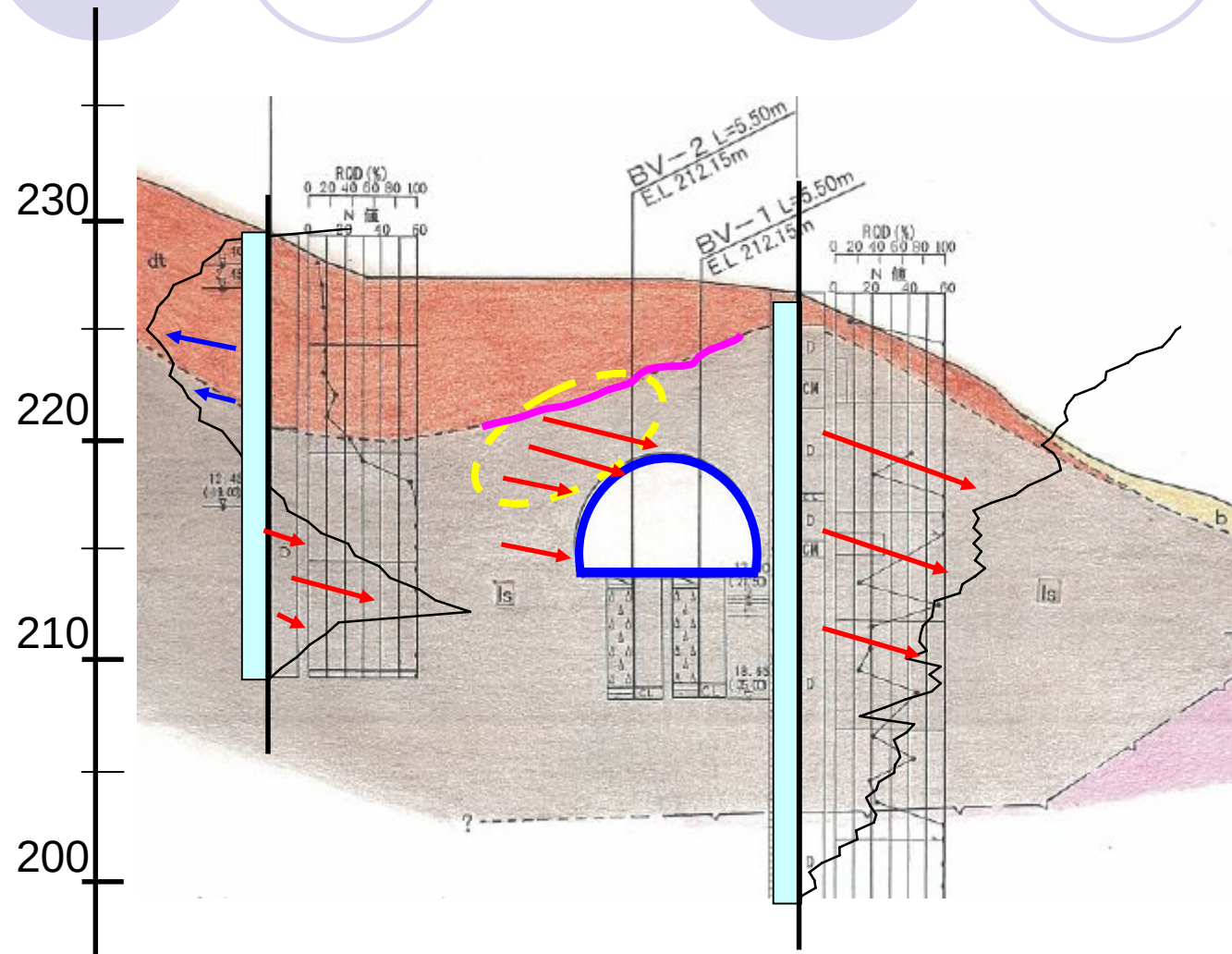
◆〇トンネル概要

- ・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

平面図



横断図



(延長:28.6m)



