

令和3年8月26日 知のネットワーク～技術実証事業成果発表会（第3回）

平成30年度  
除去土壌等の減容等技術実証事業（その3）

中間貯蔵施設事業の輸送路における  
安全対策のための路面下空洞調査の実施

アジア航測株式会社

本成果は、中間貯蔵・環境安全事業株式会社が環境省より受託した平成30年度の中間貯蔵施設の管理等に関する業務成果の一部である。

# 1. 背景と実施方針(1)

## 中間貯蔵施設の輸送路における道路陥没のリスクと安全対策の必要性

### ● 輸送路特有の条件

#### ・ 輸送車両の交通量の増大

H31年度は1年間の総搬入予定量が400万m<sup>3</sup>程度、輸送車両は年間平均して2,400往復/日のペースで走行

#### ・ 脆弱な舗装構成の道路を使用

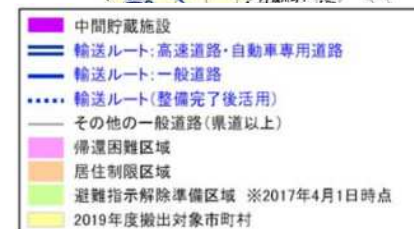
高速道路を主に使用するが、アスファルト層の厚さが5cm程度の簡易な舗装構成の県道・市町村道も使用(670km)

#### ・ 震災による地山のゆるみ/ 地下埋設物の老朽化

震災の影響があるA市では、その他の都市に比べ、路面化の空洞の発生率が約4倍程高い

#### ・ 一般車両の往来

帰還困難区域の解除に伴い一般車両も往来。道路陥没が起きた際は、一般車両を巻き込んだ事故も想定される



### 中間貯蔵施設事業の輸送路

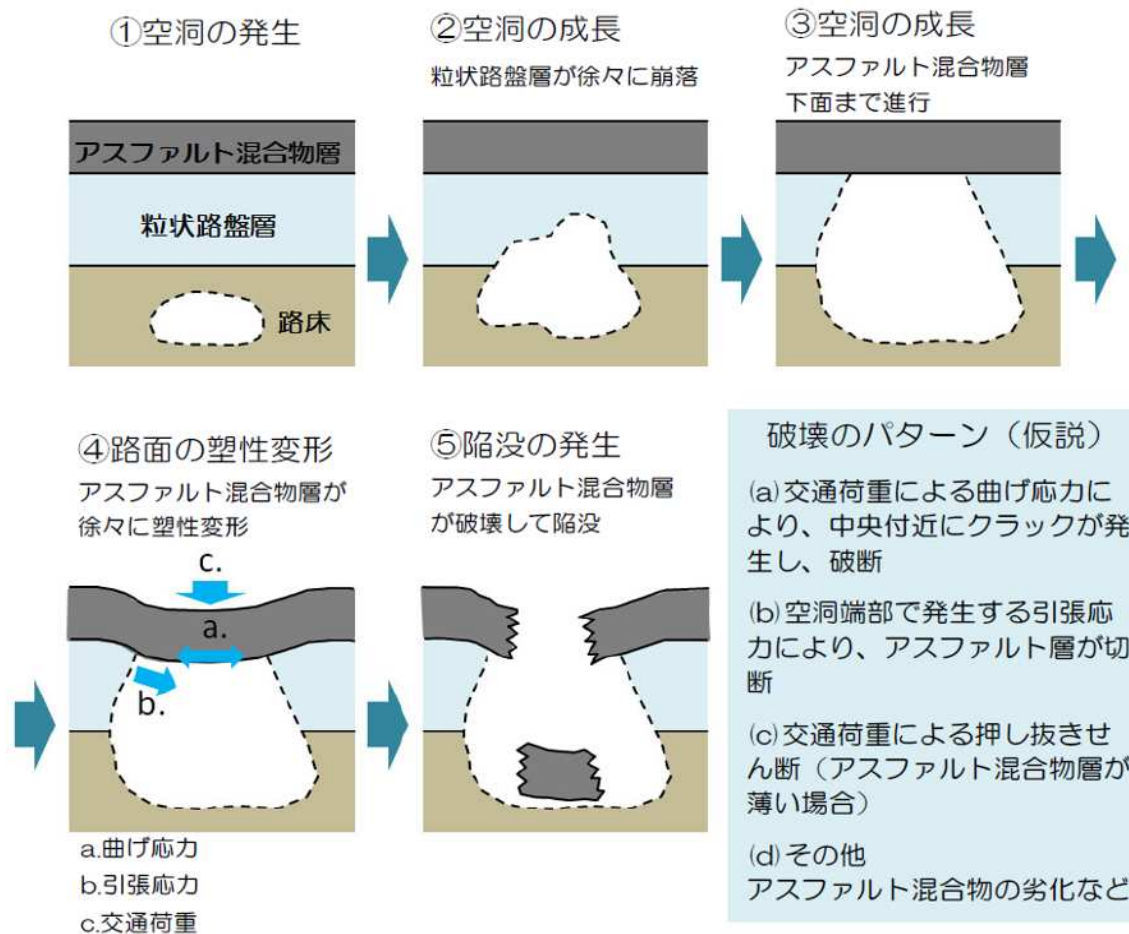
環境省 平成30年度

「中間貯蔵施設への除染土壌等の輸送に係る実施計画」より引用

道路陥没による事故発生リスクが高い  
リスクを低減するための安全対策が必要

# 1. 背景と実施方針(2) 道路陥没のメカニズム

路面下の空洞だけでなく路面の劣化や交通荷重が道路陥没の発生要因となる (→本試験では路面および路面下の調査を同時に実施)



## 道路陥没発生のメカニズム

# 1. 背景と実施方針(3) 評価手法

既往の①の評価に加え、②③を考慮することで、道路陥没のリスクを複合的に評価する手法を検証（本試験の新規性）



## 本試験の評価のイメージ

③は「下水道事業におけるストックマネジメントの基本的な考え方（国土交通省 平成19年）」等を参考としている

## 2. 本試験の成果目標

### ①路面計測の実施

輸送路およびその周辺道路、約35km（車線長70km）を対象として、900点以上/m<sup>2</sup>の3次元点群データ、路面のひび割れ率、縦断凹凸（IRI）を取得

