

# 路面下空洞対策連絡会の振返りと今後の展開

東京大学生産技術研究所  
桑野玲子

第4回路面下空洞対策連絡会  
2023. 2/17

本連絡会の趣旨と経緯

## 課題先進都市の情報共有と連携

都市の危機管理における路面下空洞対策戦略会議  
(2017年8月～2018年5月)

博多駅前陥没(2016年11月)を契機として、地震時などの備えとして  
防災の観点から路面下空洞問題を考える

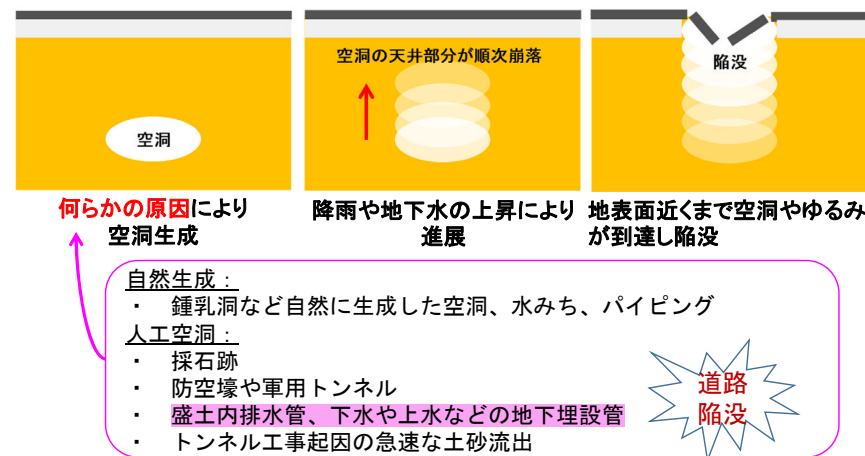
福岡市(議長)  
札幌市、仙台市、横浜市、神戸市、広島市、熊本市



維持管理は危機管理

## 路面下空洞・道路陥没問題の現況

道路陥没問題は1980年代より顕在化  
近年では年間約10000件(うち老朽下水管起因の小規模陥没が年間約3000件)



対策が困難な理由: **無兆候性** 陥没直前まで路面に兆候が現れない!  
表面から見えない地中の状態を診る必要あり

本連絡会の趣旨と経緯

## 空洞対策戦略会議における提言

**維持管理は危機管理** ー防災対策との連携ー

維持管理の中で空洞対策として取り組むべきアクション

- ・ 効率的かつ質の高い調査・補修の実施
- ・ 経験の共有の促進、空洞陥没データの共有と活用



第1回路面下空洞対策連絡会

## 第1回路面下空洞対策連絡会 (2019. 11/13-14)

目的: 路面下空洞対策の先行都市の経験の共有の促進  
合理的陥没対策に向けた課題の抽出

参加者: 国・自治体等の道路管理者、下水道管理者、鉄道管理者、インフラの維持管理に関わる民間企業の技術者を含む総勢約190名(見学会は100名)

2019年11月13日 シンポジウム  
於 東京大学生産技術研究所



話題提供: 国総研、東京大学、埼玉大学  
福岡市、神戸市、藤沢市、札幌市

2019年11月14日 空洞載荷試験見学会  
於 埼玉大学構内実物大試験道路



全国の都市の成熟化が進み中小都市においても陥没対策が必要となる中で、課題先進都市の知見・データや経験を共有・集約して活用するプラットフォーム構築の実践を目指し、全国の陥没対策に関わる施設管理者間の連携を強化すること、またそれを継続する努力が重要であることを確認した。

5

## 第3回路面下空洞対策連絡会 (2022. 3/4)

目的: 課題先進都市の知見・データや経験を共有・集約し活用するプラットフォーム構築  
全国の陥没対策に関わる施設管理者間の連携強化

参加者: 事前登録約570名  
(そのうち国・自治体等インフラ管理者240名、民間技術者260名、大学関係者40名)

近年、インフラ老朽化に起因する道路陥没問題が深刻化する中、地中の健全性を適切に診断するために、

インフラ施設管理の実務を担う官  
道路陥没予防関連技術開発に携わる産  
未知のメカニズム解明に取り組む学  
の連携が不可欠



オンラインシンポジウム  
(話題提供: 東京大学、国総研、寒地土研、  
静岡市、神奈川県、府中市)

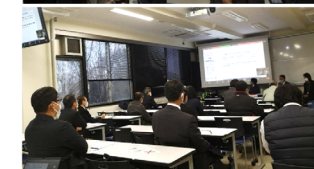
路面下空洞に限らず土構造や地中インフラの維持管理に資する  
"見えない地中を診る"プロジェクト、  
空から地表からインフラを診る研究会 を始動