1000000

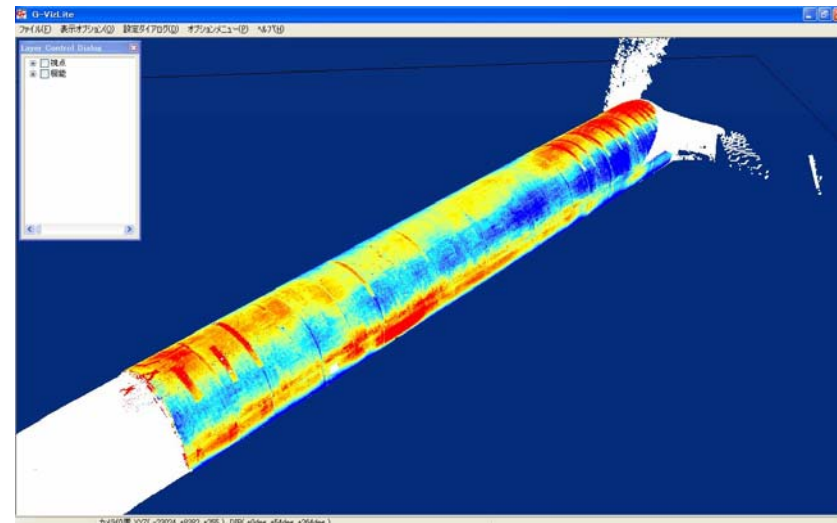
〇トンネルへの適用例

トンネル の健全性を判定する

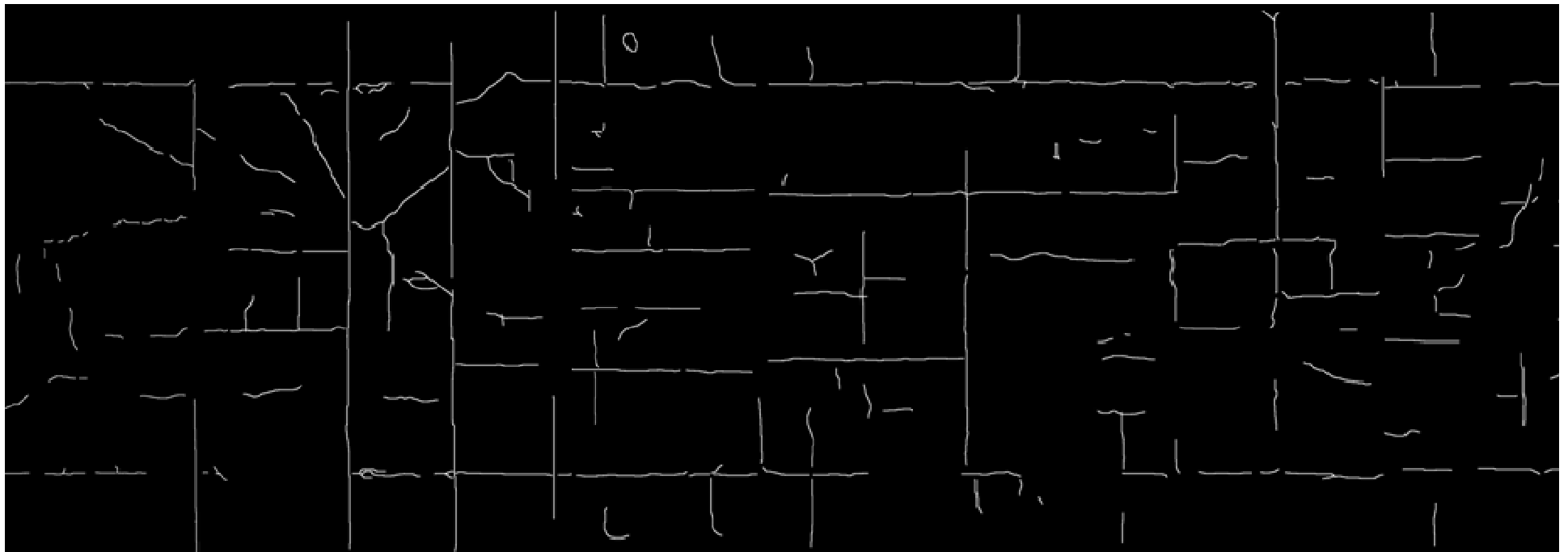
1. 走行型画像計測



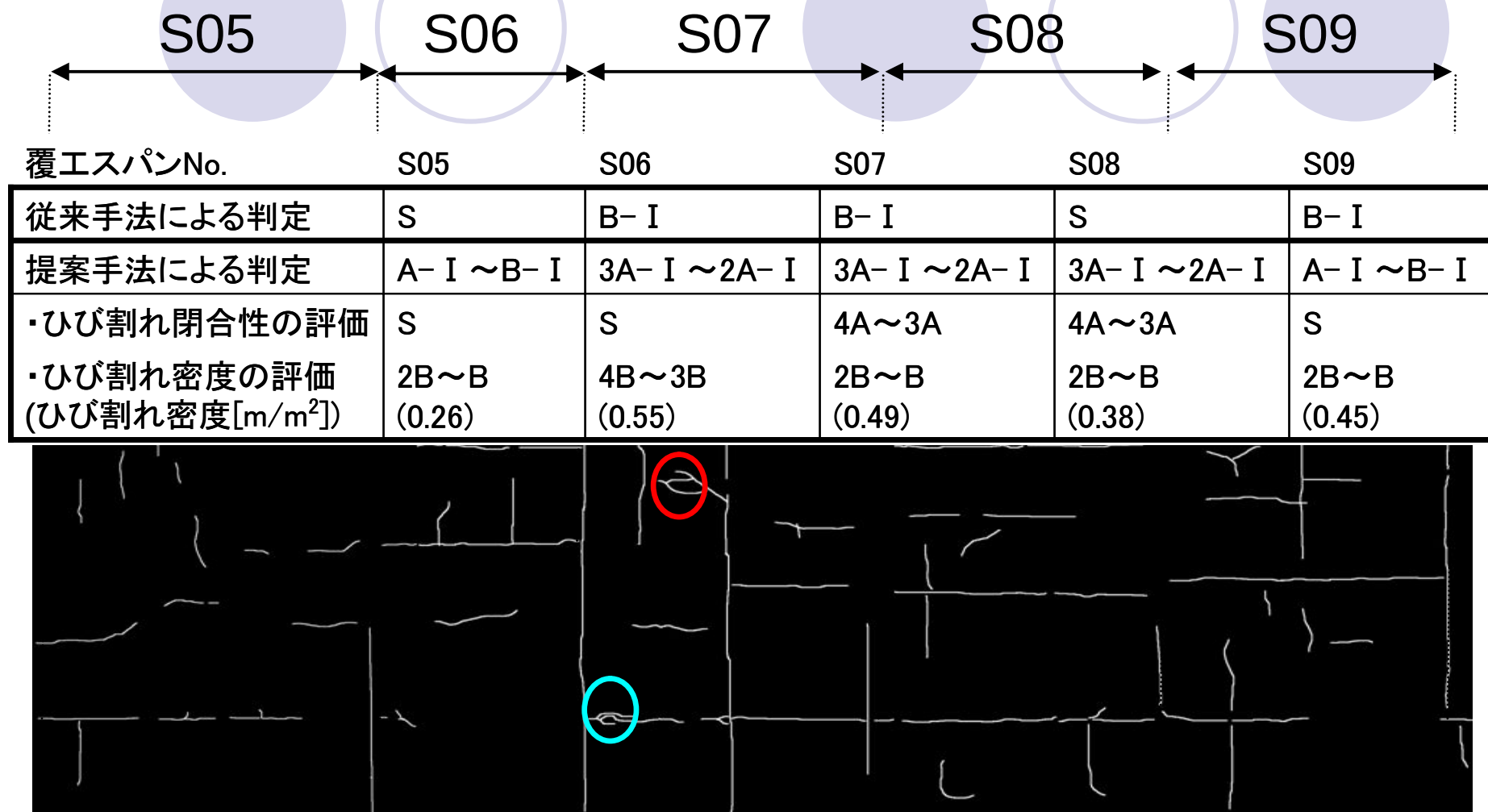
2. 走行型レーザ計測



画像計測の結果

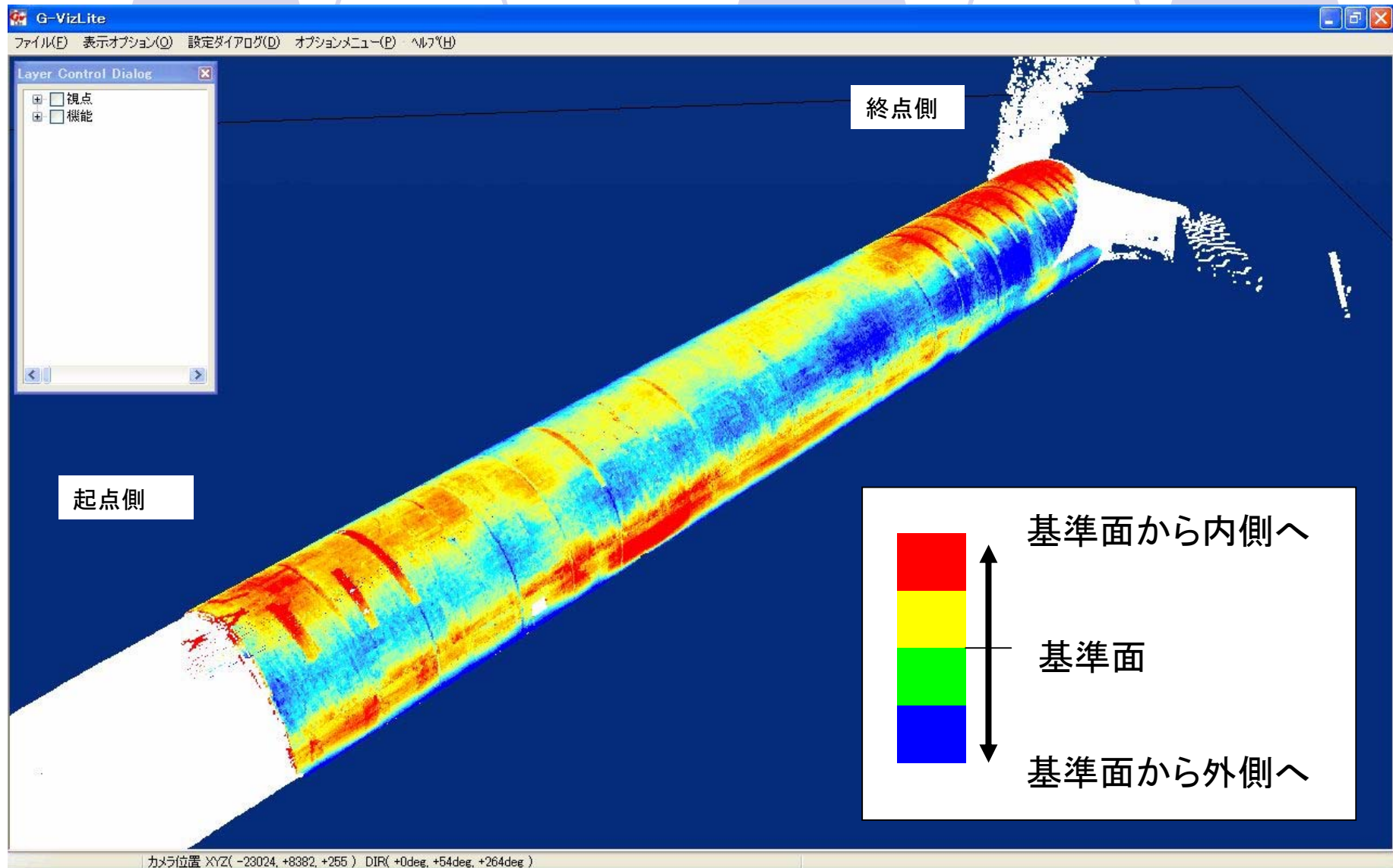


第三者影響に対する健全性評価

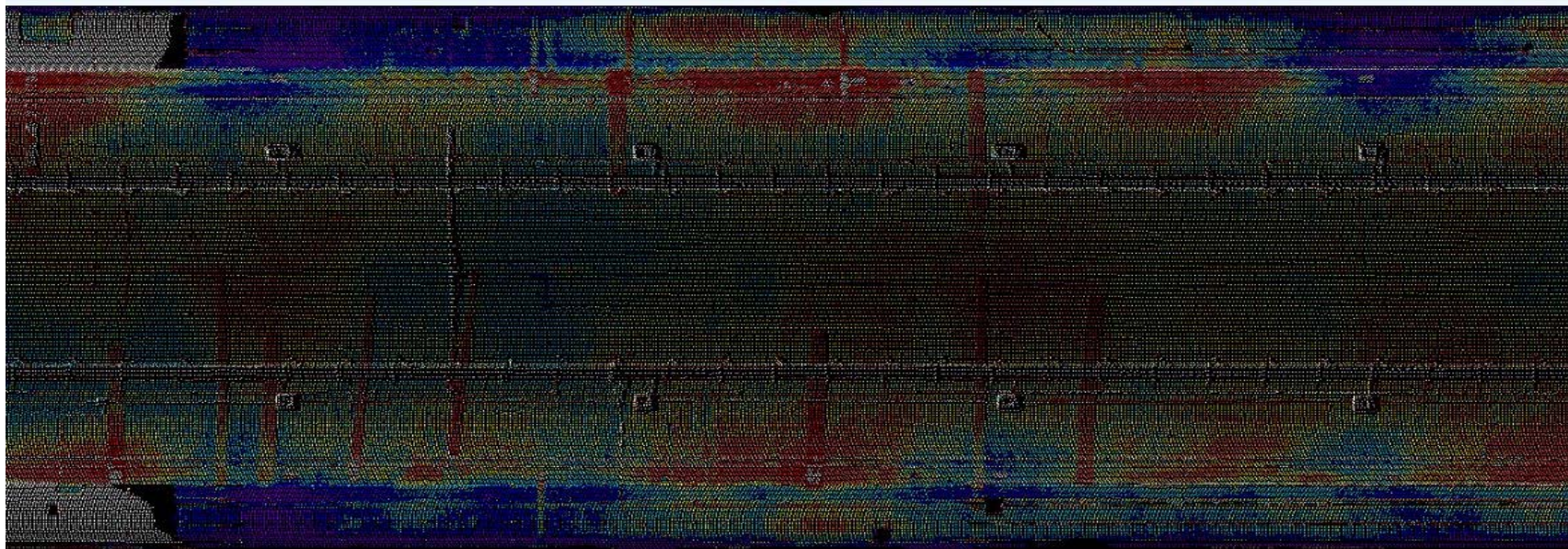


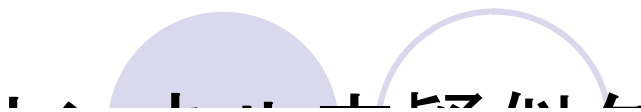
- ・閉合があると判定された箇所を赤○で示す
- ・閉合はしていないが、閉合に発展しそうな箇所として青○を示す

走行型レーザ計測の結果

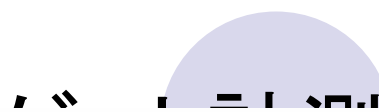


トンネル断面レーザ連群（色分け）



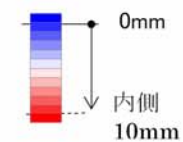


10km/h走行時



色の凡例

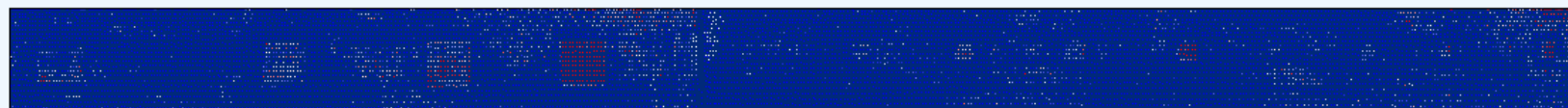
(ターゲット部分)



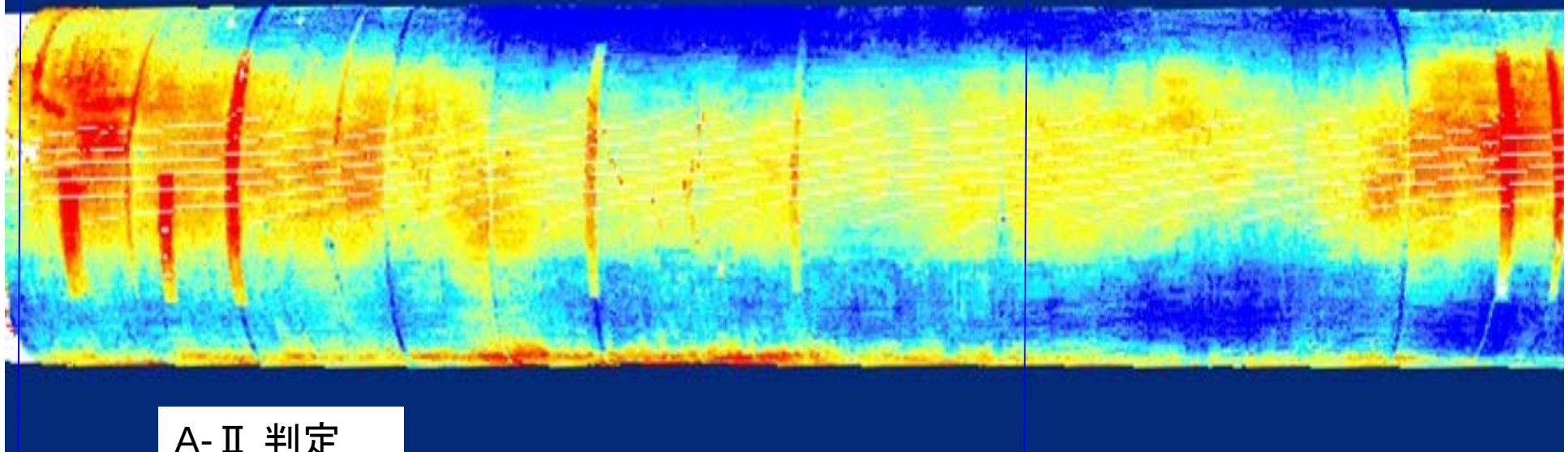
50 cm□: 板厚1mm、2mm、5mm、10mm

20cm□: 板厚1mm、2mm、5mm、10mm

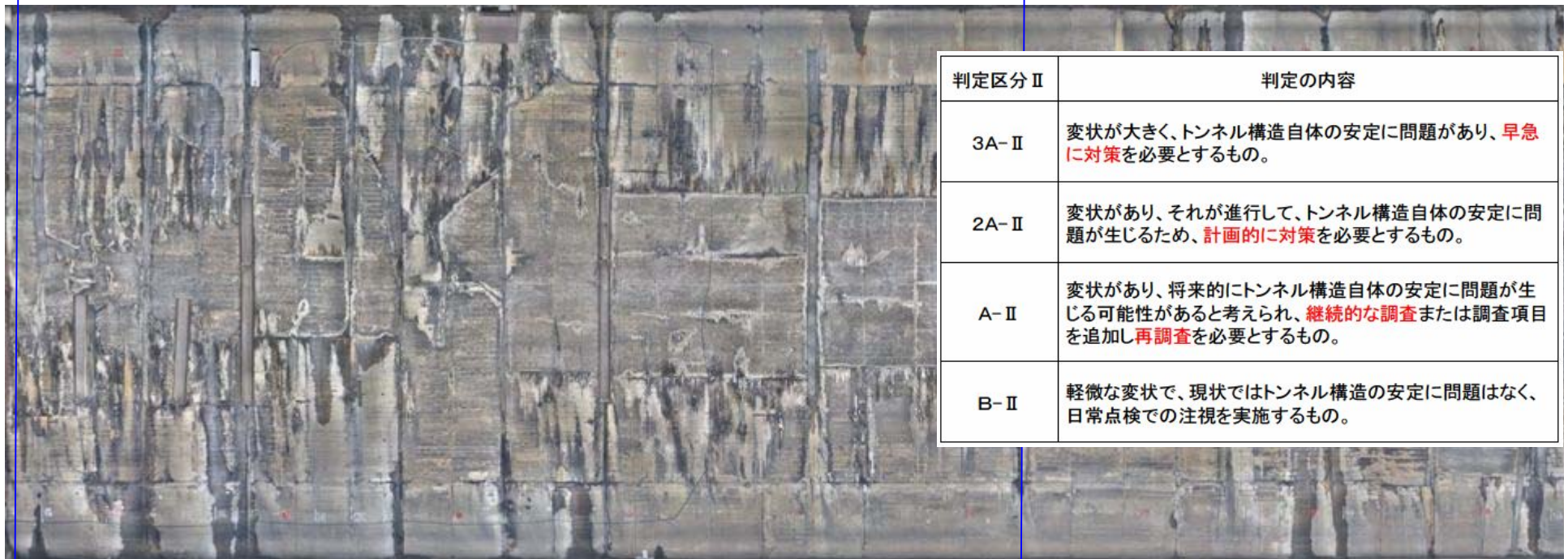
10cm□: 板厚1mm、2mm、5mm、10mm



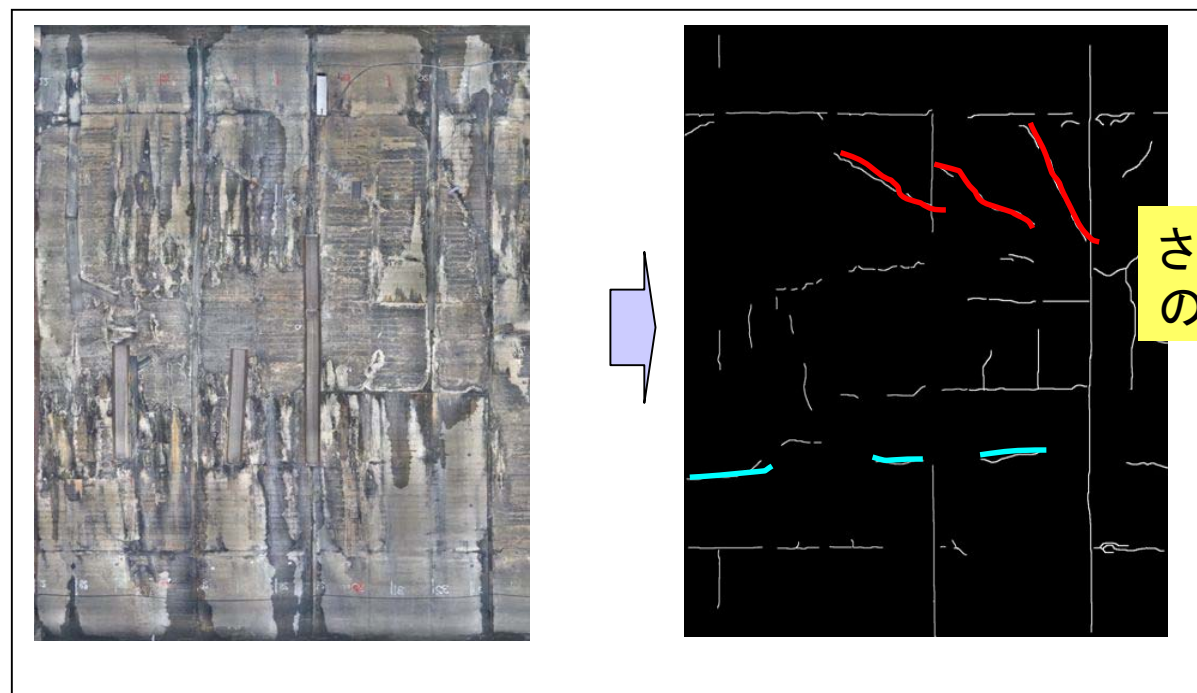
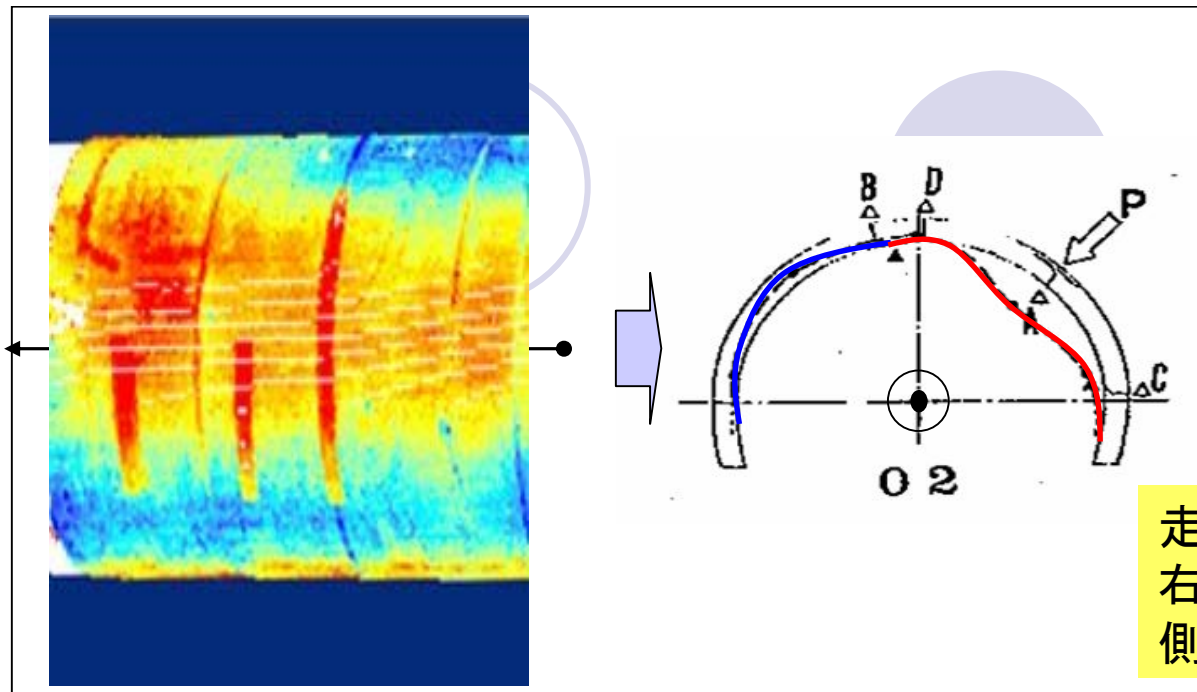
走行型レーザ計測による健全性評価