### ②路面下空洞調査の実施

輸送路およびその周辺道路、約35km（車線長70km）を対象として、一次調査を実施  
また、5地点で二次調査を実施

### ③調査成果の整理

下水道管渠の有無や周辺環境、空洞の発生数や路面性状に傾向がみられるか整理

### ④3次元モデルの作成

空洞、路面の状態、地下埋設物の関係性を立体的に把握するため、3次元モデルを作成し、位置関係を個別帳票にとりまとめる

### ⑤評価手法の検証

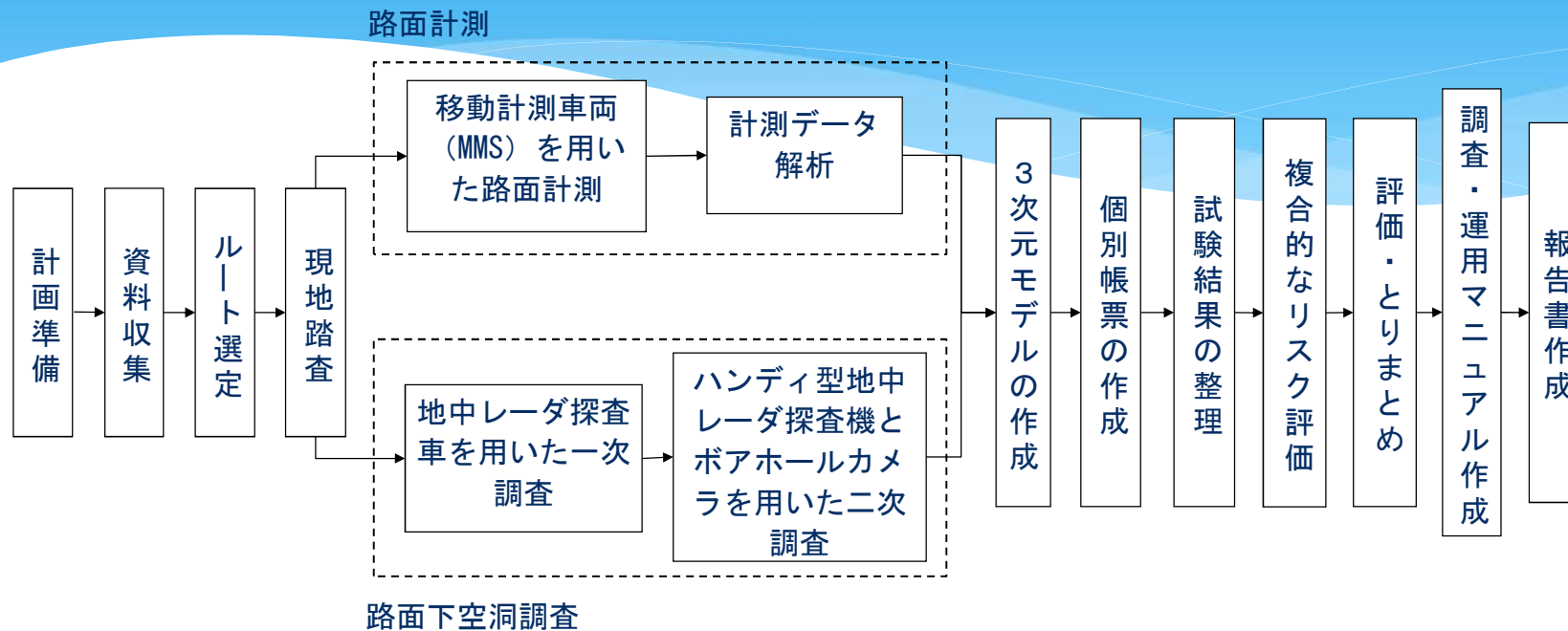
従来の路面下空洞の緊急度判定に加え、路面性状、および道路陥没のリスク評価を加えた路線の評価手法を検証

### ⑥調査・運用マニュアルの作成

本試験の成果をマニュアルにとりまとめる

# 3. 調査手法(1)

## ● 調査フロー



## ● 実施場所

現地調査：福島県内の中間貯蔵施設事業の輸送路およびその周辺道路 約35km



### 3. 調査手法(2)

#### MMS車両を用いた 路面計測・路面性状調査



#### 【MMS計測車両】

- 車両上部のレーザースキャナにより3次元点群データ (900点以上/m<sup>2</sup>) を取得
- 車両後方のラインカメラにより路面のひび割れ率と縦断凹凸 (IRI) を取得
- 法定速度 (時速40km/h) で計測

※MMS:Mobile Mapping Systemの略

#### 地中レーダ探査車を用いた 路面下空洞調査 (一次調査)



#### 【3次元地中レーダ探査車 (ステップ方式)】

- 地下2mの深さまで探査可能。
- 空洞の可能性のある異常信号の位置を取得
- 法定速度 (時速40km/h) で調査

# 3. 調査手法(3)

## ハンディ型地中レーダ探査機とボアホールカメラを用いた二次調査



ハンディ型地中レーダ探査機により異常信号の詳しい位置を特定。



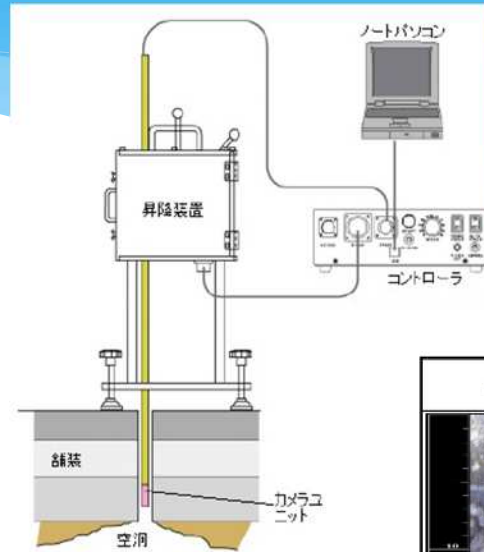
コアドリルを用いて路面を掘削（直径は6cm程度）。



ボアホールカメラを内部に挿入し、断面や底面の画像を取得。



ゴム栓または碎石を充填し、人力で圧密したうえで、表層にアスファルトを敷いて復旧。



調査イメージ

スコープ撮影画像	構成/層厚 (m)	深度 (m)
	アスファルト 0.05m	0.05m
	碎石 0.18m	
	空洞 0.22m	0.23m
		0.45m

ボアホールカメラによる断面画像



## 4. 調査結果（1）路面計測および路面下空洞調査の実施

### ● 路面計測

- ・ 輸送路およびその周辺道路35.18kmを計測（7/23-25）
- ・ 3次元点群データは1,500点以上/m<sup>2</sup>の密度で取得
- ・ ひび割れ率と縦断凹凸（IRI）は10m区間毎に算出

### ● 路面下空洞調査（一次調査）

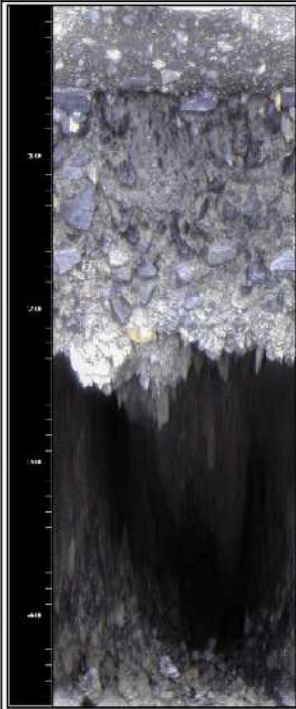
- ・ 輸送路およびその周辺道路35.18kmを調査（7/23-24）
- ・ 空洞の可能性のある異常信号を35箇所確認

### ● 路面下空洞調査（二次調査）

- ・ 異常信号のうち、5箇所二次調査を実施（9/19-20）
- ・ そのうち4箇所は空洞、1箇所は粘土を含む層であった

## 4. 調査結果 (2) 二次調査の結果

### 垂直断面

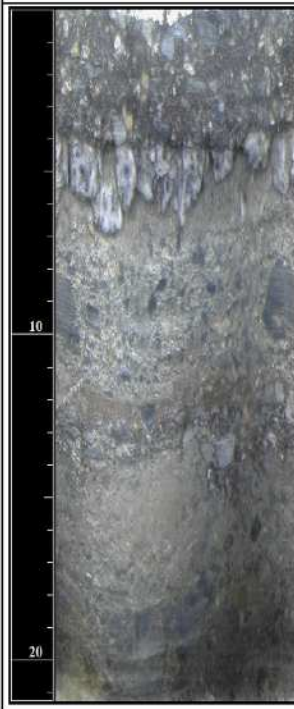
スコープ撮影画像	構成/層厚 (m)	深度 (m)
	アスファルト 0.05m	0.05m
	砕石 0.18m	0.23m ←①
	空洞 0.22m	0.45m ←②
判定: 空洞		

### 水平断面

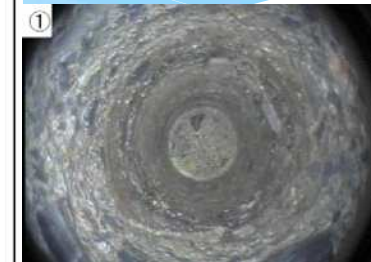


←空洞

### 垂直断面

スコープ撮影画像	構成/層厚 (m)	深度 (m)
	アスファルト 0.04m	0.04m
	砕石 0.09m	0.13m ←①
	粘土層 0.08m	←②
判定: 土質の違い(粘土層)		