7

## 第2回路面下空洞対策連絡会 (2020. 12/3)

目的: 課題先進都市の知見・データや経験を共有・集約し  
活用するプラットフォーム構築  
全国の陥没対策に関わる施設管理者間の連携強化

参加者: 国・自治体等のインフラ管理者、インフラの維持管理に関わる民間企業の技術者を含む総勢約220名  
(見学会はオンサイト80名+YouTubeライブ中継)



オンライン+オンサイトのシンポジウム  
(話題提供: 東京大学、埼玉大学、神戸大学、  
福岡県、福岡市、川崎市、千葉市)



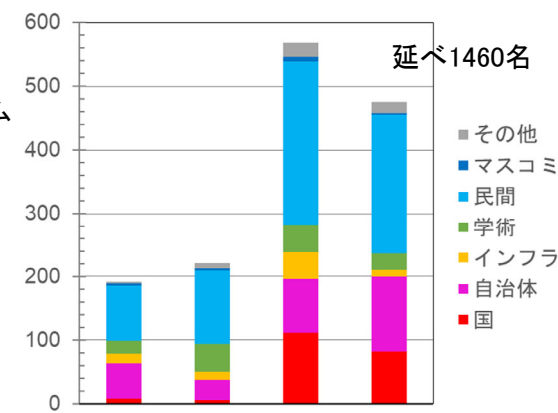
見学会: 実物大試験道路における陥没試験(車両後輪直下に空洞あり)

6

## 路面下空洞対策連絡会 (2019~2023)

連絡会における発信:

- 路面下空洞の実態
- 空洞生成・成長・陥没のメカニズム
- 実物大試験道路の各種試験
- 道路表面・地中モニタリング技術
- 事例紹介(北海道三笠市道道陥没)
- 陥没対策 国の動向
- 陥没対策 自治体における取組事例  
神奈川県、福岡県  
福岡市、札幌市、千葉市  
藤沢市、静岡市、府中市
- 陥没対策に関わる技術紹介  
空洞探査、陥没危険度診断  
調査・補修、空洞充填  
路面補強、路盤補強  
陥没メカニズム