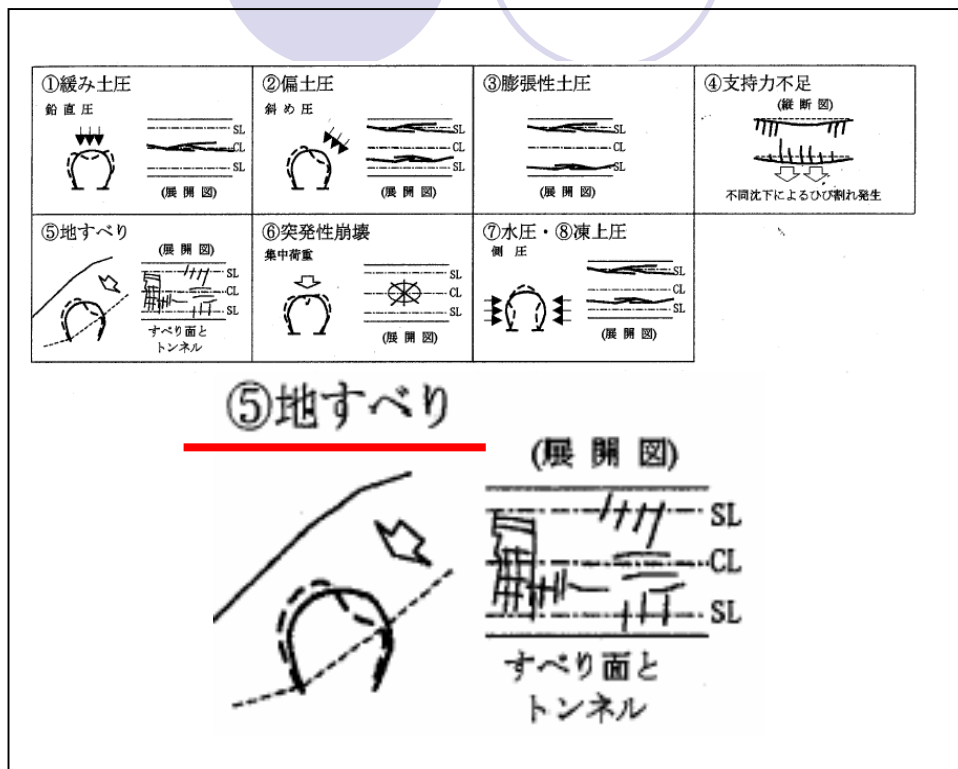
A- II 判定



判定区分Ⅱ	判定の内容
3A-Ⅱ	変状が大きく、トンネル構造自体の安定に問題があり、 早急に対策 を必要とするもの。
2A-Ⅱ	変状があり、それが進行して、トンネル構造自体の安定に問題が生じるため、 計画的に対策 を必要とするもの。
A-Ⅱ	変状があり、将来的にトンネル構造自体の安定に問題が生じる可能性があると考えられ、 継続的な調査 または調査項目を追加し 再調査 を必要とするもの。
B-Ⅱ	軽微な変状で、現状ではトンネル構造の安定に問題はなく、日常点検での注視を実施するもの。



構造的な変状に対する健全性評価



Ⅱ. 構造的な変状に対する健全性評価 (一次)

AA:

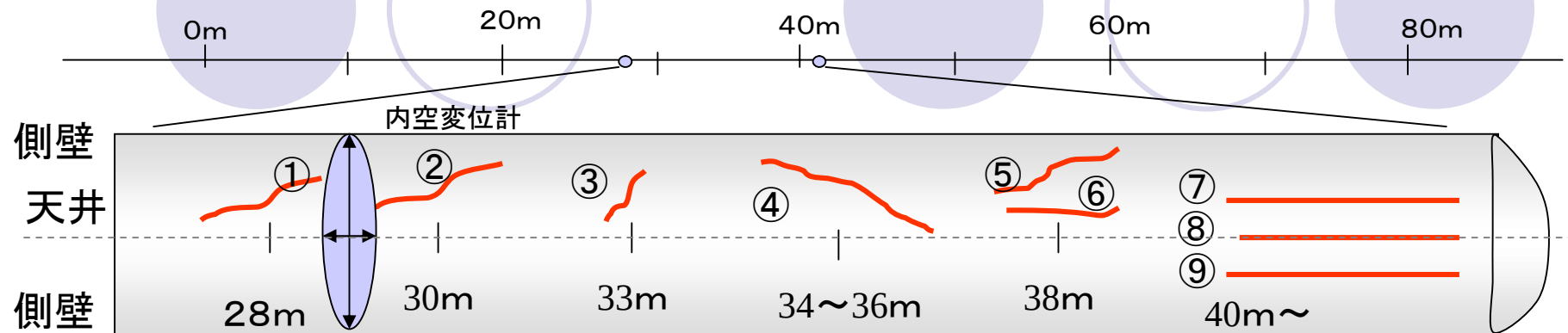
ひび割れと覆工変形モードの関係性について、既往の覆工模型実験結果との整合性があると判断され、かつ、ひび割れが複数個所に発生しているため、その進行が一次ひび割れ以降であると考えられる場合

3A-Ⅱ～2A-Ⅱ
 詳細調査へ

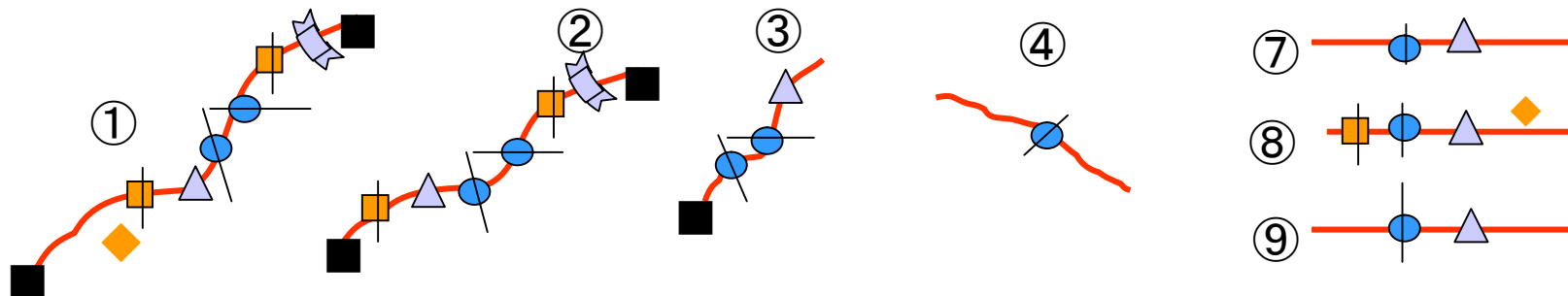
従来手法での評価
 A-Ⅱ
 (S05,S06)

モニタリング技術の適用

トンネルセンサー設置位置



	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		



センサ設置状況

トンネル 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

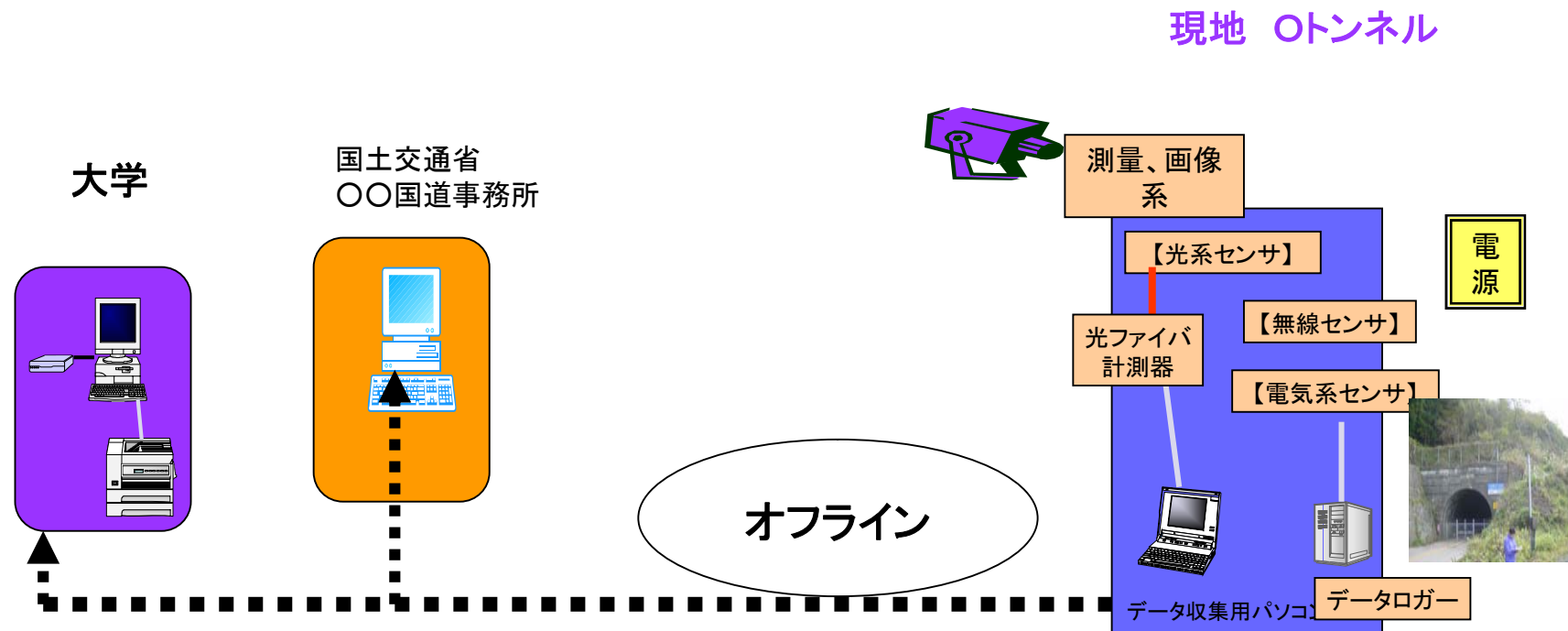


天井部

ひび割れ計測の実施方法

◆トンネル計測システム (STEP 1)

定期計測 【持ち込み計測】



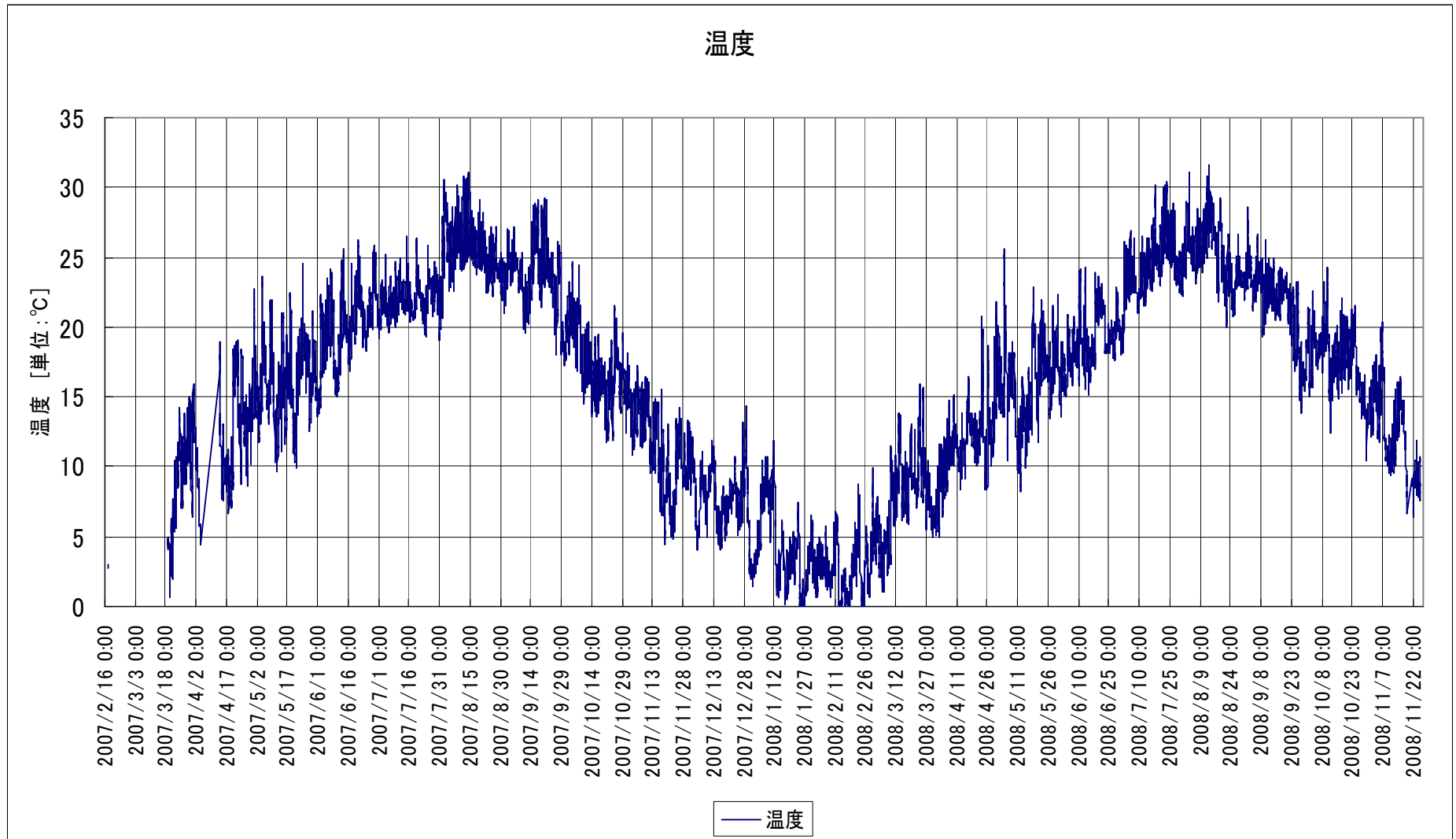
ひび割れ計測の実施方法

「トンネル」計測概略工程表

項目	平成18年度					平成19年度以降	
	～11月	12月	1月	2月	3月		
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		