### 水平断面

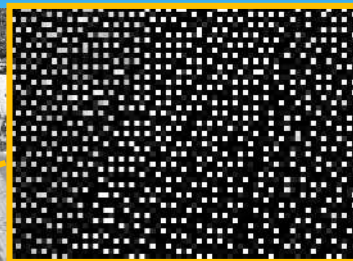
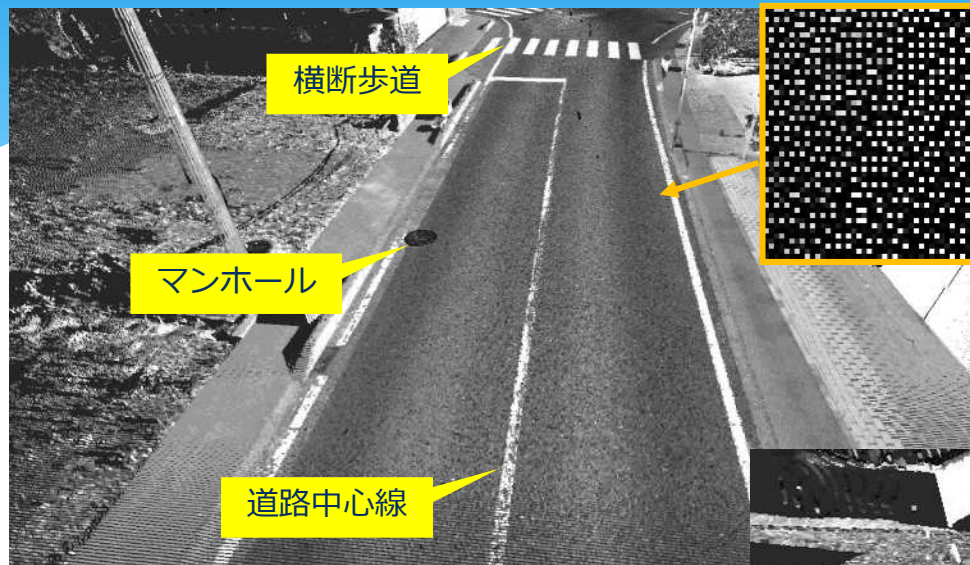


地点No.7のボアホールカメラ画像

地点No.25のボアホールカメラ画像  
(粘土を含む層を検出)

👉 No.25の結果は空洞以外の異物や施工不良箇所を探索する際の知見となる

## 4. 調査結果 (3) 3次元モデルの作成 3次元点群データによる路面の可視化

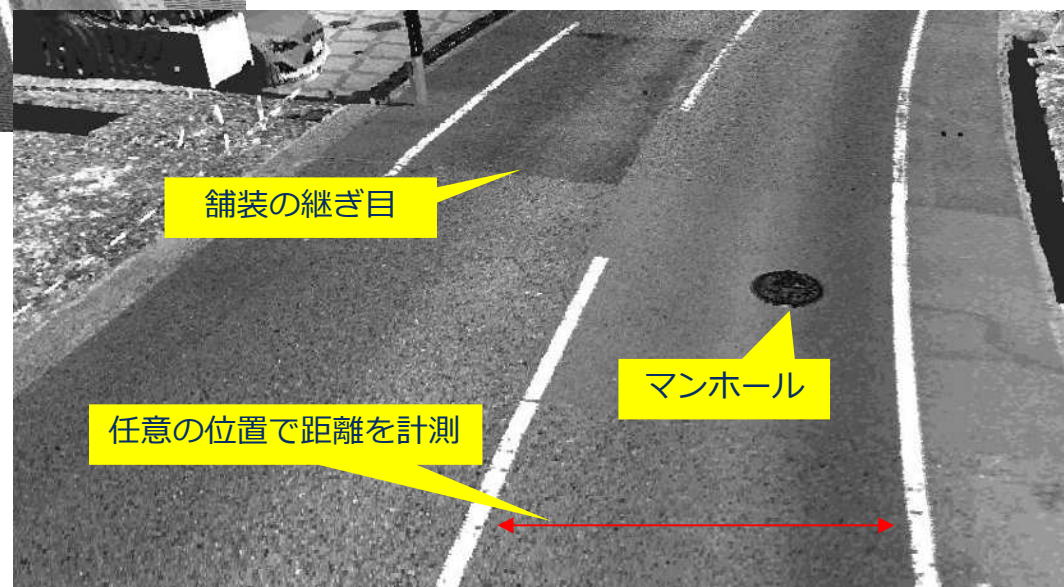


微細な点が集合し、画像として表現される  
(密度：1,500点以上/m<sup>2</sup>)

3次元点群データ (鳥瞰図)



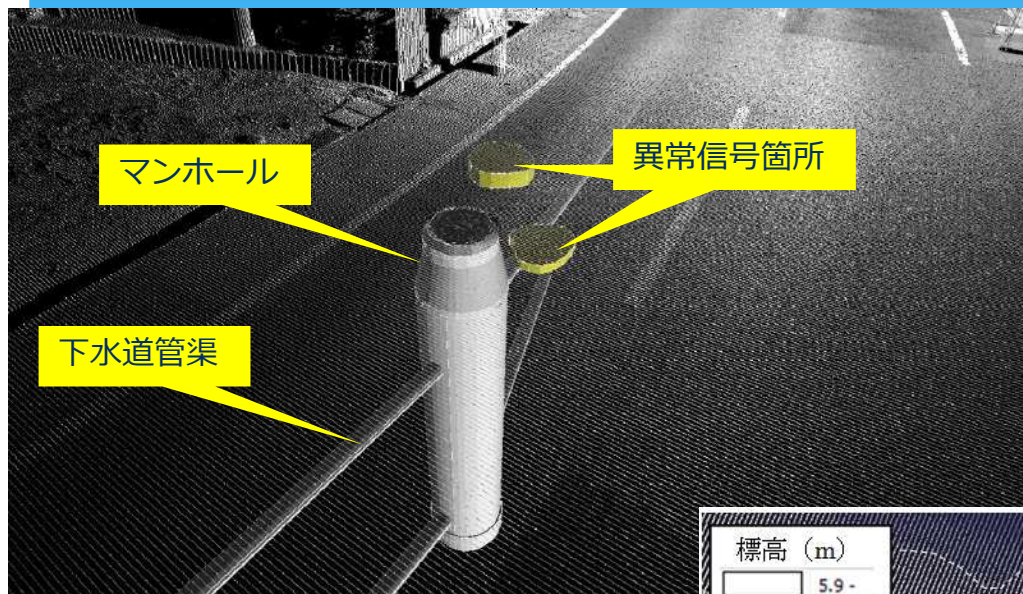
専用のビューワーで閲覧  
(LaserMapViewer)



3次元点群データ (鳥瞰図・拡大図)