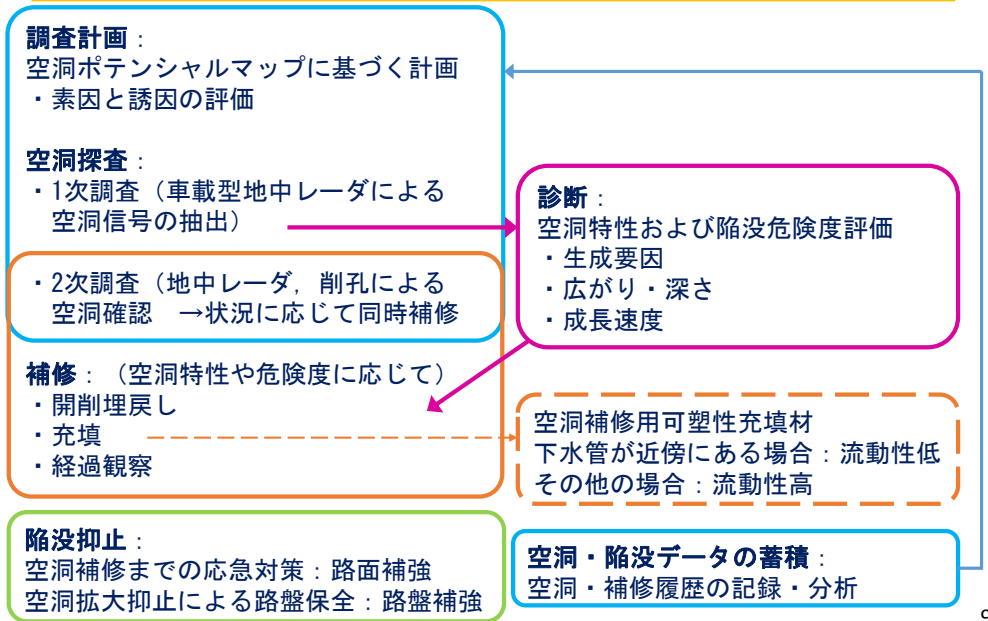


路面下空洞対策連絡会シンポジウムの  
参加者の推移

インフラ管理者・利用者共に関心の高まり  
効率的・合理的陥没対策の社会実装のニーズ増

8

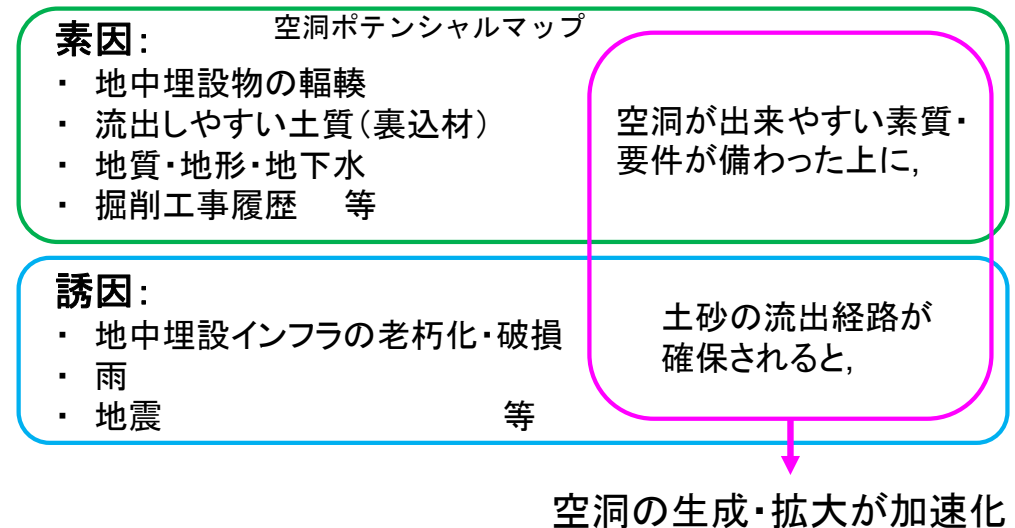
# 道路陥没予防ソリューション



9

## 調査・診断

# 空洞生成・拡大の要因

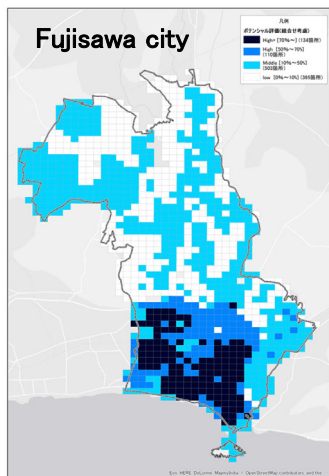


10

## 調査計画

# 空洞/陥没ポテンシャルマップの試作と検証

既存の空洞・陥没データと周辺状況・環境条件を分析し、  
空洞ポテンシャル：空洞の出来やすさの指標（生成可能性）を設定



空洞形成に影響する4つの支配要因

- ・下水合流式・1960-1980年代
- ・下水管取付管多い
- ・砂質土
- ・地下水位（参考）GL-3m以浅

ポテンシャル	要因	頻度 (/km) 陥没	空洞
High+	3因子以上	1.2	4.6
High	下水・砂質	0.7	2.4
Middle	上記以外	0.4	0.4
Low	なし	0.1	0.3

藤沢市では本マップに基づいた計画による調査を開始  
調査結果に基づいてマップのアップデート

11

## 調査計画

# 空洞/陥没ポテンシャルマップ

空洞/陥没ポテンシャルマップを作成することにより

当該地における空洞生成の主な素因を同定  
調査頻度  
調査重点地域

空洞/陥没ポテンシャルマップを作成するためには

空洞・陥没・補修データの整理と管理  
埋設インフラや地形・地質・地下水データとの統合・分析

12



## 空洞探査

### 一次調査(路面下空洞探査車による計測+データ解析)

空洞の可能性のある信号を抽出

空洞上面の大きさと深さ

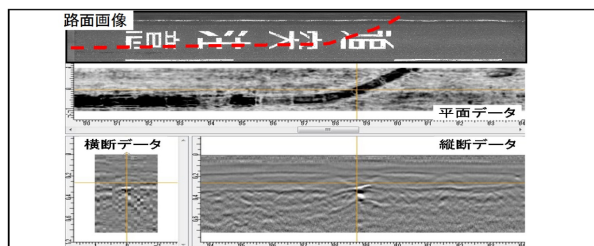
路面下空洞探査車による計測

三次元データ化

データ解析

1.5m以浅、0.5m四方以上の大きさの空洞

浅層部空洞が対象



探査の信頼性の向上により二次調査省略も可能

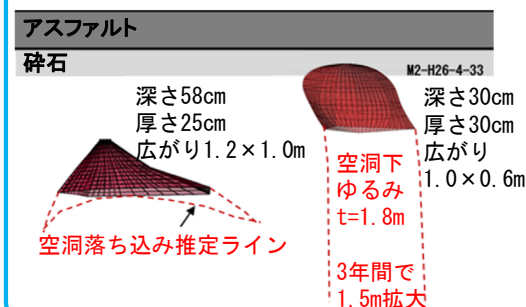
13

## 空洞の3次元計測

### 空洞形状・体積の把握

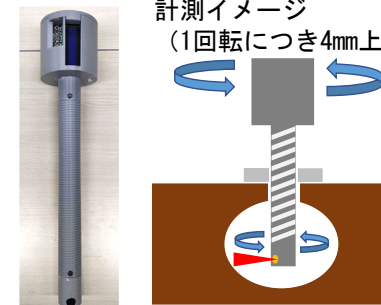
- 空洞形状から生成原因や周辺状況を推定
- 充填補修の際の充填材必要量の把握

### 福岡市の現道モニタリングにおける計測例



路面下空洞観測孔に挿入可能な点群観測装置の開発

計測イメージ  
(1回転につき4mm上昇)