ひび割れ計測状況

電気式温度計

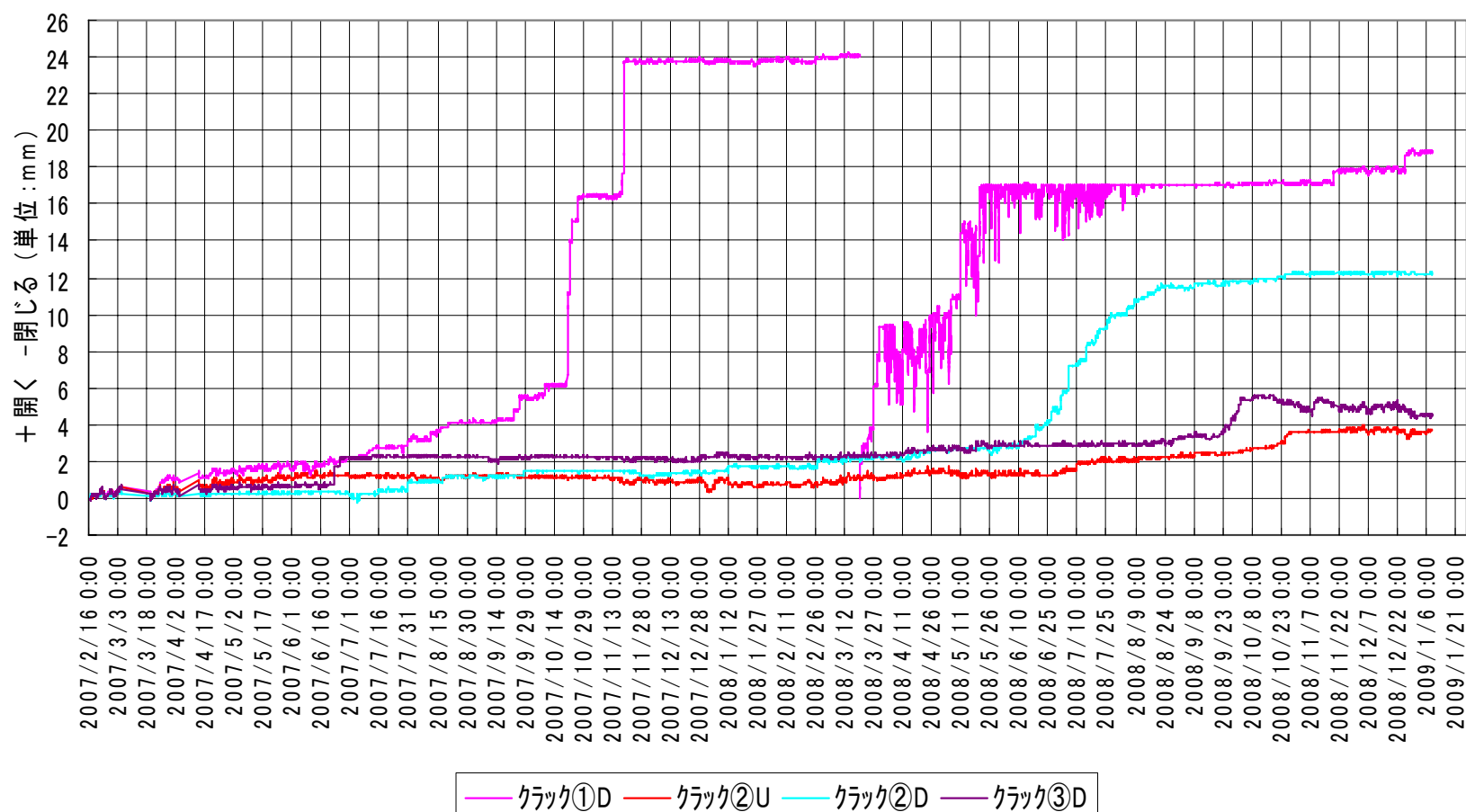


ひび割れ計測状況

ひびわれ進行ゲージ



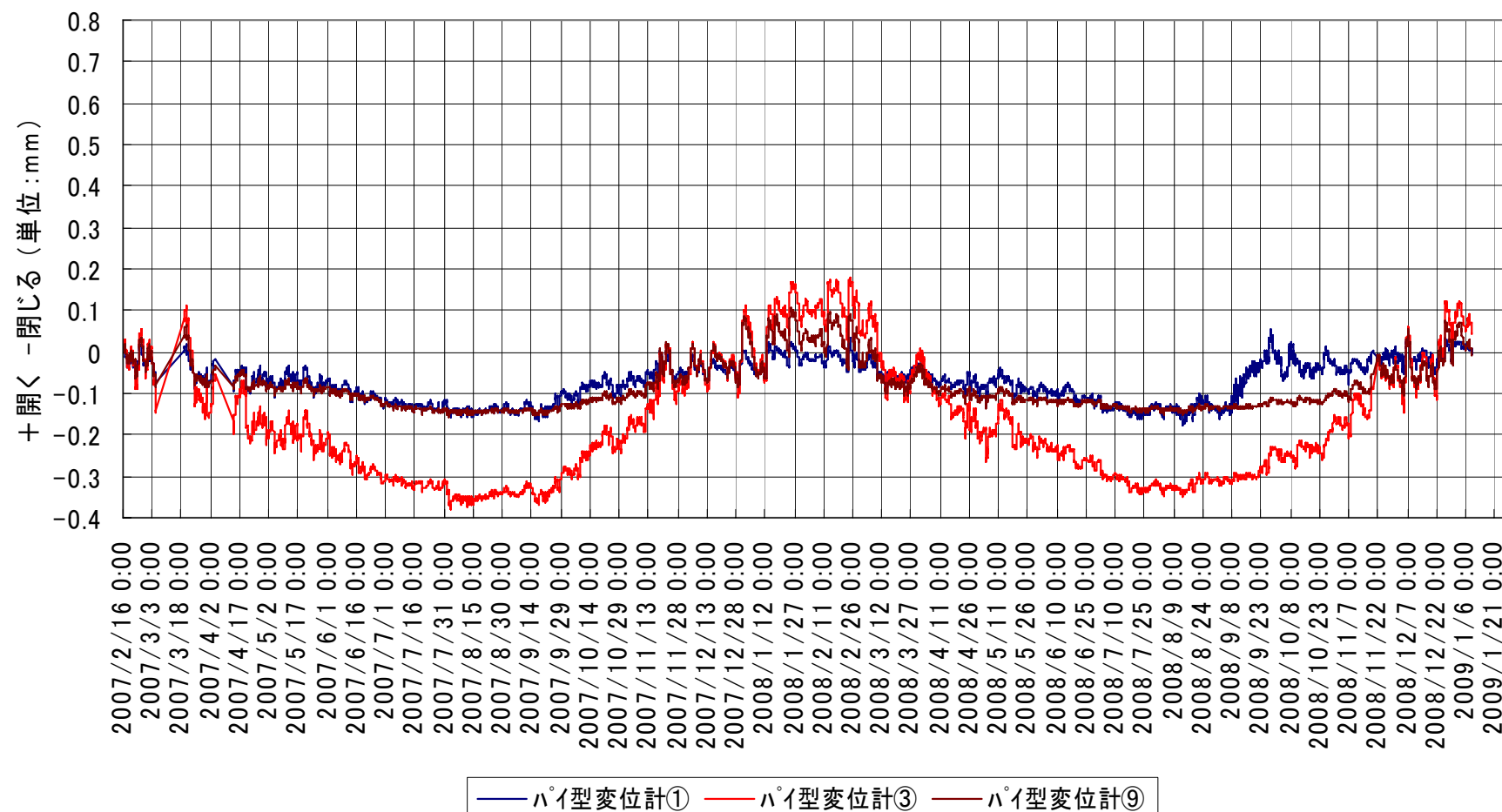
クラックゲージ



ひび割れ計測状況

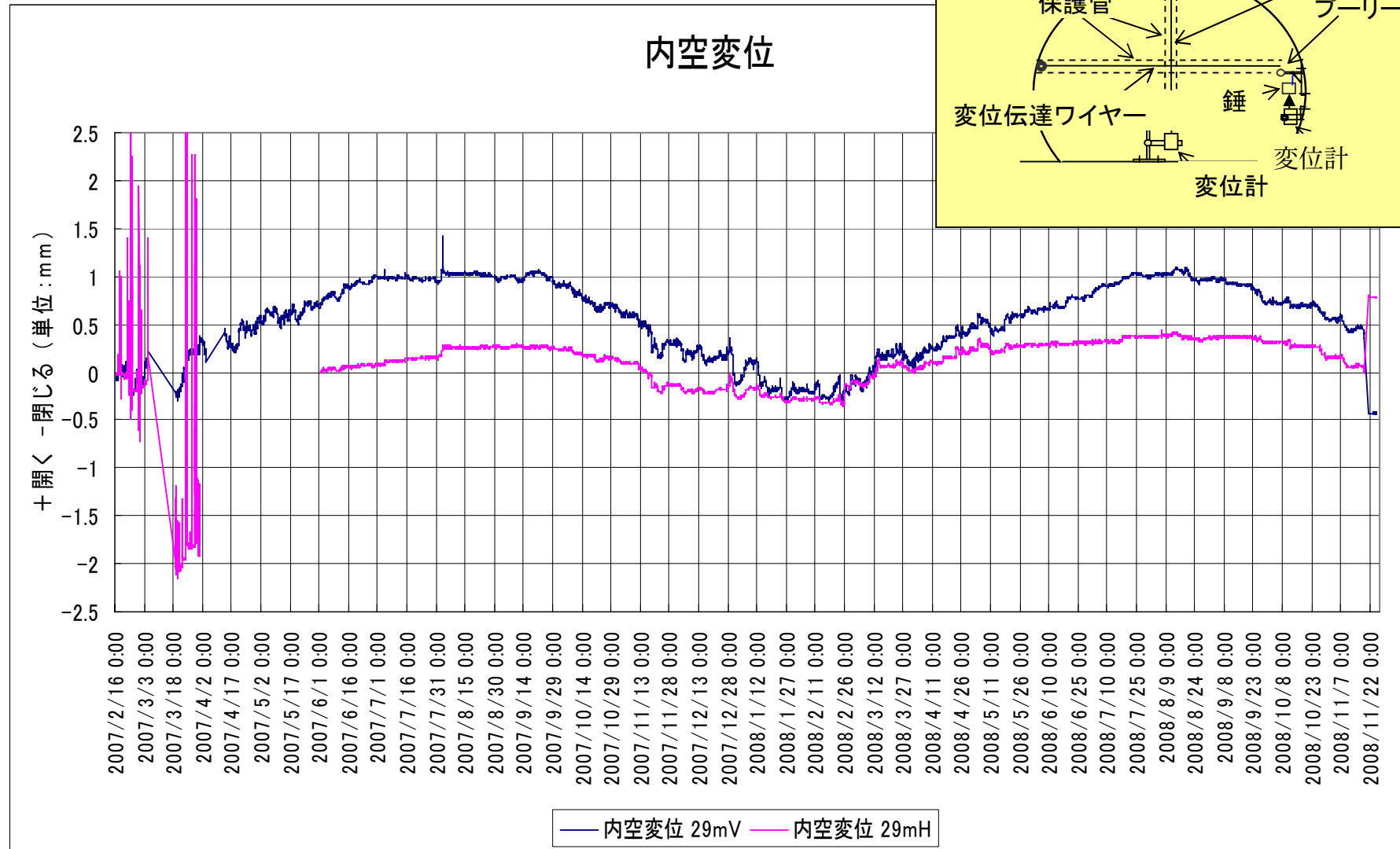
電気式パイ型変位計

パイ型変位計

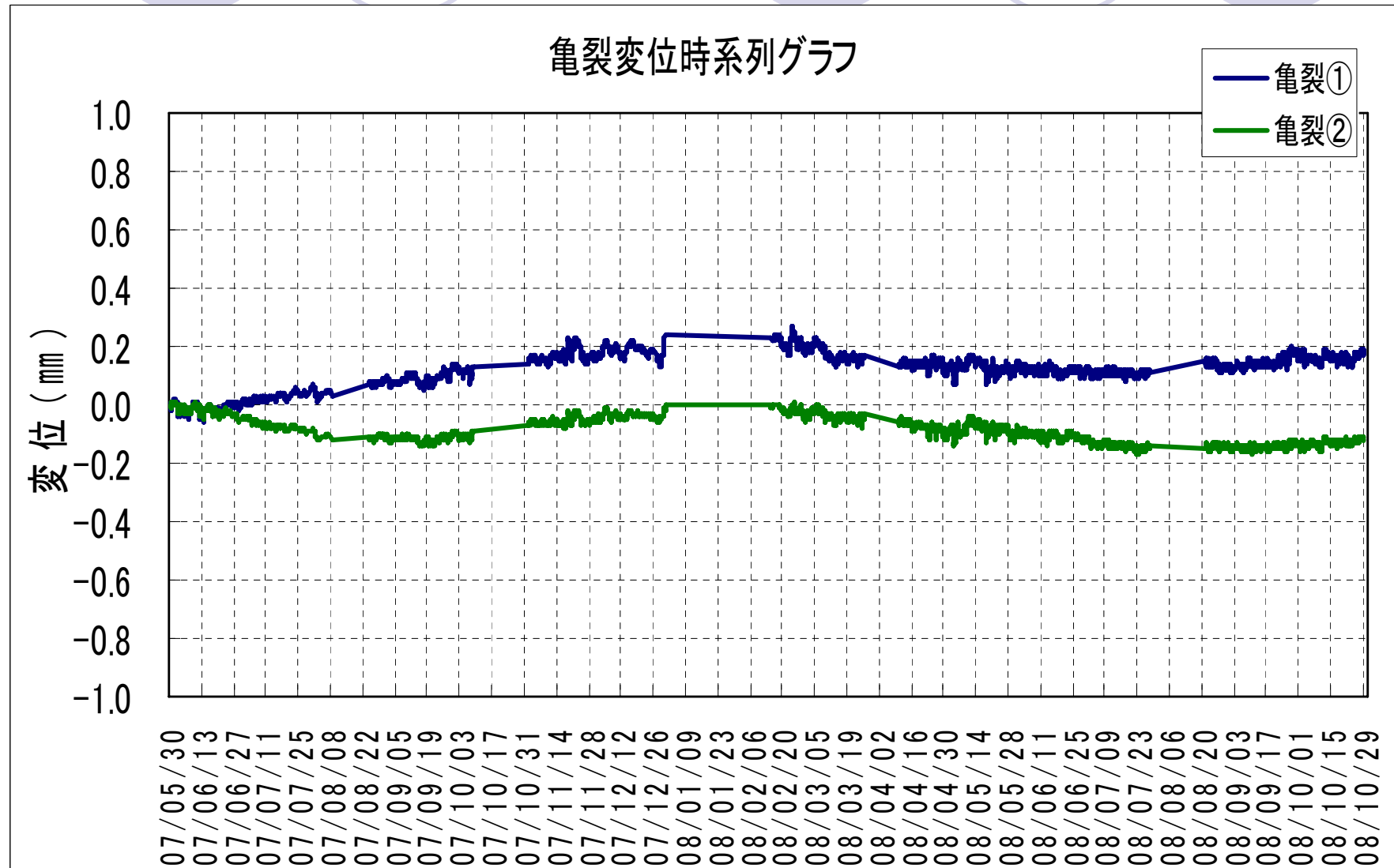


内空変位計測状況

内空変位計 29m地点



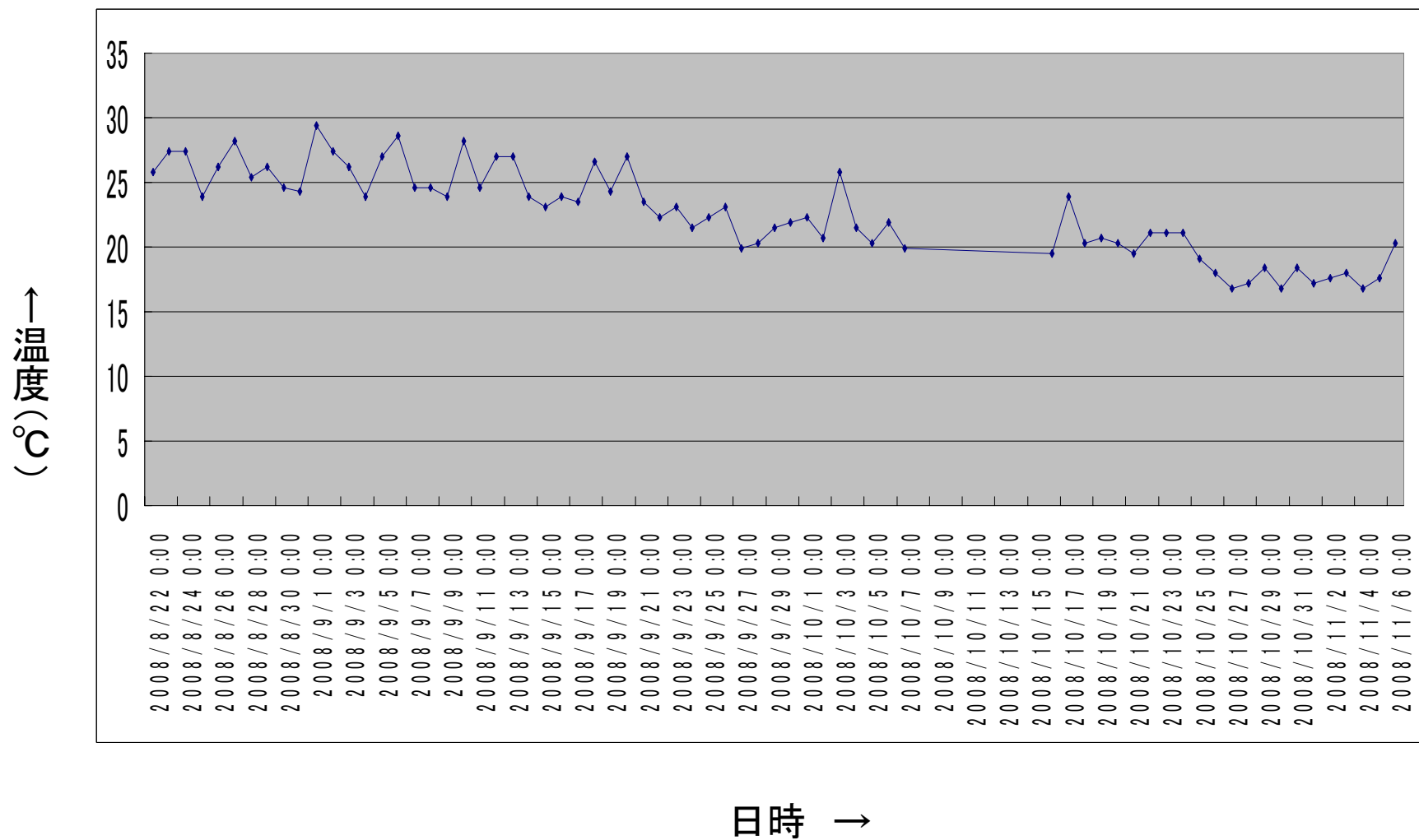
ひび割れ計測状況



ひび割れ計測状況

◆ 無線センサデータ (2008/8/22~11/6)

温度計 天井部



トンネル適用のまとめ

成果

- ①提案手法は従来手法と比較して、安全側の判定となっている.
- 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

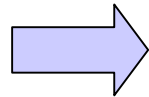
課題

- 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
- ③計測機器のデータ取得‘精度’の向上
- ④取得データの‘処理手法’の最適化

まとめ

◆覆工に生じるひび割れを評価することで健全性評価できる

- ・ひび割れの形状・密度から第三者影響に関する評価を行い、ひび割れのパターン (位置・形状・進展度合い)から構造的な変状に関する評価を行うことができる
- ・走行型の計測機器を用いて、計測することが重要



‘適切な健全性評価手法’が構築された

1.トンネル構造物は施工方法や地質などおかれる状態が異なることが多く、**個別対応するべき**である

・但し、個別対応が必要なほどの変状を受けているトンネルとそうでないトンネルを選別する(健全性評価)ことが重要

・評価手法には経験的判断を取り入れるべき

2.計測技術の開発が必要

- ・精度
- ・処理手法

3. ・過去の事例参照のためのデータ管理が重要

■ ビジュアル化システムの概要

①既存資料の再利用:

既存の紙記録のデータベース化。

②現地での点検記録:

点検結果の記入等を現地で簡単に記入。