## 4. 調査結果（4） 3次元モデルの作成 異常信号、路面性状、地下埋設物の関係性の把握

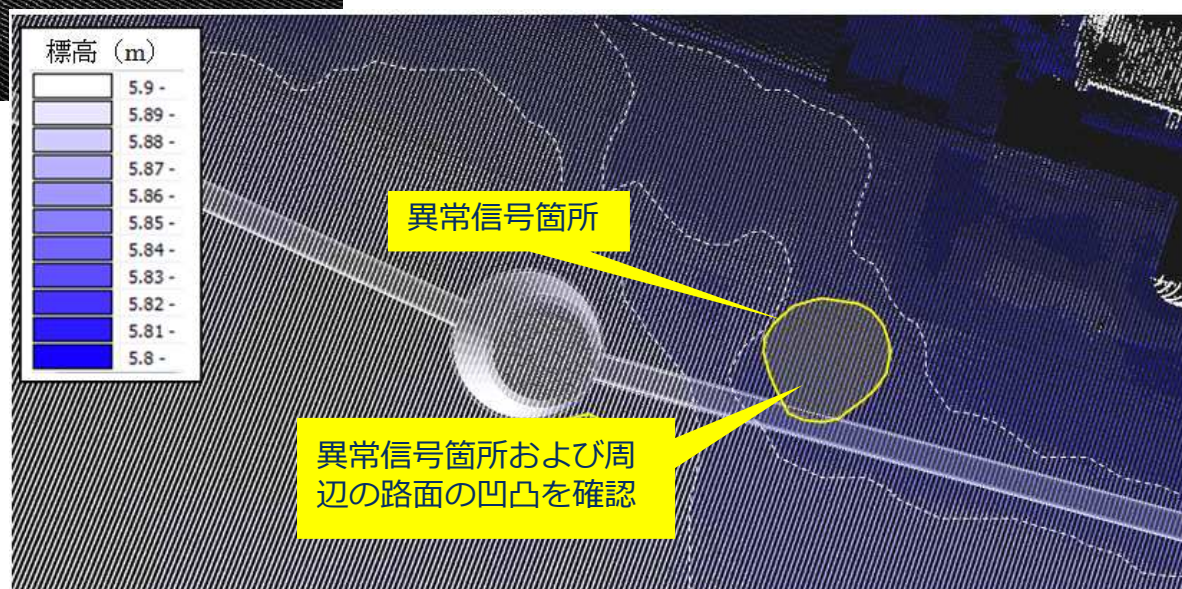


### 異常信号および地下埋設物の 3次元モデルと3次元点群データ（左）

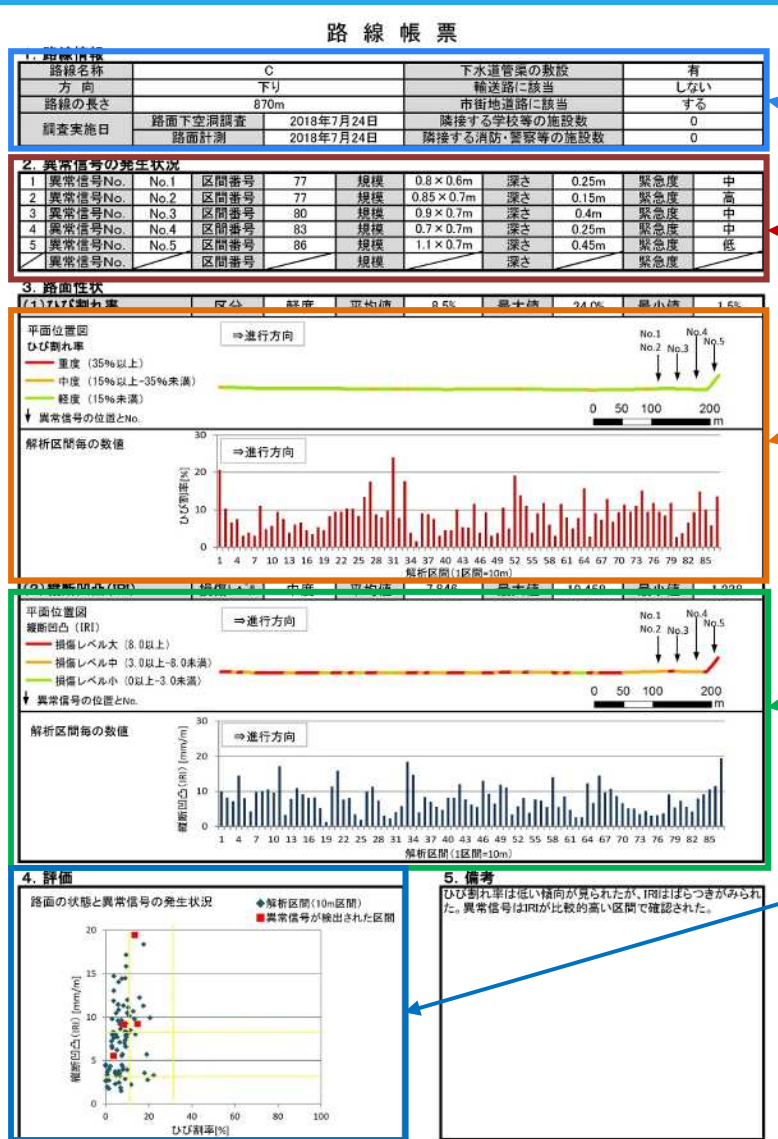
3次元点群データに異常信号と地下埋設物  
（マンホール・下水道管渠）を重ね合わせる  
ことで、それぞれの位置関係を立体的に把握

### 異常信号および地下埋設物の 3次元モデルと標高段彩図（右）

道路陥没の予兆や経年的な変化を把握する際に有効（図では説1cm区分の標高の境界に破線を引いた）



# 4. 調査結果 (5) 新たに考案した帳票



路線帳票

路線名、方向、路線の長さ、計測日、路線位周辺環境を掲載

異常信号の位置、規模、深さ、緊急度判定の結果（後述）を掲載

ひび割れ率の平均値と区分、最大値、最小値を掲載。位置図とグラフで劣化の区分と異常信号の発生状況を可視化。

IRIの平均値と区分、最大値、最小値を掲載。位置図とグラフで損傷度合いと、異常信号の発生状況を可視化

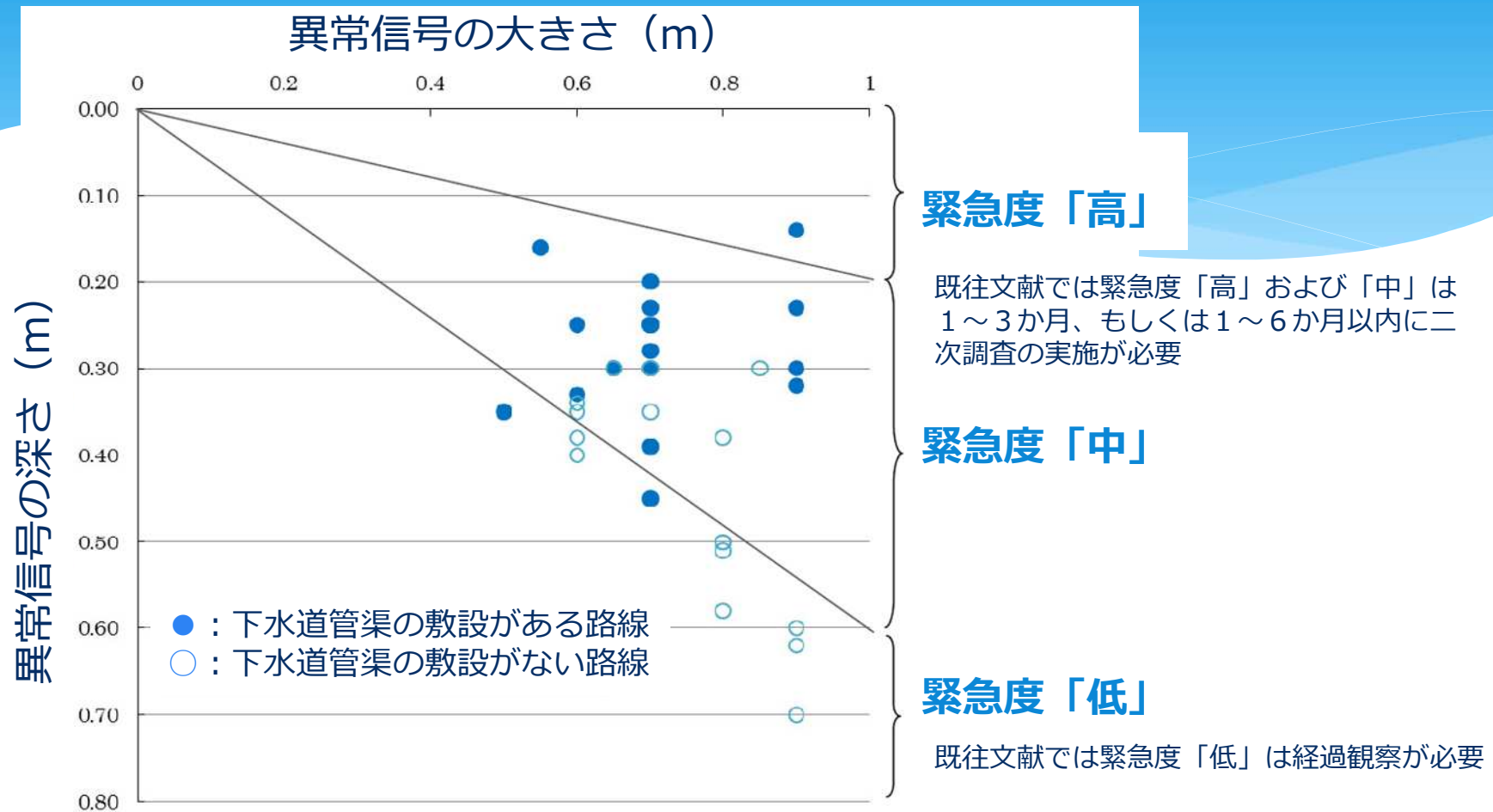
路面の状態と異常信号の発生状況をグラフで図示（後述）。緑の点は解析区間、赤の点は異常信号が確認された区間。