実物大試験道路に設置した空洞で実測した内空3次元形状



14

## 土砂流出による空洞生成・拡大・陥没過程

模型実験 (土槽底部の開口部より給排水繰返し)

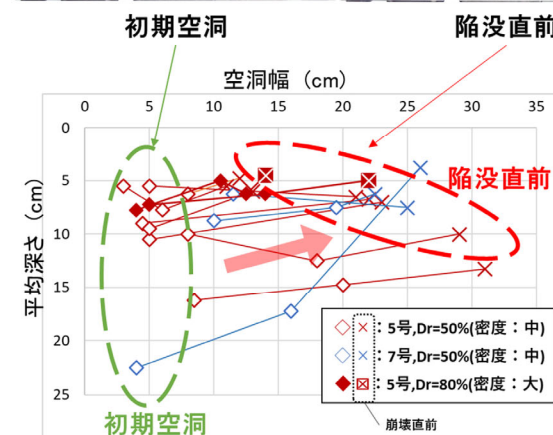
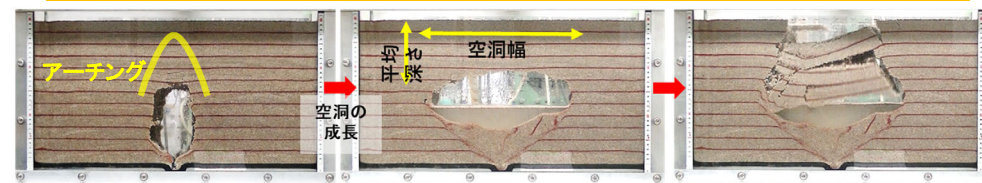
初期水位