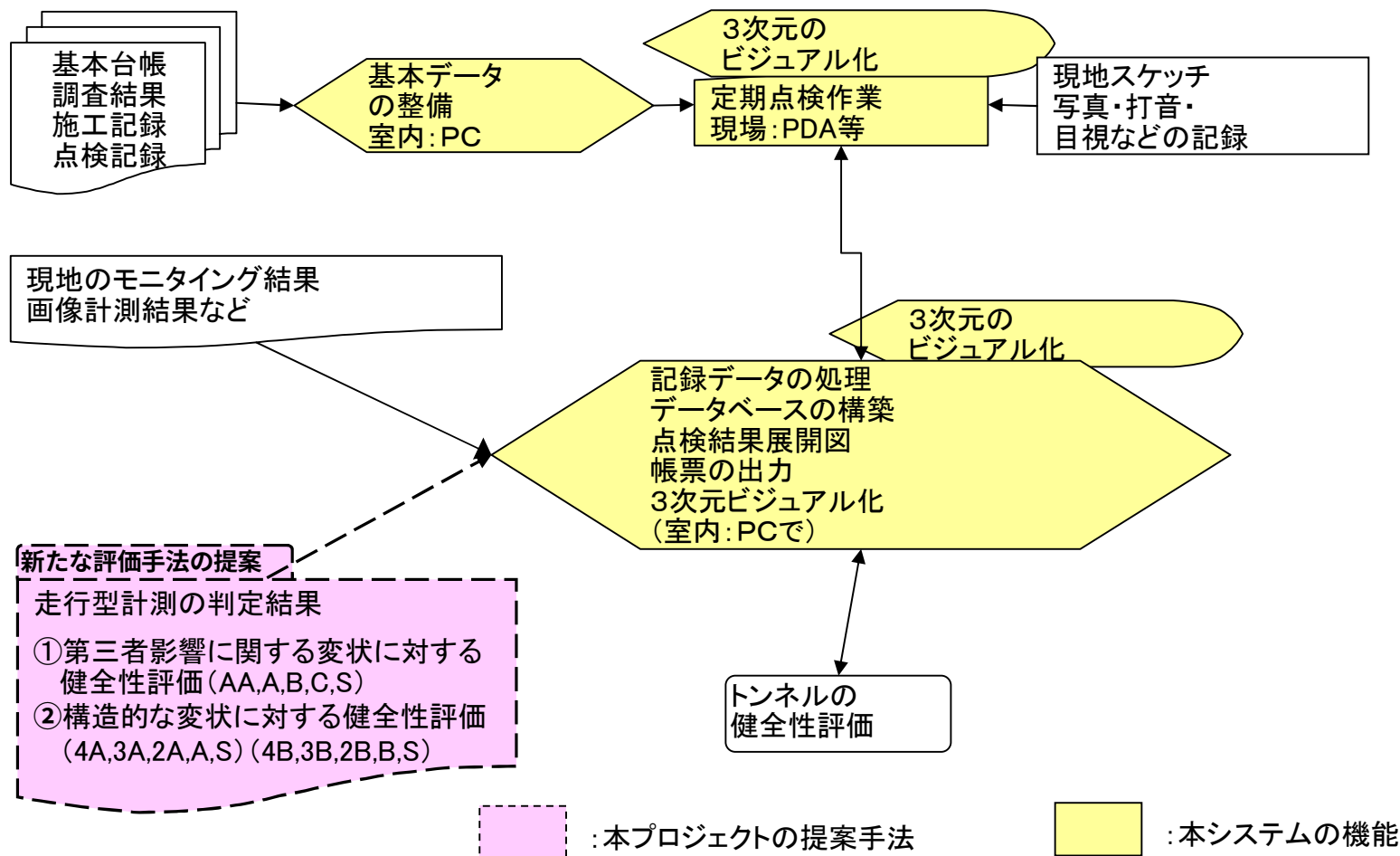
③データの3次元可視化:

2次元のデータを3次元ビジュアル化し、健全性評価に利用する。

④損傷・変状など劣化の管理:

経時的な計測結果をデータベース化。

⑤エクセルファイルや帳表へ出力:



■ 既存データの利用

既存スキッチの 利用

スキッチの記
入

既存紙ベースのスキッチからの
デジタルデータベース化作業画面

観察記録の
データベース化

点検スキッチファイル 20021003隧道定期検査

参照スキッチファイル

スパン番号 S008

☐ 損傷番号表示
 ☒ 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

☒ 自動番号
☐ 手動番号

☒ 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

圧さ

うき、剥離

剥離(はく落跡)

母材の露出(豆板部)

漏水(リットル/分)

変状箇所番号

43

42

S009

41

40

判定区分	判定の内容	点検後の対応
a	変状が著しく、歩行者および通行車両の安全を確保できないと判断され、応急対策を実施した上で修繕・補修対策の必要性を検討する調査が必要な場合。	⇒ 応急対策後、調査の実施。
b	変状があり、応急対策は必要としないが修繕・補修対策の必要性を検討する調査は必要な場合。	⇒ 調査の実施。
c	変状はないが、あっても軽微で応急対策も調査も必要ない場合。	-

既存スキッチの転写 大谷第三隧道

スパン番号 目 S001 至 S004

壁面/路面 壁面

既存画像の読み込み

上書き保存

スケッチ範囲の拡大

変状の編集

スケッチ範囲の設定

☒ 新規作成
 ☐ 変状の編集

スパン番号 S001

変状箇所番号

☒ 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

圧さ

うき、剥離

剥離(はく落跡)

母材の露出(豆板部)

漏水(リットル/分)

漏水(滲れている部分)

漏水、氷盤、沈砂

溶脱物(溶融石灰など)

溶融石灰・亀裂

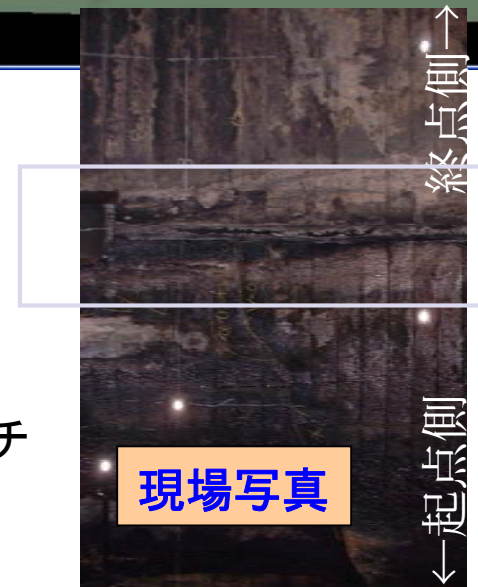
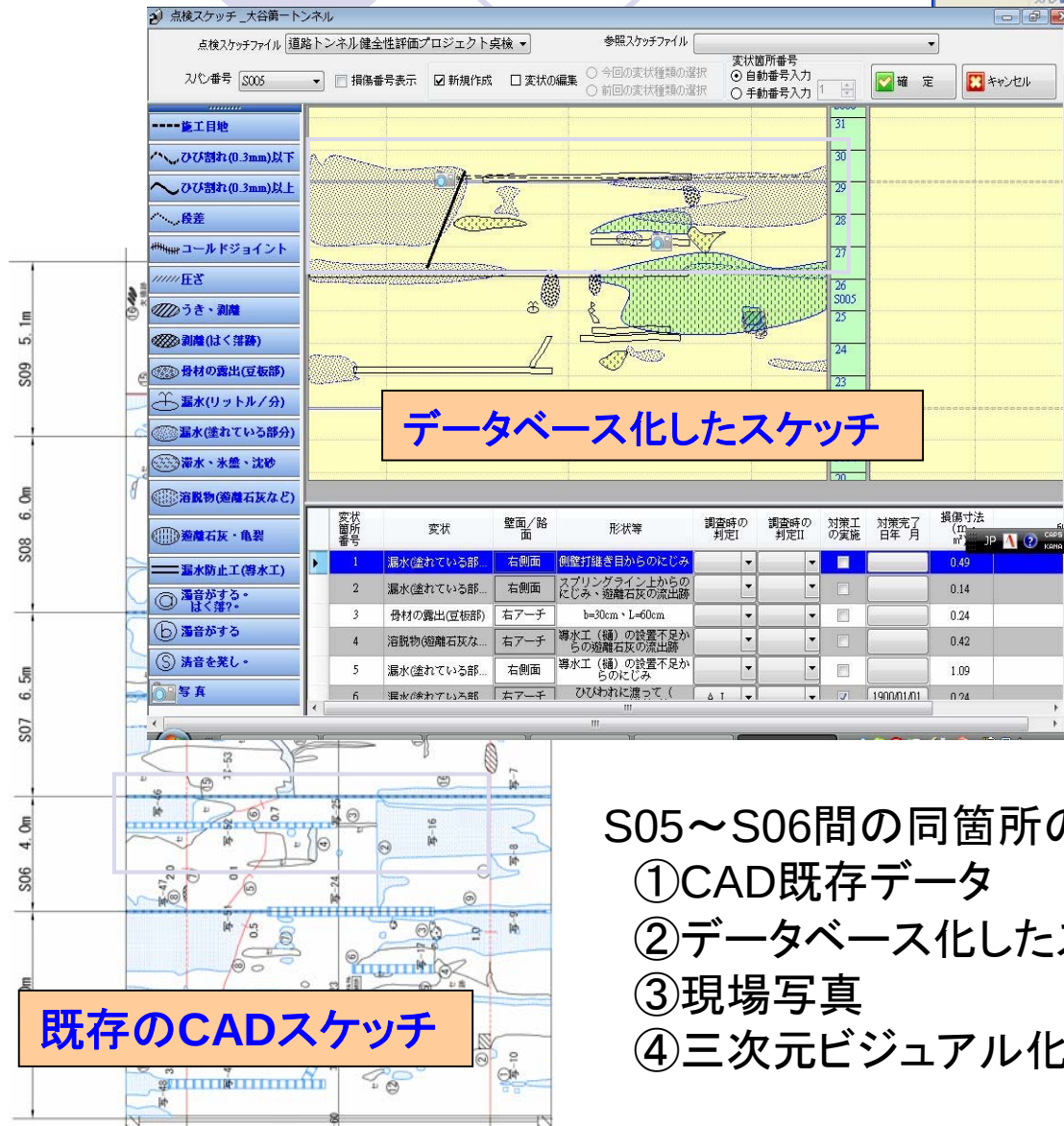
漏水防止工(排水工)