路線単位で対策の優先度を検討する際のツールとして活用



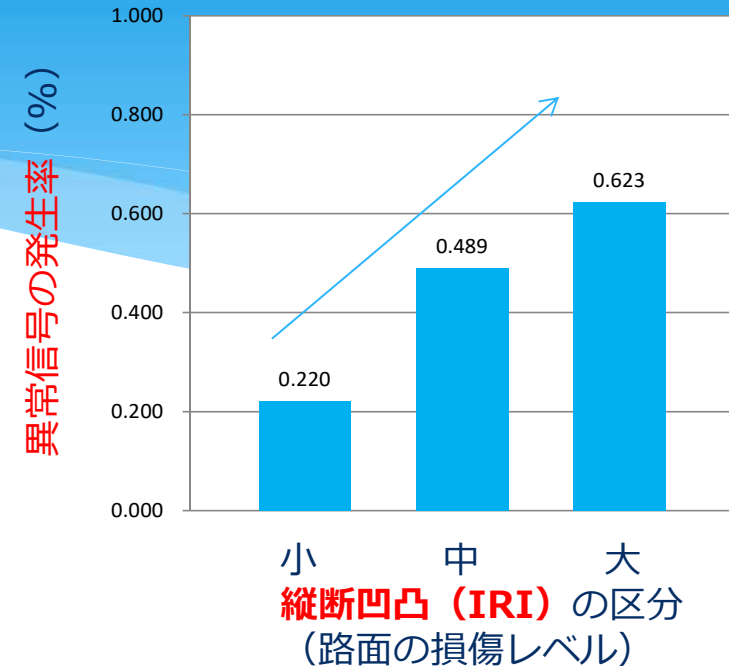
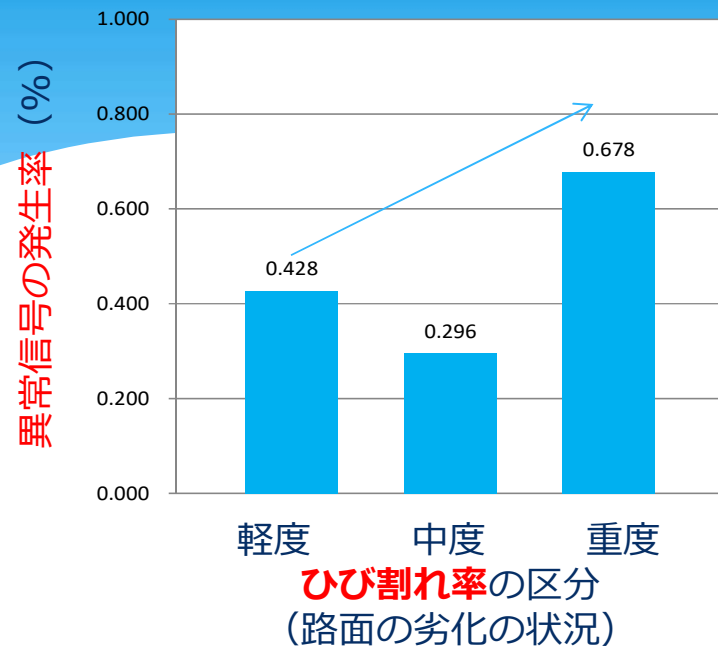
## 4. 結果 (6) 異常信号の緊急度判定



### 異常信号の緊急度判定

(一般的な路面下空洞調査と同一手法による判定)

## 4. 結果 (7) 路面の状況と異常信号の発生率 (区間解析)



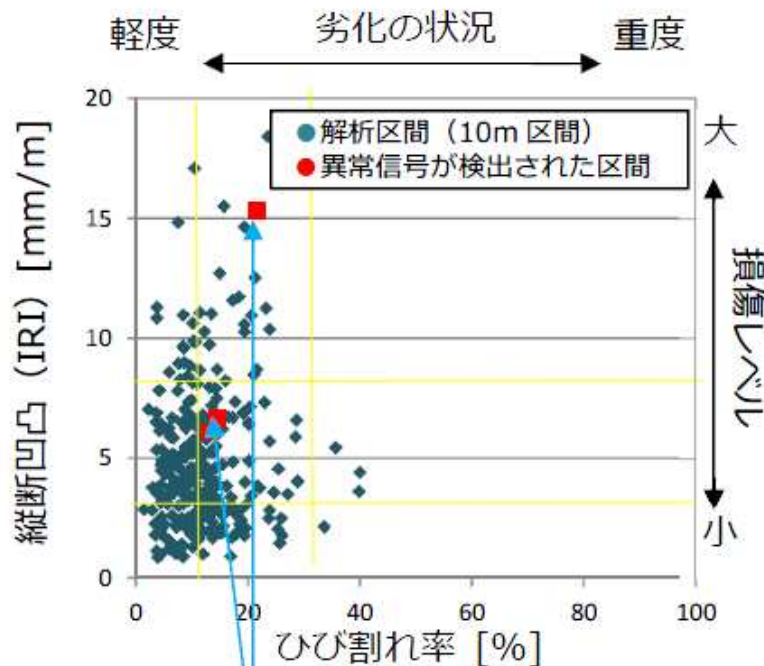
区分 ( )はひび割れ率の値	区間数	異常信号が 確認された 区間数	異常信号 の発生率 (%)
軽度(0-15%未満)	3,976	17	0.428
中度(15%以上- 35%未満)	2,027	6	0.296
重度(35%以上)	1,033	7	0.678
計	7,036	30	0.426

区分 ( )はIRIの値	区間数	異常信号が 確認された 区間数	異常信号 の発生率 (%)
小(0-3.0未満)	2,274	5	0.220
中 (3.0以上-8.0 未満)	3,477	17	0.489
大 (8.0以上)	1,285	8	0.623
計	7,036	30	0.426

路面の劣化および損傷の進行するほど異常信号の発生率が上昇する傾向  
 👉 路面計測の結果を踏まえて、路面下空洞調査の対象路線を絞り込み

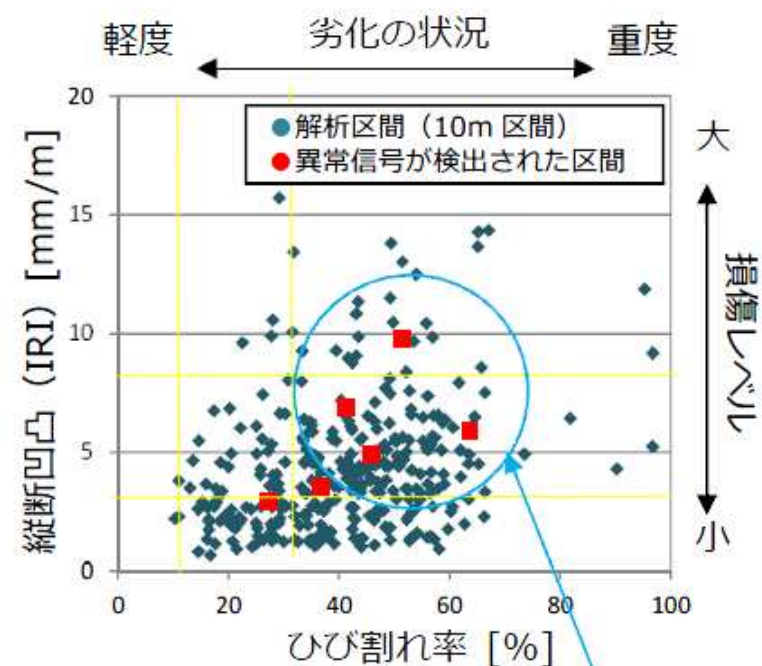
## 5. 結果 (8) 路線単位での評価・比較

①路面の劣化・損傷がやや進行している例



路面の損傷レベル高い方から対策  
できる (優先順位を視覚的に判断)