初期空洞→ 空洞の拡大・進展→地表面の崩壊・陥没

15

## 空洞拡大メカニズムと陥没危険度



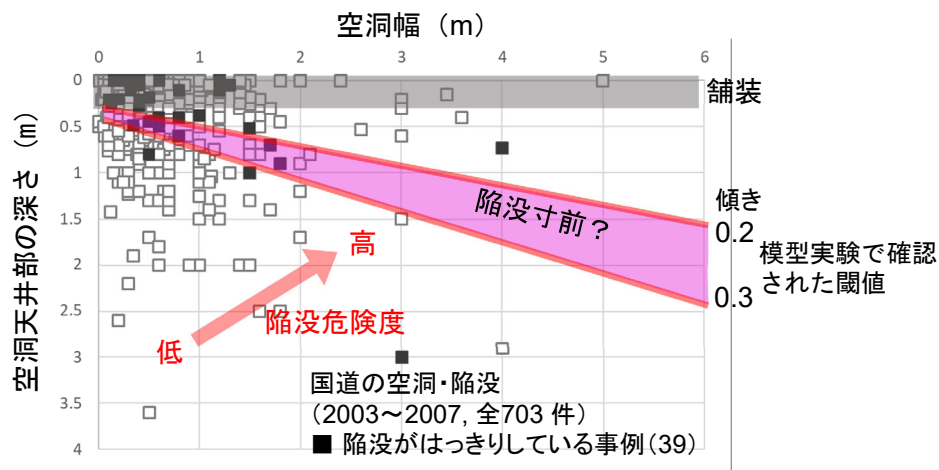
空洞は、土砂流出が継続する場合、地下水位以下で水平方向に広がり成長する

地盤の支持力喪失に関する限界状態は、空洞幅と空洞天端深さで概ね表現でき、**空洞深さと空洞幅の比が0.2を切ると空洞上の土は自重による崩落の危険がある**

16

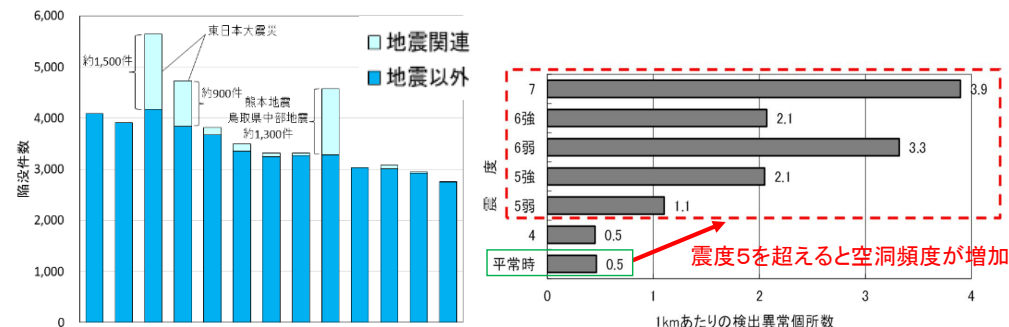
# 空洞の陥没危険度評価

## 国道の空洞・陥没事例



17

# 空洞の陥没危険度(地震時)



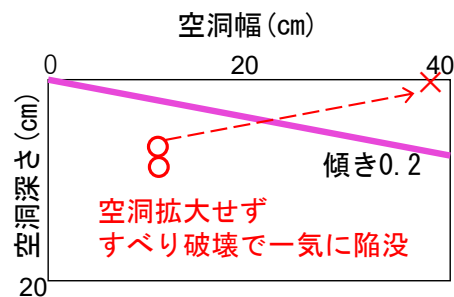
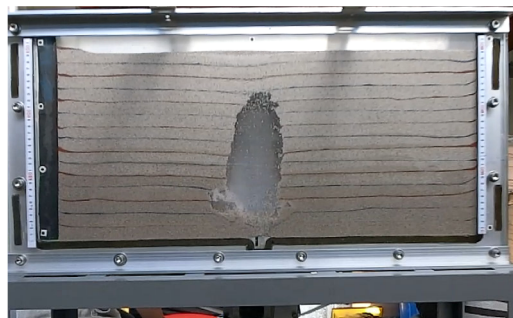
下水管路に起因する道路陥没  
下水道: 下水道の維持管理 - 国土交通省 (mlit.go.jp)より

地震時に陥没件数が増加  
揺れの大きい箇所で空洞頻度が増加  
特に危険度ランクが高い(浅い幅広の)空洞が増える

18

# 空洞の陥没危険度(地震時)

初期空洞を作製して加振  
最大加速度: 1200 gal



陥没危険度が低い空洞も、  
地震時には空洞内への側部土塊のすべり破壊により拡大  
↓  
地震時に危険度ランクが高い空洞が増加する調査結果に整合

19

# 下水管への漏水による空洞形成

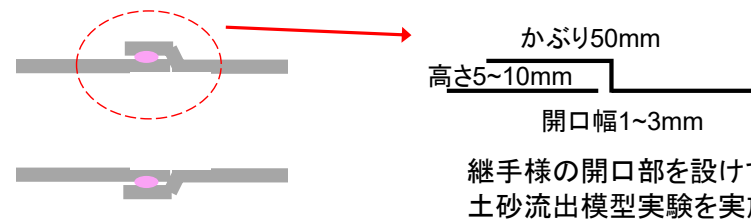
## 現道モニタリングにて空洞生成・成長の事例取得

急激に成長した空洞を確認, 開削調査を実施  
下水管内からのカメラ調査では確認できないような軽微な損傷が空洞の原因となりうる事が判明



空洞の開削調査  
合流管  
(Φ800, GL-1.64m)

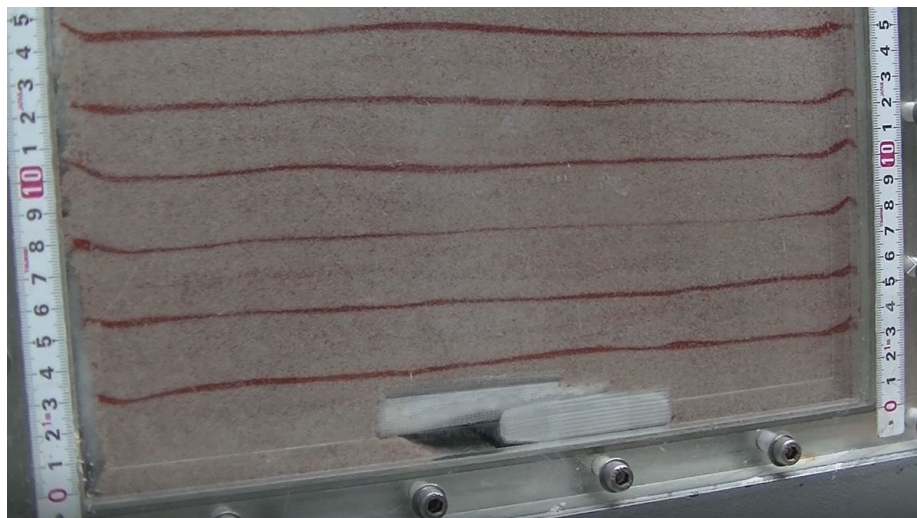
管渠継手部の止水パッキンの損傷による漏水は土砂流出の原因箇所となりうるか?