調査済

スパン番号	変状箇所番号	変状	壁面/路面	形状等	点検時の判定	対策工の実施	対策完了日 年 月	損傷寸法 (m ²)	評価
S001	1	うき、剥離	左側面		S	☒		0.08	
S001	2	溶脱物(溶融石灰など)	左側面		S	☐		0.16	
					S	☐		0.3	
					S	☐		2.65	
					S	☐		1.11	
					S	☐		0.2	
					S	☐		0.4	

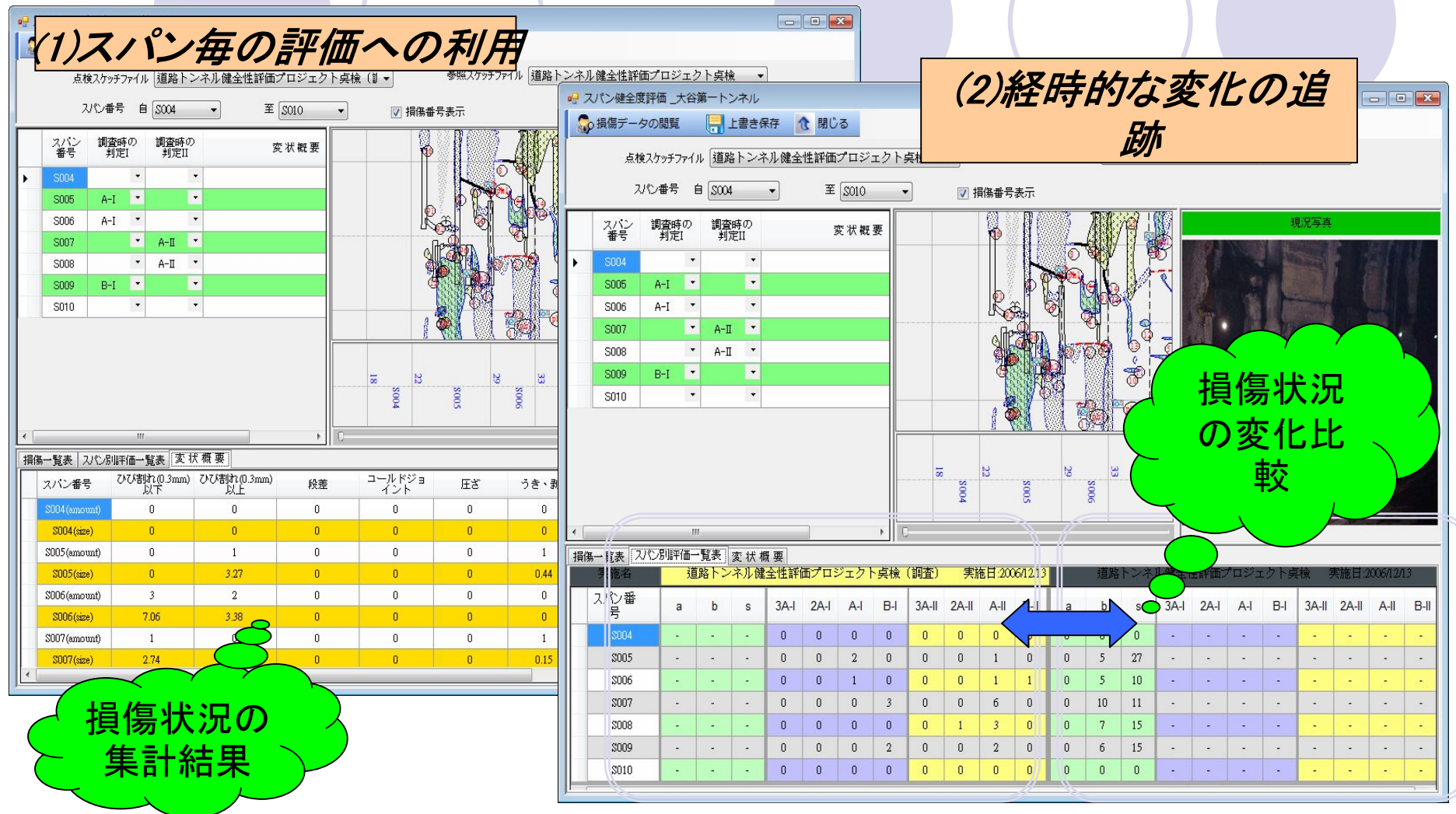
壁面/路面	形状等	点検時の判定	対策工の実施	対策完了日 年 月	損傷寸法 (m ²)	所見
左側面		S	☒		1.88	
左側面		S	☐		2.02	
左アーチ		S	☐		1.42	
左アーチ		S	☐		1.25	
左アーチ		S	☐		3.27	
左アーチ		S	☐		1.09	

■ Oトンネルの適用



- S05～S06間の同箇所
- ①CAD既存データ
 - ②データベース化したスケッチ
 - ③現場写真
 - ④三次元ビジュアル化画面

■ 健全性評価への利用 (集計・分析画面)



トンネルの損傷状況から着目すべき(特徴的)

- ① S05～S06に発生しているアーチ肩部の斜め方向のひび割れ
- ② S08～S09に発生しているアーチ上部の縦断方向のひび割れ
- ③ 全体的に見られる漏水及び溶脱物(遊離石灰)

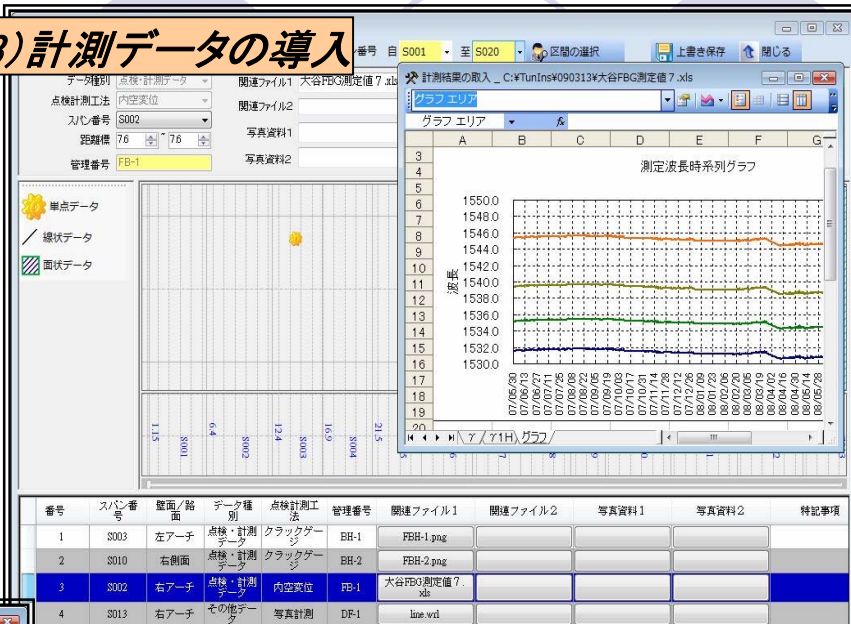
■ データの入力整備

(1) 基本台帳の入力

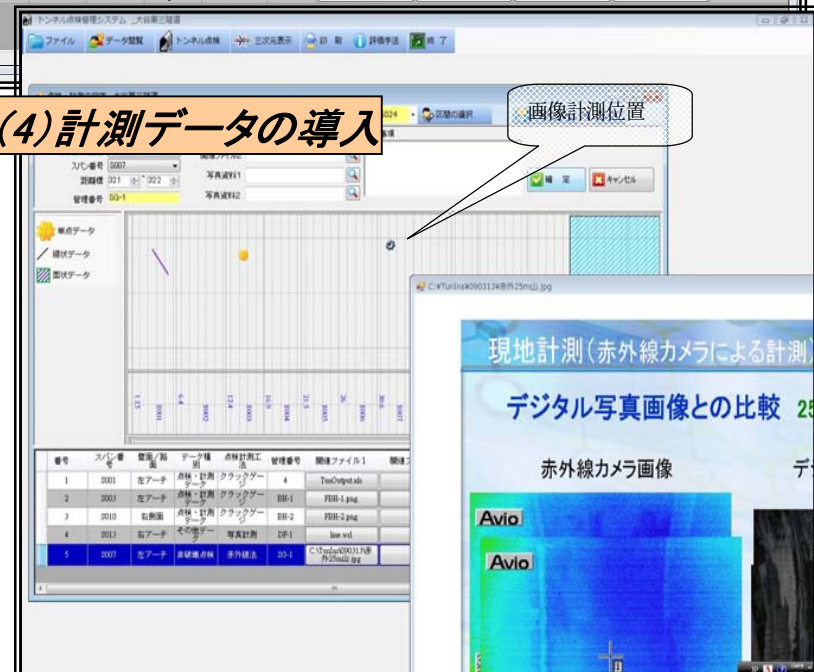
(2) 点検データの整備

スパン番号	変状箇所番号	変状	壁面/路面	形状等	点検時の判定	対策工の実施	対策完了日 年 月	損傷寸法 (m・㎡)	評価
S001	1	うき、剥離	左側面		S			0.08	
S001	2	溶脱物(溶融石灰など)	左側面		S			0.16	
S001	3	溶脱物(溶融石灰など)	左アーチ		S			0.3	
S001	4	ひび割れ(0.3mm)以下	左アーチ		S			2.65	
S001	5	ひび割れ(0.3mm)以上	左アーチ		S			1.11	
S001	6	骨材の露出(豆板部)	左アーチ		S			0.2	
S001	7	骨材の露出(豆板部)	左アーチ		S			0.4	