②路面の劣化・損傷が著しく進行している例



道路陥没の発生可能性が  
高いと判断される箇所

路面計測と路面下空洞調査を同時に実施したことで考案できた評価手法  
優先順位をつけて安全対策を実施可能 → 予防保全型の対策へ

## 5. 結果 (9)

### 道路陥没の発生可能性と陥没が起きた場合の影響度を考慮したリスク評価

- 道路陥没の**発生可能性の評価** →調査により定量的に評価することができる

大項目	項目 (要因)	指標
道路陥没の <b>発生可能性</b>	空洞 (異常信号) の 発生状況	緊急度「高」の発生数 (箇所/km)
		緊急度「中」の発生数 (箇所/km)
		緊急度「低」の発生数 (箇所/km)
	路面の劣化・損傷の 度合い	ひび割れ率 (重度・中度・軽度)
縦断凹凸 (IRI) の評価区分 (損傷レベル小・中・大)		

×

- 道路陥没が起きた際の**影響度の評価** →地域特性や管理者・事業者の判断で評価が変わる

大項目	項目 (要因)	指標
道路陥没が起きた際の <b>影響度</b>	地下埋設物への影響	下水道管渠の有無
	周辺環境・施設への影響	市街地道路
		学校施設の有無
		警察・消防署等施設
事業 (輸送) への影響	輸送路に該当するか	

2つの評価シートを複合的に評価することで、検討項目やそれらの「トレードオフの関係」を明確にすることができる

## 6. 試験の評価（1） 技術の評価

### 想定される対策シナリオの工程と特徴（一般的な対策）

項目	スケジュール							
	1	2	3	4	5	6	7	8
①路面下空洞調査	陥没	調査			陥没	調査		
②空洞の対策工事	工事	工事			工事	工事		
③路面性状調査			調査					調査
④路面の修繕・補修工事			工事					工事

項目	数量
発注手続き	10
計画準備	10
現地踏査(調査のみ)	4
現地作業	10
工事による交通規制	6
協議	10

### 想定される対策シナリオの工程と特徴（本試験の手法）

項目	スケジュール							
	1	2	3	4	5	6	7	8
①路面下空洞調査		調査					調査	
②空洞の対策工事		工事					工事	
③路面性状調査		調査					調査	
④路面の修繕・補修工事		工事					工事	

項目	数量
発注手続き	4
計画準備	4
現地踏査(調査のみ)	2
現地作業	4
工事による交通規制	2
協議	4

👉 調査を効率的に実施できるほか、交通規制の回数が少なく地域への負担が小さい



## 6. 試験の評価 (2) コストの評価

車両事故が発生した場合のリスク		コスト評価 (予防保全による費用効果)
定量項目	輸送車両の故障	10~1,000万円
	<b>輸送の停止・遅延</b>	最大350台/日・方向の輸送路で、輸送が10日停止した場合： $3.1\text{万円} \times 350\text{台} \times 10 = \underline{1\text{億}850\text{万円}}$
	除去土壌の飛散	清掃市20万円+測定費1万円+積み直し8万円 = <u>29万円</u>
	一般車両との事故	<u>数十万~数百万円</u> 、 <u>人身事故の場合は無制限</u>
	輸送ルートの変更	変更に係る協議の発生、輸送の遅延もしくは迂回によるコスト増
定性項目	<b>事業に対するイメージの低下</b>	事故の説明・協議、イメージアップ対策 イメージ回復

## 7. まとめと課題

### <まとめ>

- ・路面計測および路面下空洞調査を実施し、空洞、路面性状、路線の周辺環境等を考慮した**複合的なリスク評価**の手法を検討

- ・**3次元モデルを用いたとりまとめ**や調査結果を可視化した調書等、成果を視覚的に把握できるとりまとめ手法を考案

- ・本試験の対策シナリオは、重複作業や追加の工事の防止につながり経済的であるほか、**予防保全（リスク低減）**による費用効果もある

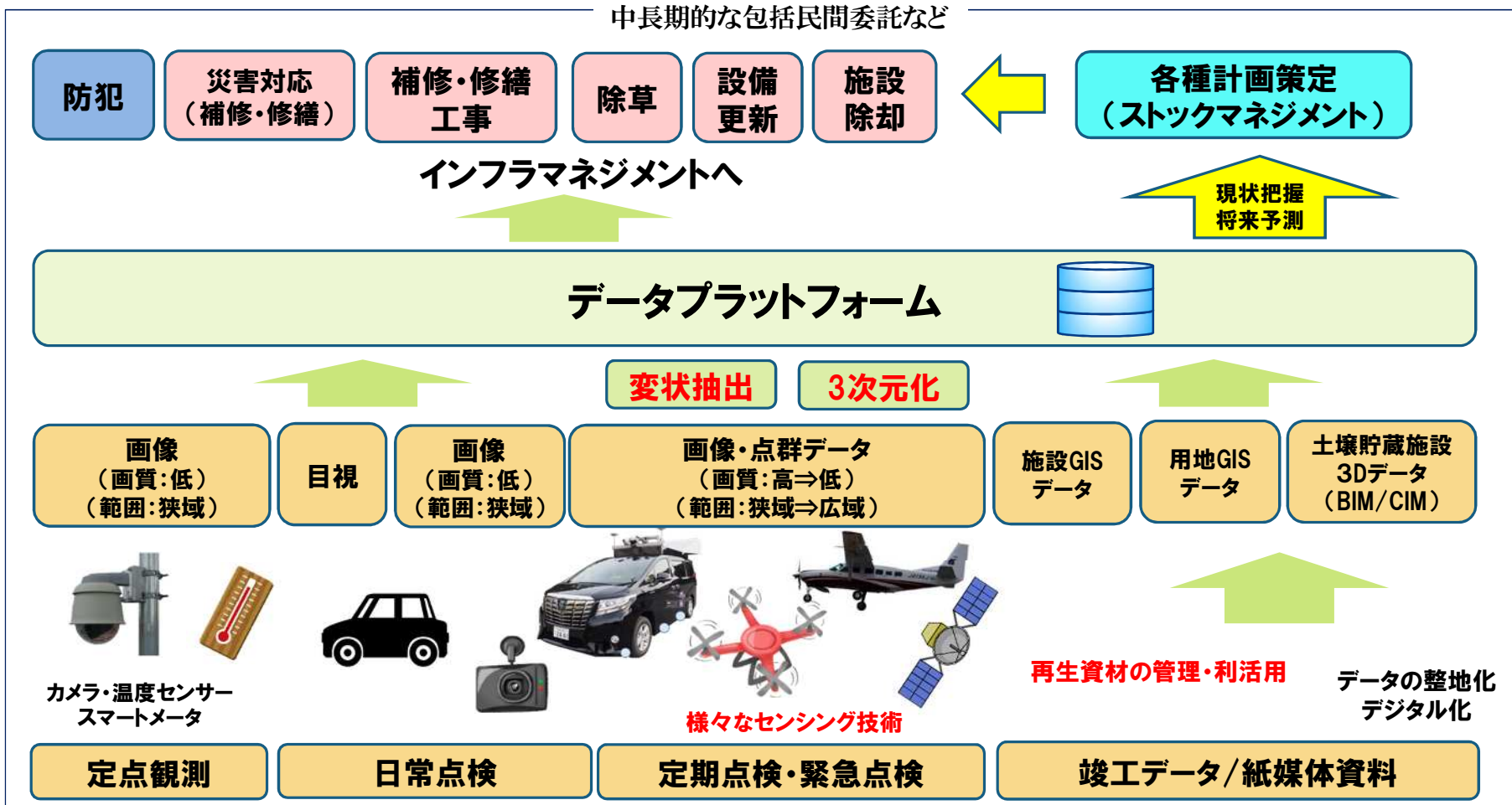
### <今後の期待>

- ・今後、中間貯蔵施設事業の輸送路やその他の事業等で、道路陥没の発生リスクを低減させる手法として本試験の知見の活用が期待される

- ・経年比較を行い変化の傾向を把握することで、予防保全の効果が一層高まると期待される

# 8. 今後の展望 -インフラ維持管理におけるDX-

効率的なインフラマネジメントの実現による**LCC低減**、**防犯**や**災害対応の迅速化**



**中間貯蔵施設ならびに関連施設等のデータのデジタル化・一元管理**  
 期待される効果: **迅速性、効率性、精度、コスト、被ばく線量低減**など

## 8. 用語解説

### 移動計測車両（MMS）

Mobile Mapping Systemの略。車両にレーザ計測機器が搭載されており、移動しながら効率的に路面を計測することができる。

### 縦断凹凸（IRI）

International Roughness Index（国際ラフネス指標）の略。路面プロファイルを用いて路面の凹凸の程度を表す統計値。MMS車両に備え付けのセンサーにより、路面の縦断方向のプロファイル（表面凹凸）を測定し、IRIを算出する。「舗装点検要領（平成29年3月, 国土交通省道路局）」の診断区分では、IRIの値が0～3.0未満を損傷レベル小、3.0以上～8.0未満を損傷レベル中、8.0以上を損傷レベル大として診断している。