20



## 下水管への漏水による空洞形成



継手のかぶり部が水で満たされて、砂粒を水平に運ぶのに十分な流速があれば流出するむしろ開口高さが適度に低い方が流出増



## 空洞の陥没危険度評価と成長速度

地盤の陥没危険度は、  
空洞の天井深さと空洞幅の比で評価可能  
 $\text{天井深さ} / \text{空洞幅} \approx 0.2 \rightarrow \text{陥没寸前}$

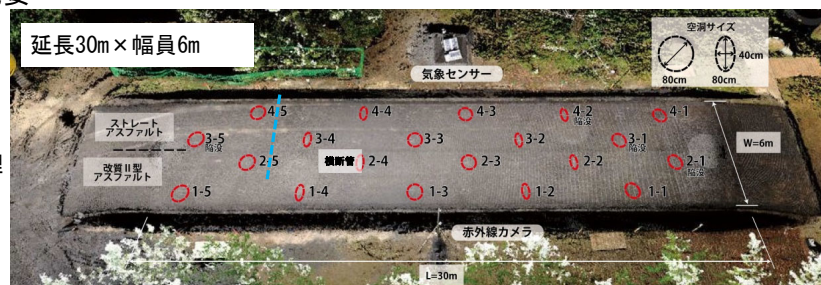
高い地下水位や地下水位の上下は空洞の成長を促進

土砂流出が継続する条件が揃うと（地下水位、土質など）、  
空洞の成長は意外に速い（年単位ではなく、日単位または時間単位？）

## 実物大試験道路の構築

### 試験道路の概要

表層：  
ストリートアスファルト  
改質Ⅱ型  
上層路盤：  
粒調碎石  
瀝青安定処理  
モニタリング：  
気象  
路面温度  
路面変位



### 試験体の構築

細礫詰め土嚢を路盤内に設置し舗装を敷設し、その後細礫を吸引し空洞生成  
φ80×h10cmおよび80×40×h10cmの空洞を天井深さ10～35cmに1～3期で計51個設置

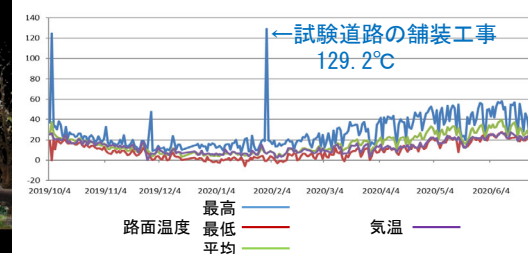


## 実物大試験道路

実物大試験道路の点群  
+空洞三次元合成画像



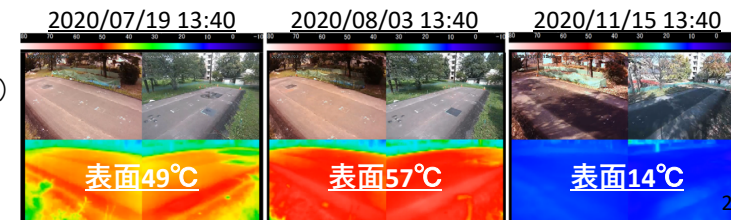
気温と路面温度（2019年10月～2020年7月）



2019年10月～2020年7月 路面観察と路面温度

路面温度の記録  
(2019/10/2～2020/12/1)

最高 62.0℃  
最低 -5.9℃



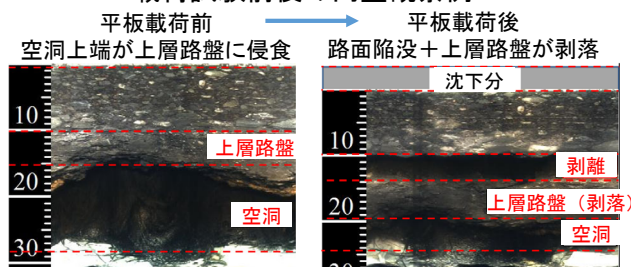
# 実物大試験道路における空洞載荷試験

## 空洞観察・載荷試験

- ・内空観察、3D計測
- ・FWD試験
- ・小型FWD試験
- ・平板載荷試験

充填空洞、舗装補強後の試験も実施

載荷試験前後の内空観察例



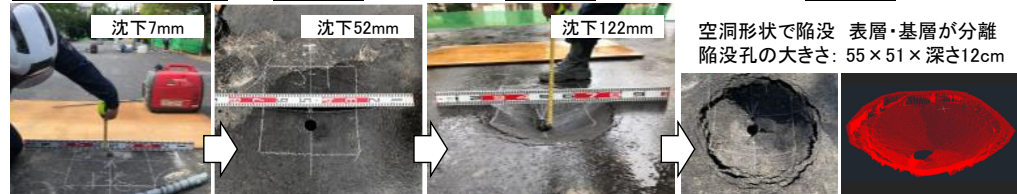
自然陥没 [ストAs・As直下(Dp10cm)・φ80cm・舗装温度約40℃]