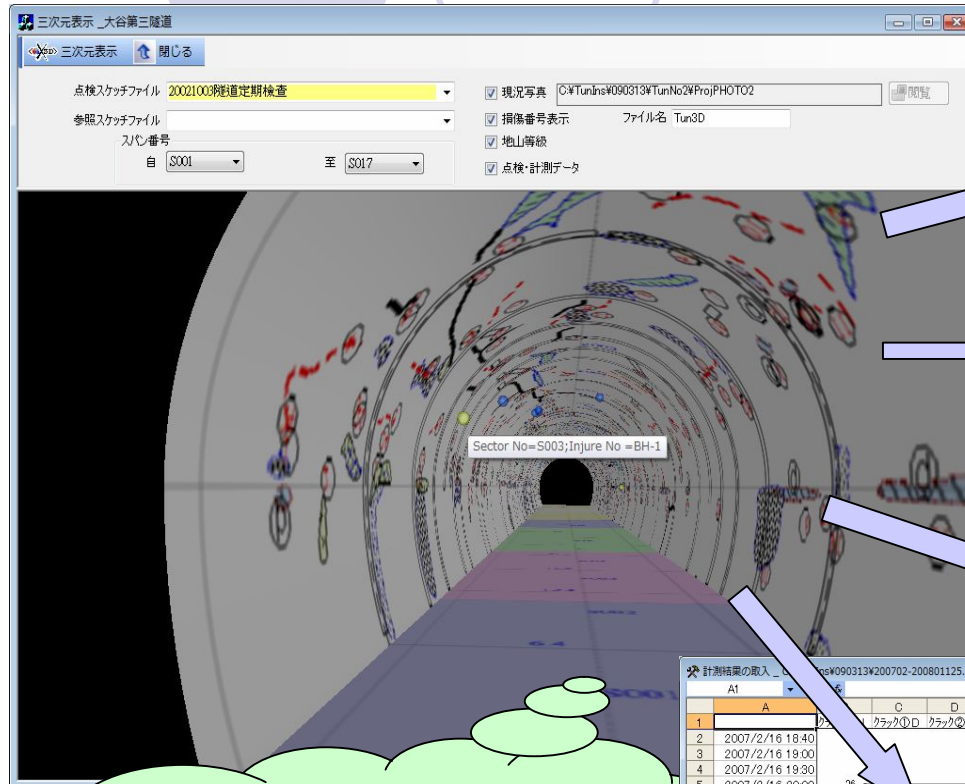
(3) 計測データの導入



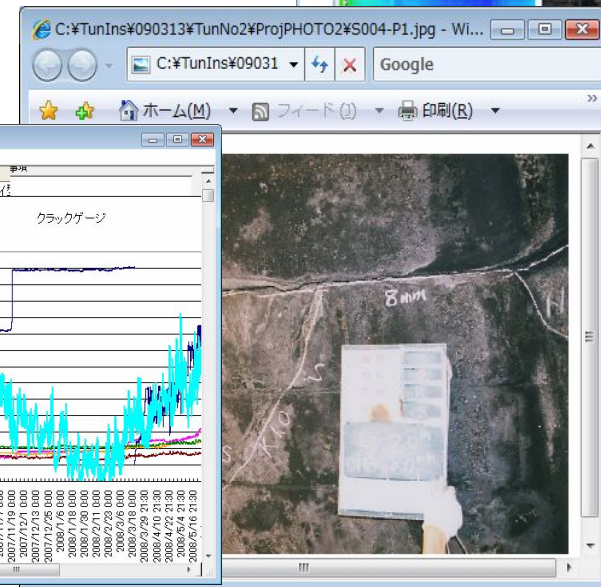
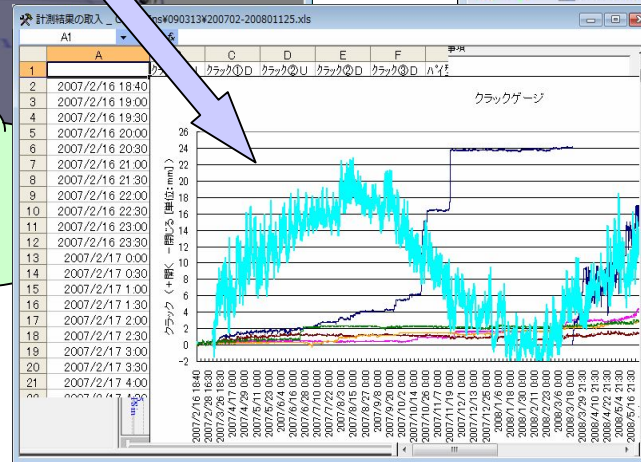
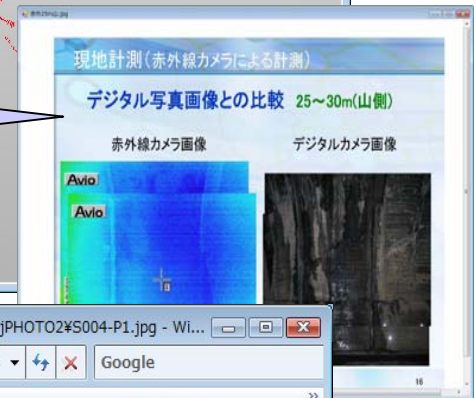
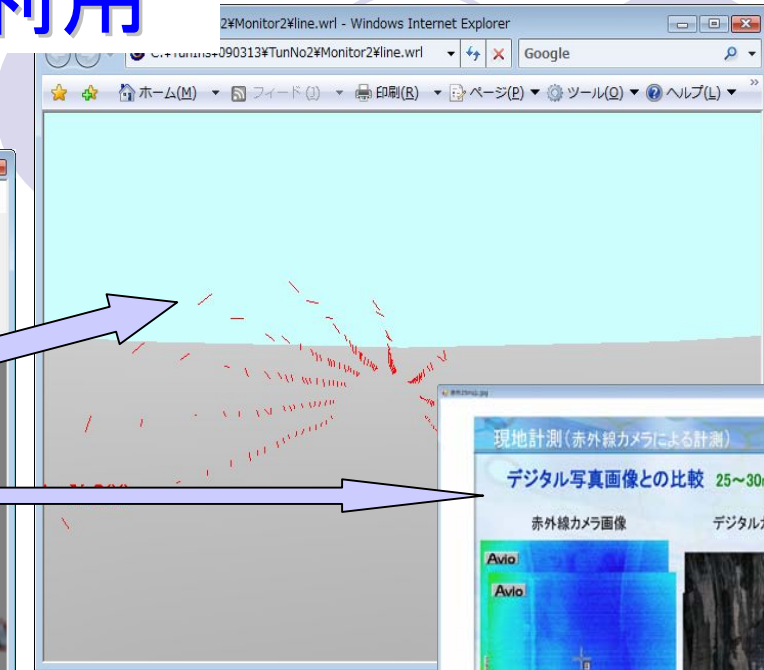
(4) 計測データの導入



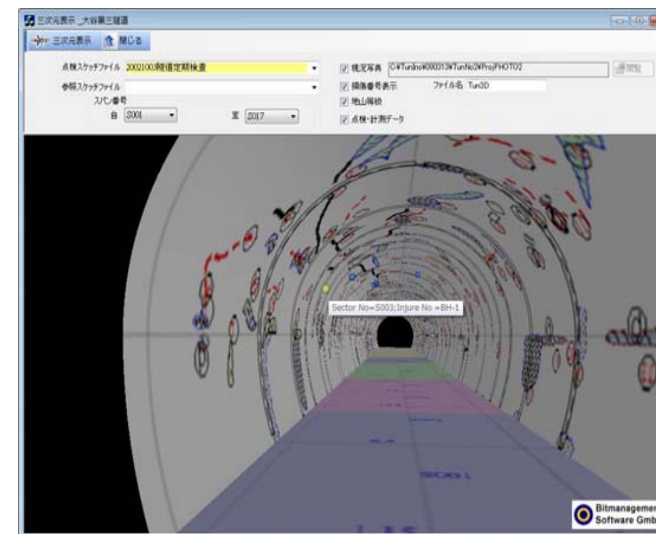
■ 三次元ビジュアル化の利用



ビジュアル化した三次元画像からトンネルの情報を引き出せる



■ システムの実行例(動画)

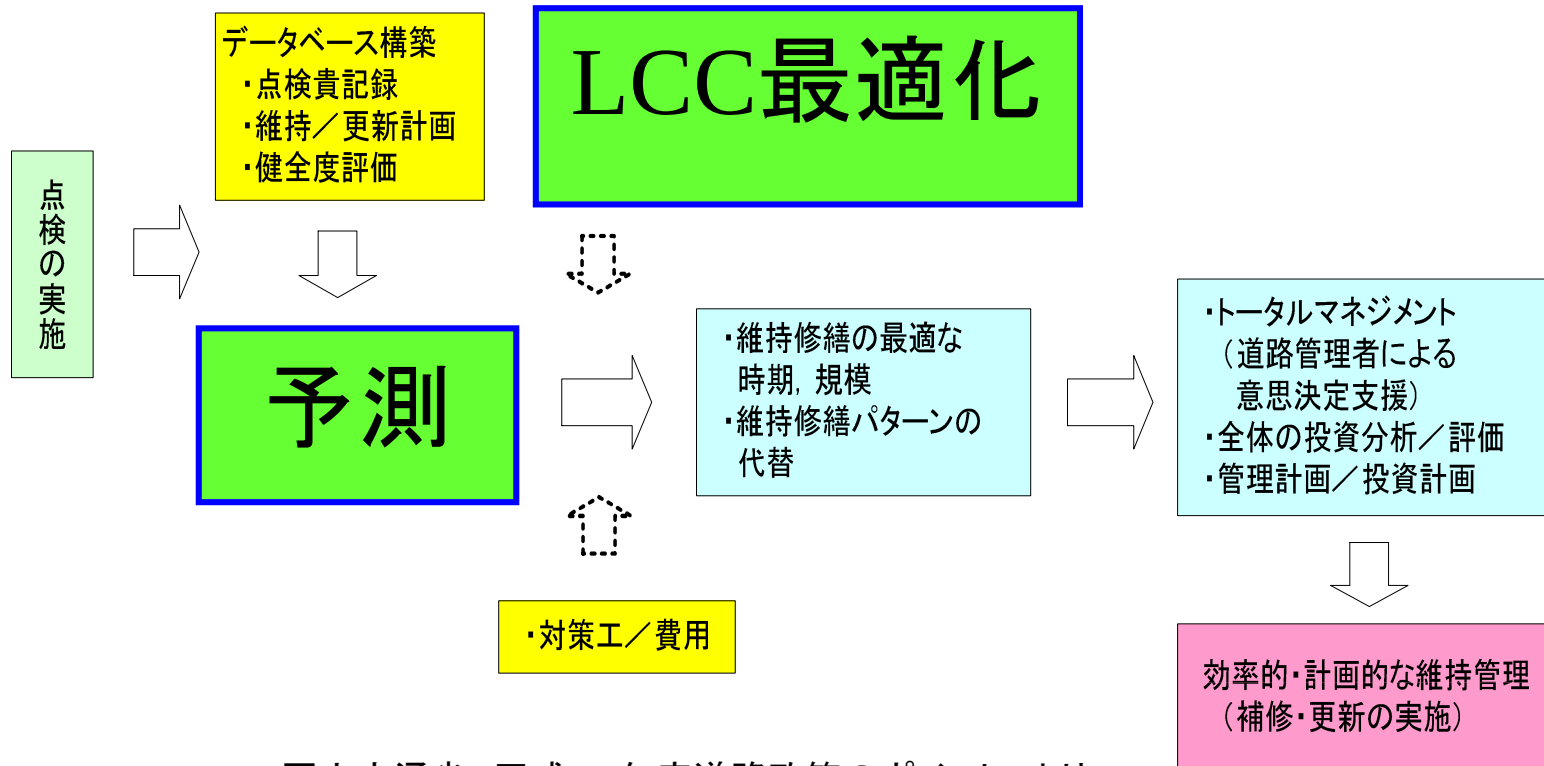


アセットマネジメントへの取り組み

トンネルのマネジメント

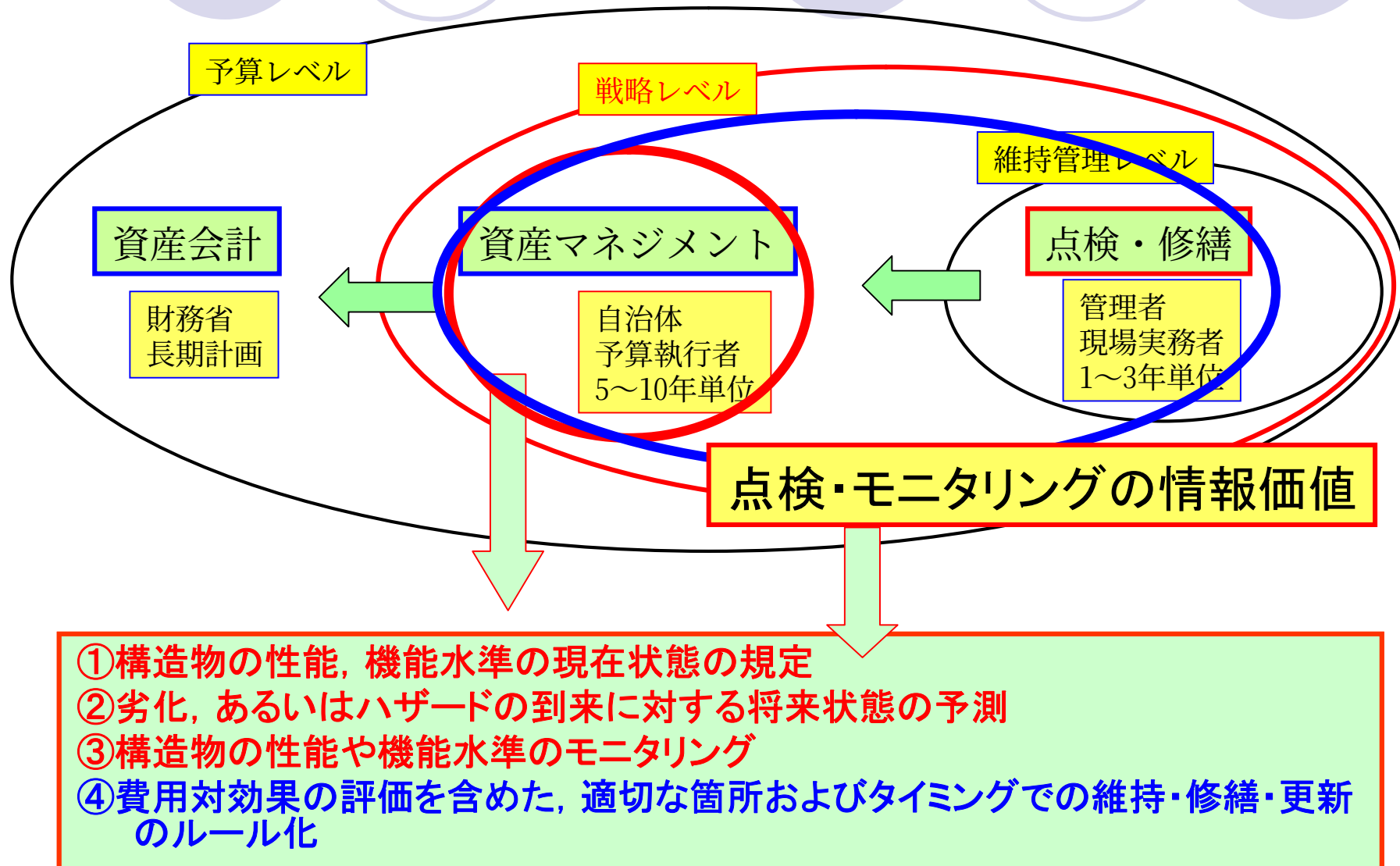
舗装のマネジメント

橋梁のマネジメント



国土交通省 平成14年度道路政策のポイント より

アセットマネジメントへの取り組み



望ましいマネジメント
のフロー：
トンネルの場合

点検結果データベース

ポイント1

点検結果の定量化

変状原因の推定

ポイント2

健全度の診断(現況状態規定)

将来の劣化予測モデル

ライフサイクルコストによる最適化

意思決定モデル

効果的・効率的な投資計画

先順位を決定

修繕のタイミングを決定

点検・計測の価値, 適正な維持管理費

トンネル構造物の望ましい健全度評価法

➤ 性能照査型評価法

性能と評価法が不整合となっている

要求性能, 評価指標, 評価手法が整合していること
点検, モニタリングと一致

➤ 性能低下予測

非モデル: 残存耐用年数, 確定的決定法

モデル化: 不確実性を考慮した確率モデル

➤ 走行型計測手法を活用した健全度評価法

走行型画像計測, 走行型レーザ計測の活用

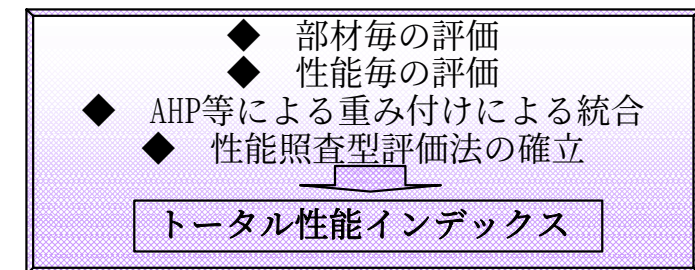
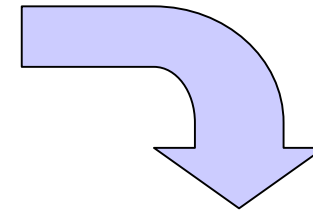
(ひび割れ検出) (変形モード, 浮き剥落検出)

簡易な指標, 判定ルール

性能照査型照査手法(性能評価手法)