### ひび割れ率

道路の補修を行う際の基準のひとつで、路面の全体面積に対してひび割れがみられる面積の割合。本試験では、路面計測の際に取得したラインスキャナーの画像を解析し、路面の損傷の指標となるひび割れ率を10m区間毎に算出した。算出したひび割れ率は、「舗装設計施工指針（平成18年度版）社団法人日本道路協会 平成18年」の規準に従い、ひび割れ率0～15%未満を軽度、15%以上～35%未満を中度、35%以上を重度として、損傷度合いを区分した。

### 3次元点群データ

レーザ測量で得られる位置座標  $(x, y, z)$  を持った点情報。専用のビューワー（LaserMapViewer、アジア航測株式会社）を用いることで、位置精度を持った3次元の画像として表現することができる。本試験では1,500点/m<sup>2</sup>以上の点群データを取得した。



ありがとうございました

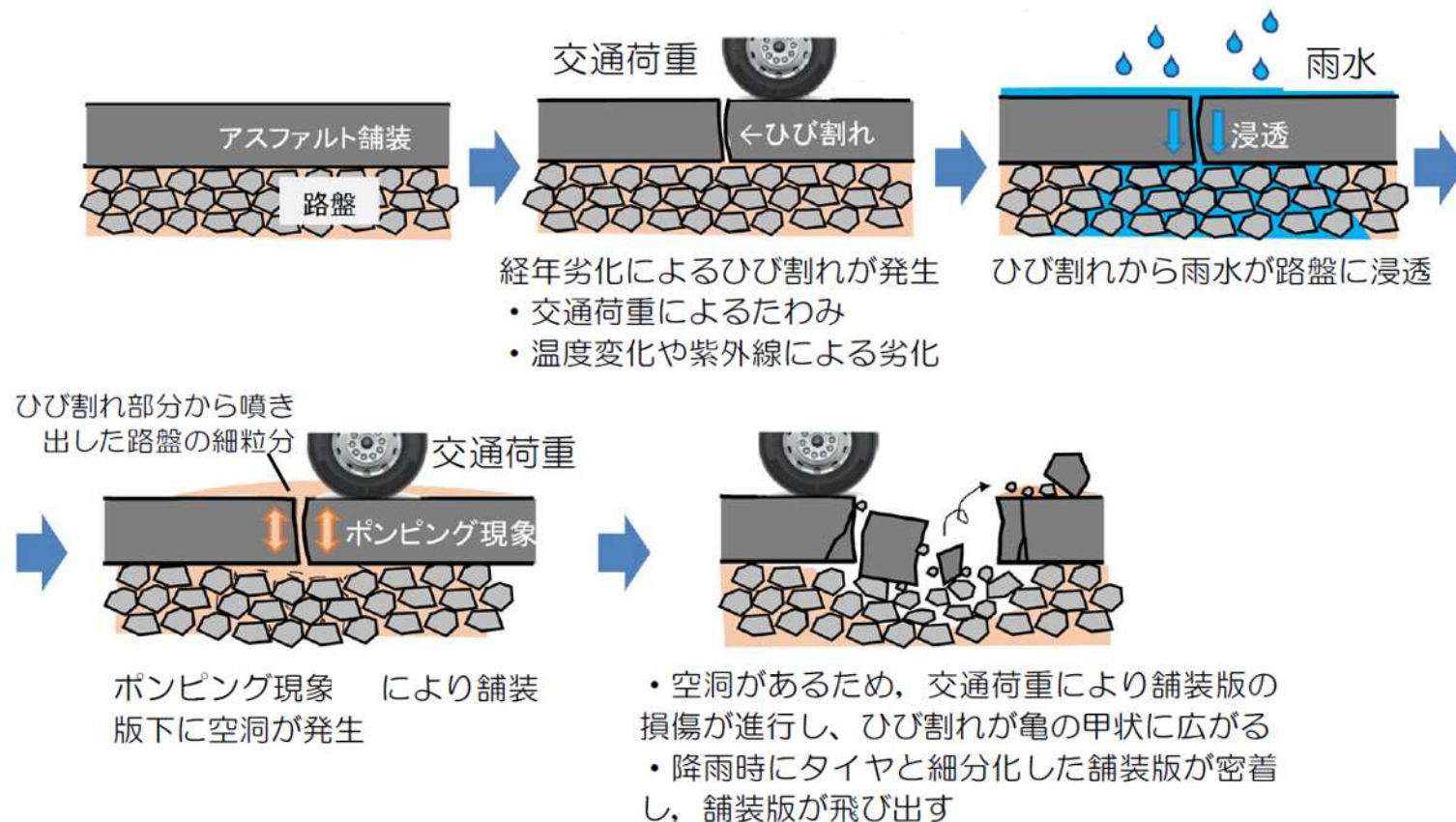




補足説明用スライド

# 1. 背景と実施方針(3) ひび割れ率の計測

路面の「ひび割れ」が道路陥没の発生の要因となる  
(→路面の劣化の指標として「ひび割れ率」を計測)

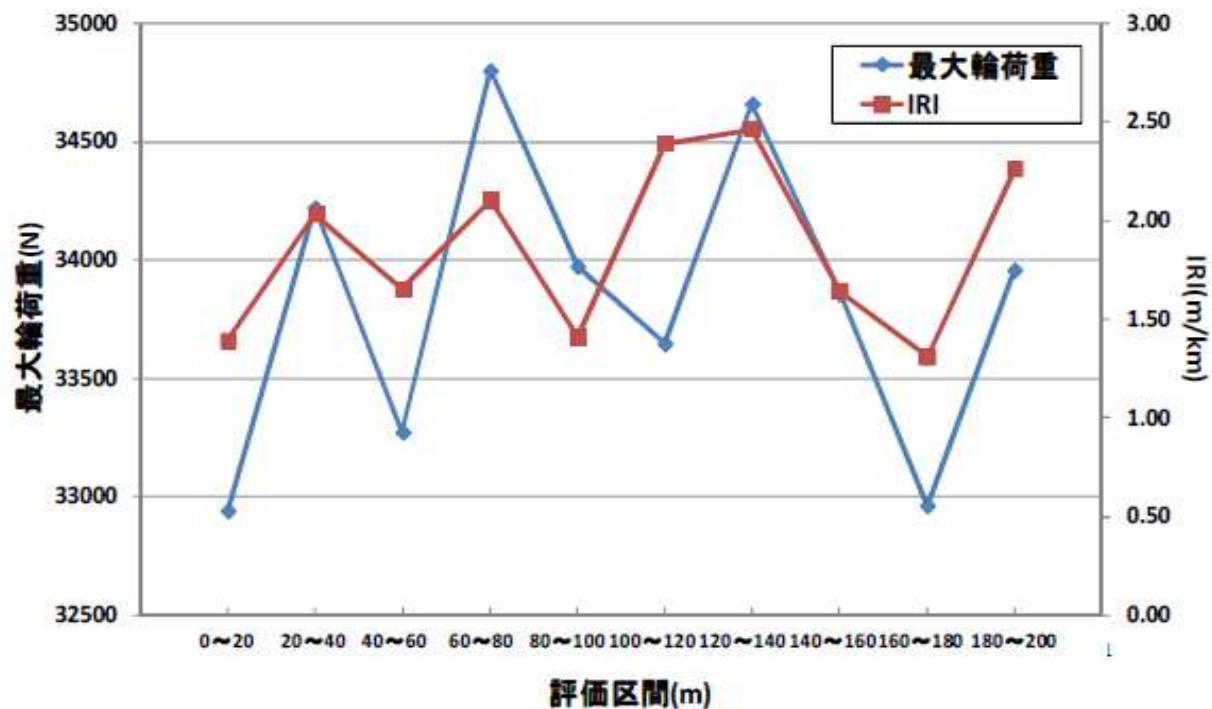


## アスファルト舗装の劣化メカニズム

「A県、アスファルト舗装の劣化メカニズム」より引用

# 1. 背景と実施方針(4) 縦断凹凸 (IRI) の計測

路面の「縦断凹凸 (IRI)」が道路陥没の発生の要因となる  
(→路面の損傷の指標として**縦断凹凸[IRI]**を計測)