空洞作製から1時間後

23時間後

27時間後

46時間後

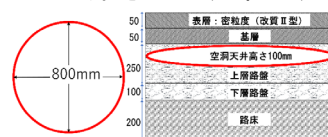


26

# 実物大試験道路における空洞載荷試験

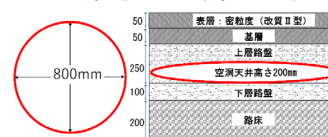
FWDたわみ量と平板載荷試験沈下量は  
空洞が深いほど変状が小さい

深さ10cm(As直下)



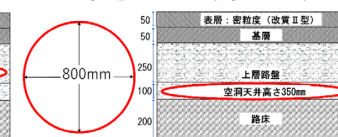
模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面

深さ20cm(路盤内)

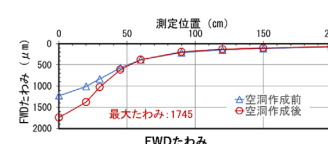


模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面

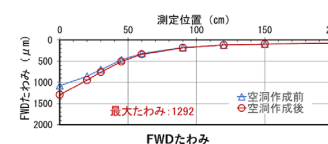
深さ35cm(路盤下)



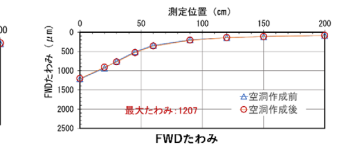
模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面



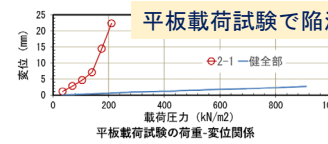
FWDたわみ



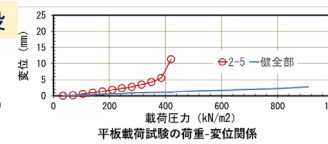
FWDたわみ



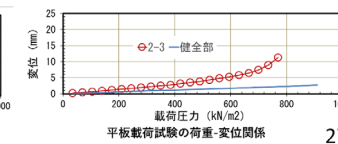
FWDたわみ



平板載荷試験で陥没



平板載荷試験の荷重-変位関係



平板載荷試験の荷重-変位関係

27

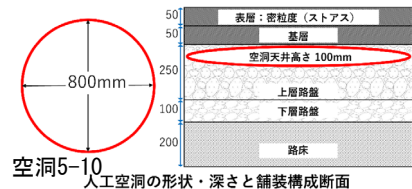
# 実物大試験道路における空洞載荷試験

夏季(日射・路面温度)の影響

最大たわみ量=2000 μm超~陥没までの余寿命(時間)