鉄道シールドの場合

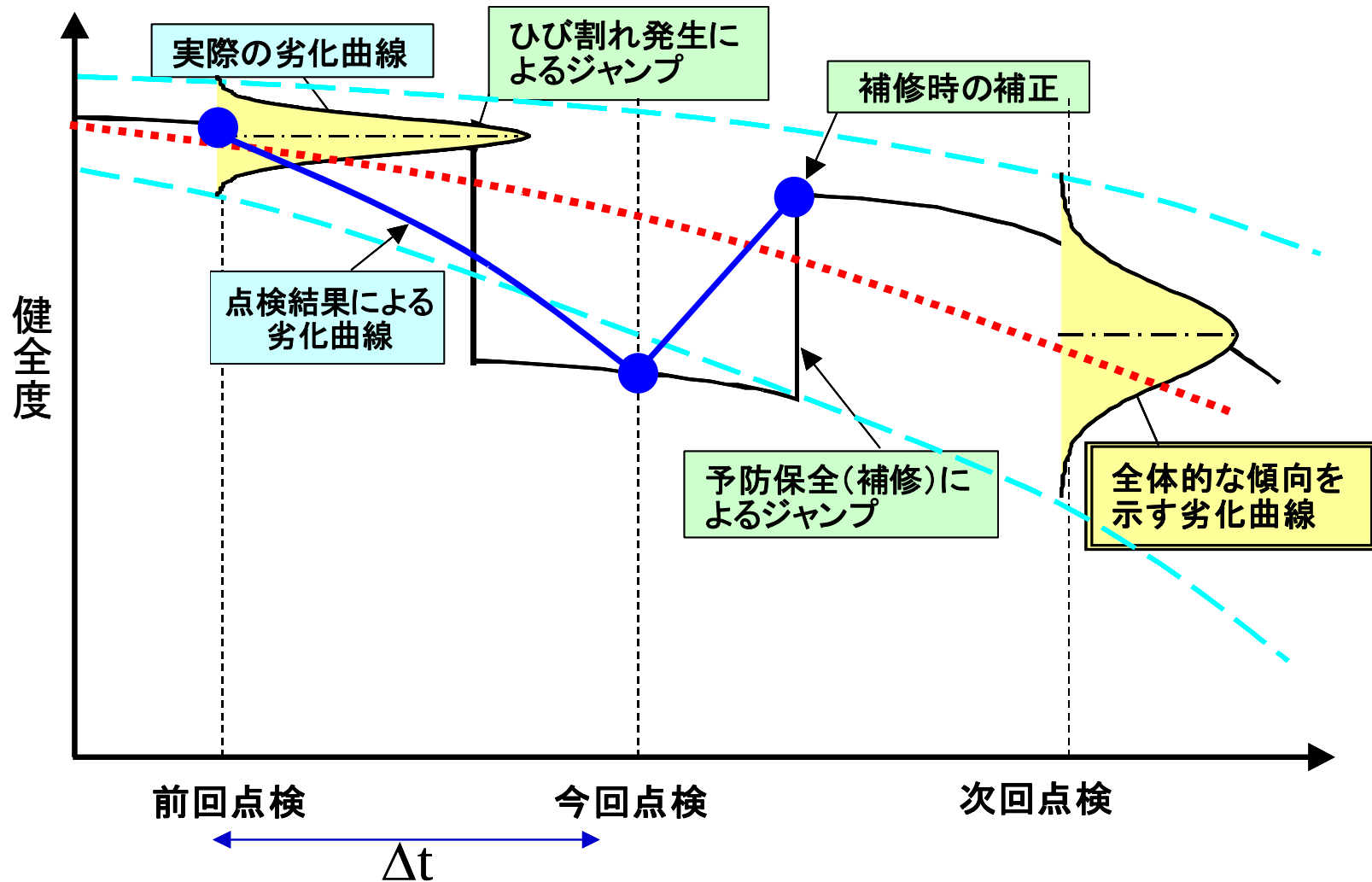
要求性能	性能照査指標	照査手法 (判定基準策定)		重み 付け
		数値評価	レーティング	
利用者の 安全性能	内空形状寸法, 内空変位, ひび割れ, 線形視距, 漏水など	B	5段階	w1
利用者の 使用性能	内空変位, ひび割れ, 線形視距, 漏水など	B	5段階	w2
構造安定 性能	部材耐力, 継手耐力, 継手変形性能,	A	5段階	w3
耐久性能	部材品質, ひび割れ, 漏水	A	5段階	w4
管理者の 使用性能	内空形状寸法, ひび割れ, 線形視距, 防災設備規模, 漏水	B	5段階	w5
維持管理 性能	内空形状寸法	B	5段階	w6
周辺への 影響度	騒音振動, 地盤変動, 漏水質, 地下水変動	B	5段階	w7



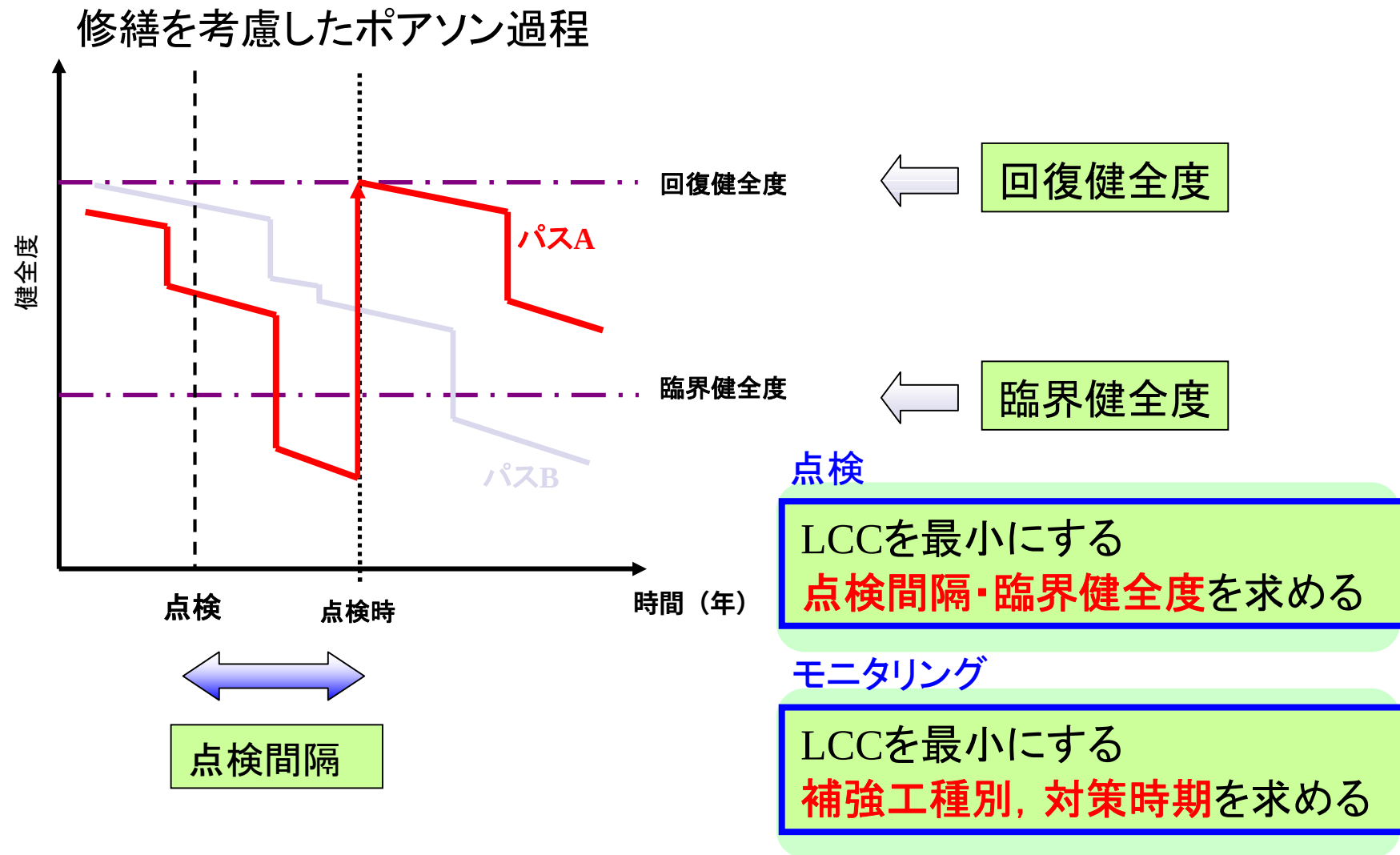
数値評価A : 計測, 数値解析等により積極的に数値化する.

数値解析B : 計測可能な項目以外は, 判定基準に従いレーティング

将来状態の予測手法



LCC最適化ルール



サービスレベルに応じた分類

サービスレベル	低位 交通量少, 劣化進行低 山間部	↔	高位 交通量大, 劣化進行高 重要路線, 緊急輸送路
性能規定	利用者の安全性能・使用性能, 構造安定性能, 耐久性能 管理者の使用性能, 維持管理性能, 周辺への影響度		
性能照査指標	極力数値化が可能な指標を選定		
設計法	見なし型設計		性能設計
モニタリング	点検＋必要に応じて 簡易計測		点検＋計測
健全度評価法	レーティングが基本		性能照査型評価法
維持管理段階 における性能 照査手法	点検(＋簡易計測)結果 によるレーティング		計測を主体とした数値化 指標による照査
将来状態 予測手法	確定論的予測 (残存耐力)		信頼性, 確率論的手法な どによる不確実性を 考慮した予測法
LCC最適化に よる意思決定	点検, 補修を想定した LCC		LCC最適化を実施

■ 今 後 の 展 望

I、トンネル損傷の客観的な自動判定

- ①既存のトンネル点検結果の整備及びデジタルデータベース化を行う。
- ②損傷変状項目毎の評価手法及び統合的な評価手法を確立する。
(各専門分野の見解を総合的に検討する)
- ③損傷変状項目毎の判定評価手法を本ビジュアル化システムに統合し、総合的な評価支援システムへと拡張する。

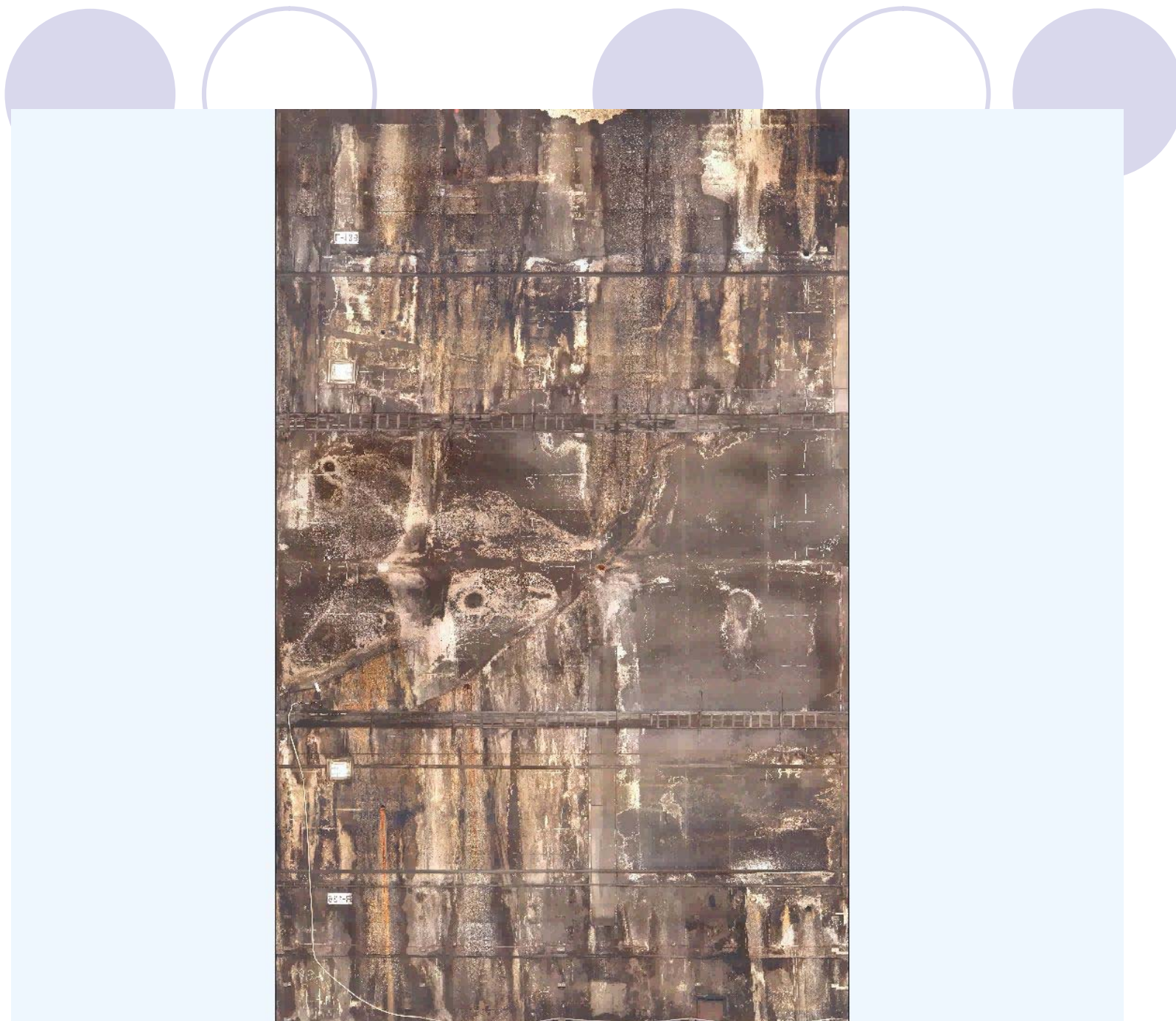
II、走行型計測の判定結果を取り入れる

- ①自動車走行型計測結果は莫大なデータがあるため、判定基準化を策定した上で、必要なデータを抽出する必要がある。
- ②走行型計測の解析との相互リンクを考慮した共通のデータフォーマットの作成が必要である。

《 最 終 目 標 》

III、道路トンネル点検・補修の手引きの改訂に

本システムは、既存のトンネルの点検結果のデータベース化と新規計測結果とのデータ統合ができるシステムとして開発してきたため、今後のより進んだ道路トンネル点検・補修の為のトンネル健全性評価に貢献できるものと考えている。



本日の発表のまとめ

- 走行型計測技術による健全度評価法の
実用化が検証
- 点検データを記録しつづけることが重要
(データベースの活用, GIS機能が必要)
今後アセットマネジメントへ展開
- 道路トンネル点検・補修の手引きの改訂
- まずはデータを取得すること
(新設TNは初期値, 既設は現在状態)

今後へ向けた提案

走行型レーザ計測(MMS)



**50km／日
計測可能**

走行型画像計測



**10～20km／日
計測可能**