## 縦断凹凸 (IRI) と最大輪荷重の関係

25tダンプが時速40kmで走行したと仮定

因泥他、平成21年、道路交通振動の発生要因となる衝撃的な荷重と路面性状の関係、土木学会第64回年次学術講演会より

# 1. 背景と実施方針(5) 3次元モデルによるとりまとめ

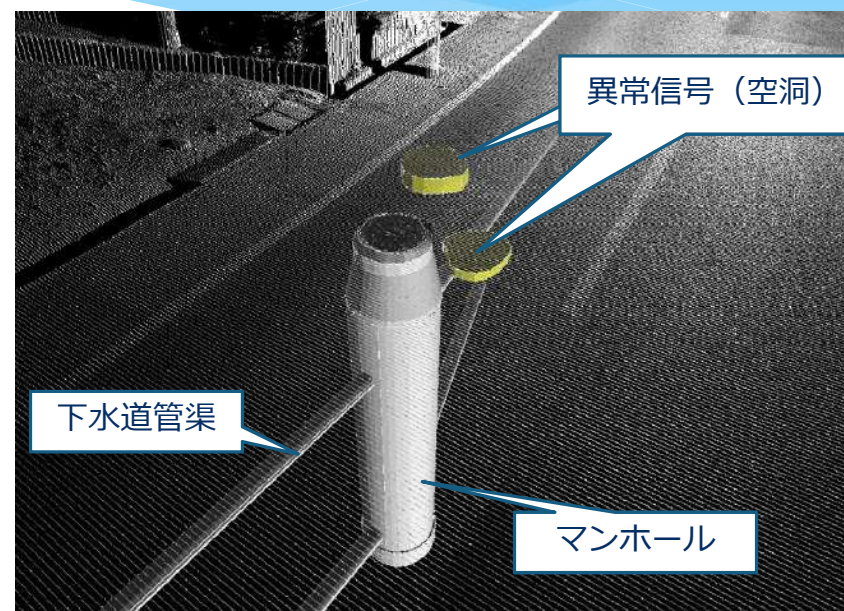
路面下の状況と路面の状況を3次元モデルにより「可視化」、  
空洞、路面、地下埋設物の関係性の把握（本試験の新規性）

## 一般的な路面下空洞調査



空洞の位置、規模、深さを整理  
地下埋設物との関係性や路面の変状  
との関係性を把握できない

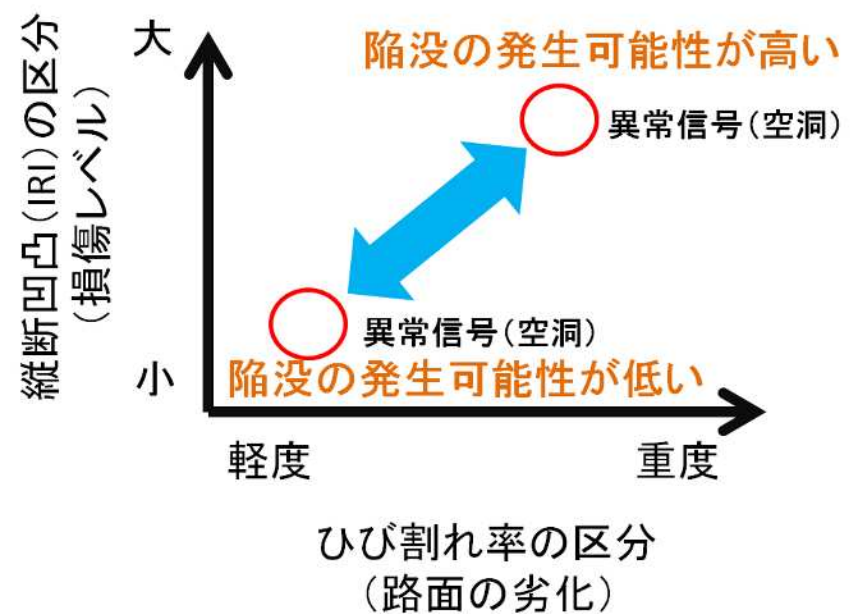
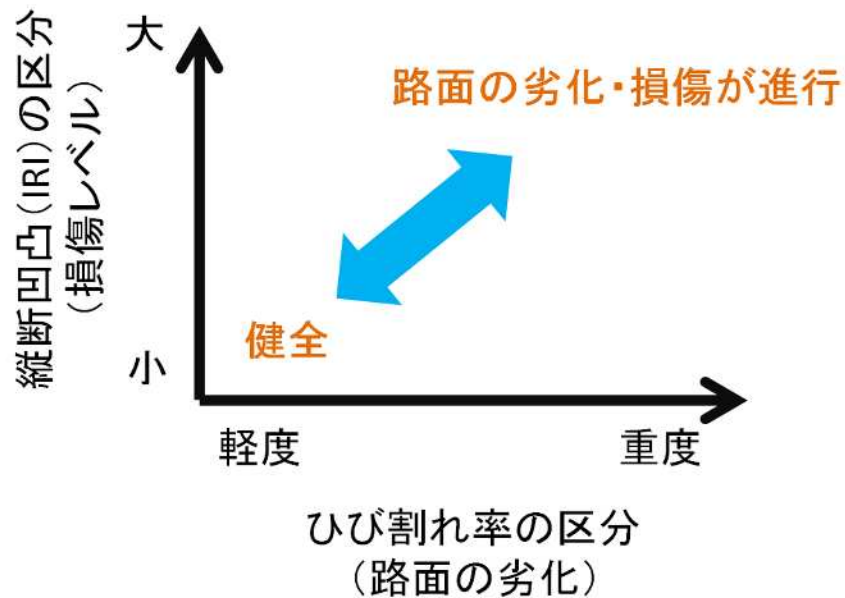
## 本試験



## 異常信号および地下埋設物の3次元モデルと 3次元点群データ

空洞、路面の変状、地下埋設物等の位置関係を立体的に可視化し、関係性を把握

## 4. 結果（8）道路陥没の発生可能性の評価の考え方



路面の劣化が進んでいる箇所に異常信号（空洞）が確認された場合、道路陥没の発生可能性が高いと評価した。グラフのエリアから視覚的に対策の優先度を把握する手法として本試験で考案した。



## 6. 試験の評価（2） コストの評価①

項目	一般的な対策シナリオ		本試験の対策シナリオ	
調査費用	【路面下空洞調査】 路線の長さ：50km	1,240万円	【路面・路面下空洞調査】 計画準備、協議等の重複 作業のコスト削減	1,800万円
	【路面性状調査】 報告書等作成	660万円		
	<b>合計費用</b>	<b>1,900万円</b>	<b>合計費用</b>	<b>1,800万円</b>
	評価	△	評価	○
工事費用	【空洞の対策工事】 ・開削工法25箇所 ・充填工法25箇所	5,600万円	【空洞対策】 ・開削工法25箇所 ・充填工法25箇所 ・アスファルト舗装:25箇所	5,600万円
	【路面の補修・修繕工事】 ・切削オーバーレイ工法 表層5cm, 幅4.0m, 約1km	2,000万円		1,900万円
	【追加工事】 25箇所	5,000万円	【追加工事】 なし	-
	<b>合計費用</b>	<b>12,600万円</b>	<b>合計費用</b>	<b>7,500万円</b>
	評価	△	評価	○
その他コスト	【発注手続き】 4業務分	160万円	【発注手続き】 2業務分	80万円
	【打ち合わせ協議】 4業務分	96万円	【打ち合わせ協議】 2業務分	48万円
総計	-	<b>14,718万円</b>	-	<b>9,536万円 (約35%減)</b>
総合評価	重複作業や追加工事によりコストが高くなる	△	重複作業の削減によりコストが低減される	○