夏場は日単位・他は月単位

深さ10cm空洞 FWD後3日で陥没



人工空洞の形状・深さと舗装構成断面



FWDたわみ

2020/9/4  
路面温度  
53℃

同じ諸元の空洞

空洞4-1(ストラス) FWD後4ヶ月で陥没



FWDたわみ

2020/3/2  
路面温度  
10℃

空洞1-1(改質II型) FWD後6ヶ月で陥没



FWDたわみ

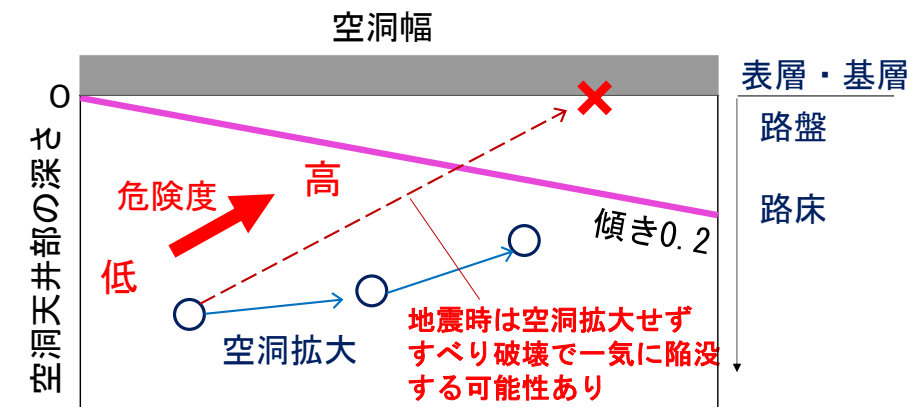
2020/5/21  
路面温度  
19℃

28

# 舗装構造を考慮した陥没危険度評価

舗装構造によらず、路面下空洞により路盤が侵食され  
ると、路面陥没は時間の問題

陥没危険度は路盤以下からの空洞深さで評価



29



## 空洞充填材の開発

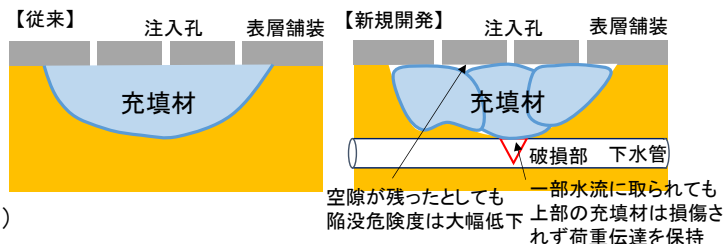
- ・既存の充填材の課題を整理し、要求性能や開発目標を設定
- ・充填材の土中への浸透の確認実験
- ・モニタリング路線内の空洞充填の試行

↓ 破損した下水管に漏出した事象あり

近傍に破損した下水管があっても漏出しないよう開発目標を修正

目標物性：

- ①可塑性
- ②水中不分離性
- ③分離抵抗性
- ④単位容積質量  
(軽量、1.0以下)
- ⑤一軸圧縮強さ  
(再掘削性を考慮)
- ⑥速硬性



空洞補修用可塑性充填材を開発

水の添加率によって充填材の流動性を調整でき、周囲に破損した下水管がある場合は低流動性、無い場合は高流動性の使用が可能  
再掘削性を考慮して強度を必要十分な範囲に設定

30

## 舗装の補強方法の開発

### 路盤補強

空洞上に地盤（路盤）が残リアーチ効果が期待できると陥没は起こりにくい。路盤内に補強材を敷設し路盤の崩落を防止。

ジオテキスタイルによる補強（路盤の崩落防止）

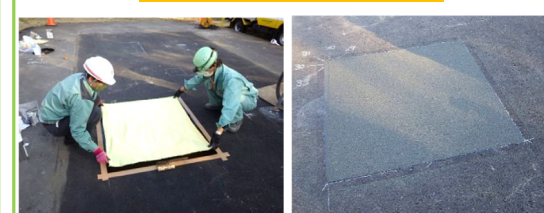


実物大試験道路における補強材（ジオテキスタイル）の敷設

### 路面補強

空洞を認知してもすぐに補修できない場合のために、路面に応急対策として補強材を貼り付け、強化膜を作ることにより陥没を抑制。

強化膜（応急対応）



施工状況（アミド繊維シート）

路面補強の外観

31

今後の展開

## 路面下空洞対策の今後の課題

路面下空洞対策に関わる要素技術は概ね整備済、ただし個々の技術のアップデートとそれらの統合が必要

今後の課題および社会実装するにあたっての留意点：

- ・空洞幅と空洞深さで評価する陥没危険度チャート上で、比較的危険度が低いと判定される空洞でも、土質や地下水・降雨条件によっては成長が速い場合がある。また特に空洞厚が大きい場合は地震時に空洞内へのすべりが発生し、陥没危険度が急上昇する場合がある。  
空洞の成長速度の定量評価に関しては、さらに検討を要する。
- ・空洞・陥没データの蓄積・分析を、次年度以降の空洞調査計画に生かす。また、都市間、道路管理者間で陥没対策の知見や経験を共有することが、道路陥没対策の合理化につながる。  
道路管理者やインフラ施設管理者の連携体制の整備が望まれる。

道路管理者間で路面下空洞に関する情報・知見を共有する仕組みとプラットフォームを構築

今後の路面下空洞対策連絡会は国土交通省に託します

32

33

## 道路陥没対策と安全・安心な都市インフラ

### 現状

- ・道路陥没問題は都市の成熟およびインフラの老朽化と不可分  
都市の急激な成長から約20年超で問題が顕在化
- ・気象の激甚化により問題は加速化

### 陥没対策

- ・探査によって路面下に空洞を見つけ、陥没を未然に防止  
空洞/陥没ポテンシャルの把握による、効率的な調査
- ・空洞の成因や発生場所等の条件により、拡大・進展速度や陥没危険度が異なる → 地域特性の把握と陥没危険度の評価
- ・道路陥没防止のためには路盤の保全が重要
- ・空洞特性や危険度に応じた補修工法の開発および適切な選択
- ・空洞・陥没データの蓄積・分析および施設管理者間の情報共有・連携により、効率的・合理的な道路・インフラ管理へ