

路面下空洞の実態と陥没対策

東京大学 生産技術研究所

桑野玲子

陥没の原因となる地盤内空洞

地盤陥没のプロセス



何らかの原因により空洞生成

降雨や地下水の上昇により進展

地表面近くまで空洞やゆるみが到達し陥没

自然生成:

- ・ 鍾乳洞など自然に生成した空洞、水みち、パイピング

人工空洞:

- ・ 採石跡
- ・ 防空壕や軍用トンネル
- ・ 盛土内排水管、下水や上水などの地下埋設管
- ・ トンネル工事起因の急速な土砂流出

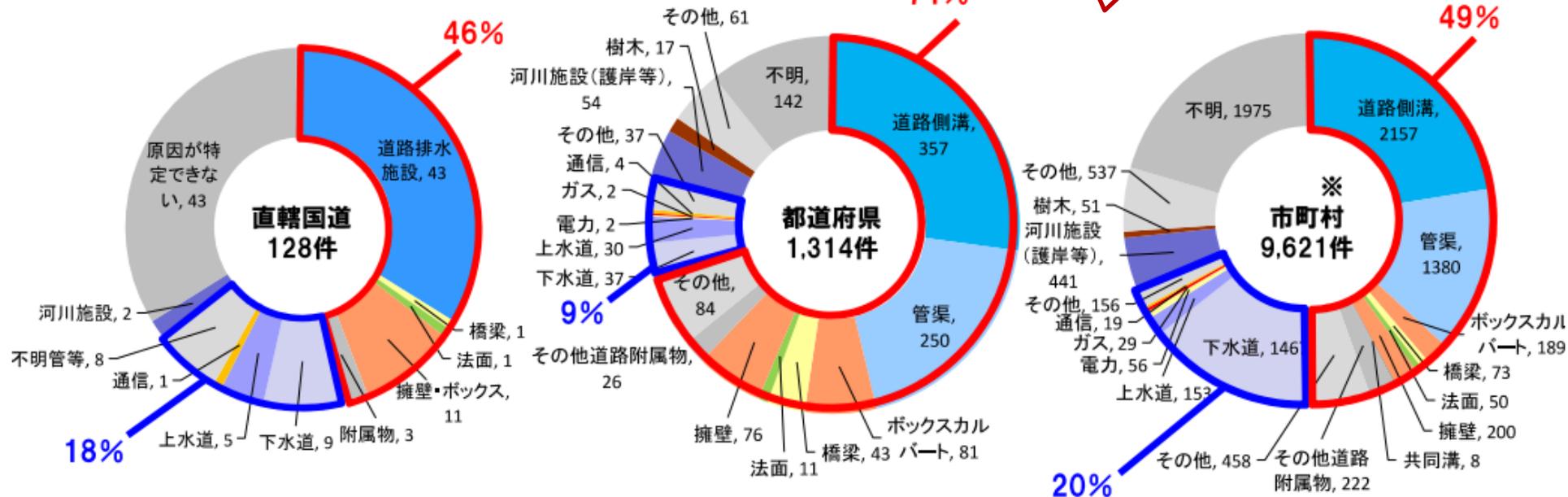
道路
陥没

都市の道路路面陥没

道路の陥没発生件数とその要因：道路陥没発生件数の内訳

平成30年度

総数約10000件



※ DID:人口集中地区
 ※ ポットホールは含まない

 道路施設が要因の陥没

 道路占用物件が要因の陥没

※政令市、特別区含む

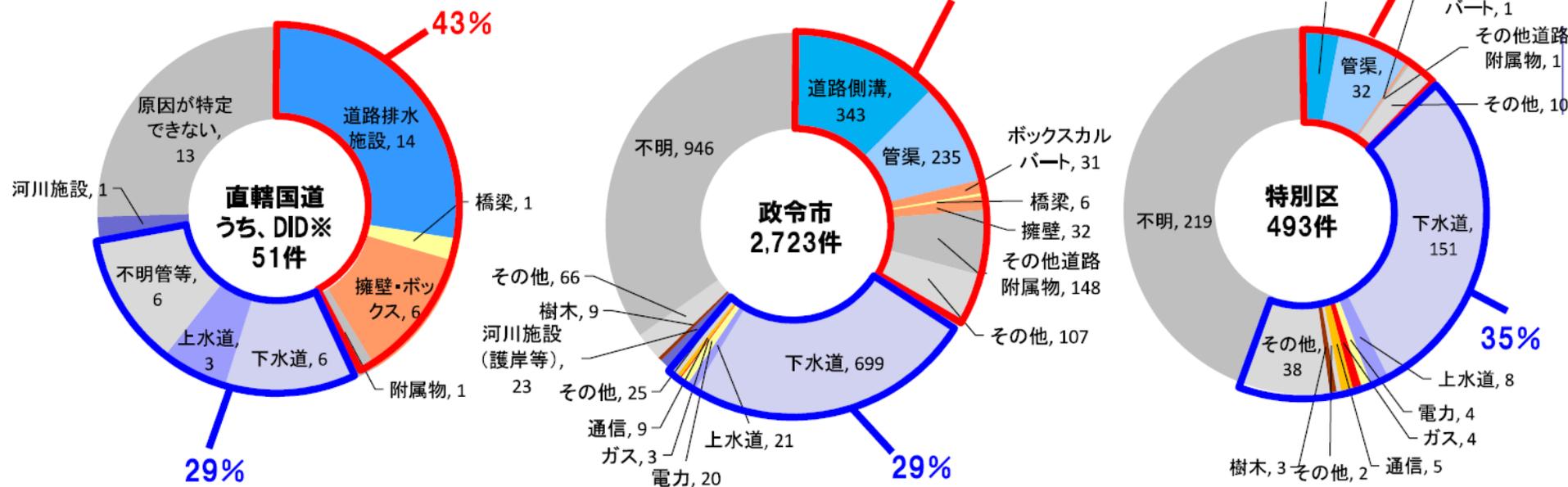
(出典)道路局調べ

都市の道路路面陥没

都市部における道路の陥没発生件数とその要因：道路陥没発生件数の内訳

平成30年度(都市部)

下水道など埋設管起因が多い
原因不明が1/3程度



※ DID:人口集中地区
※ ポットホールは含まない



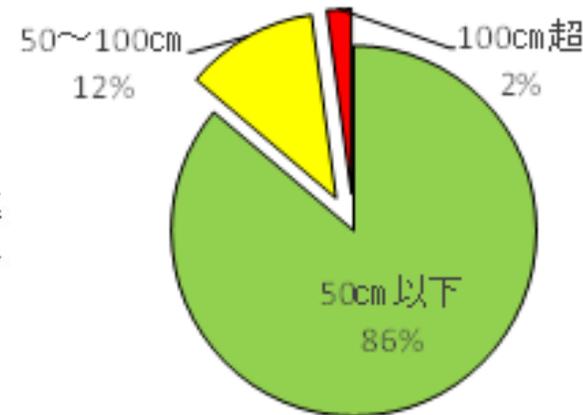
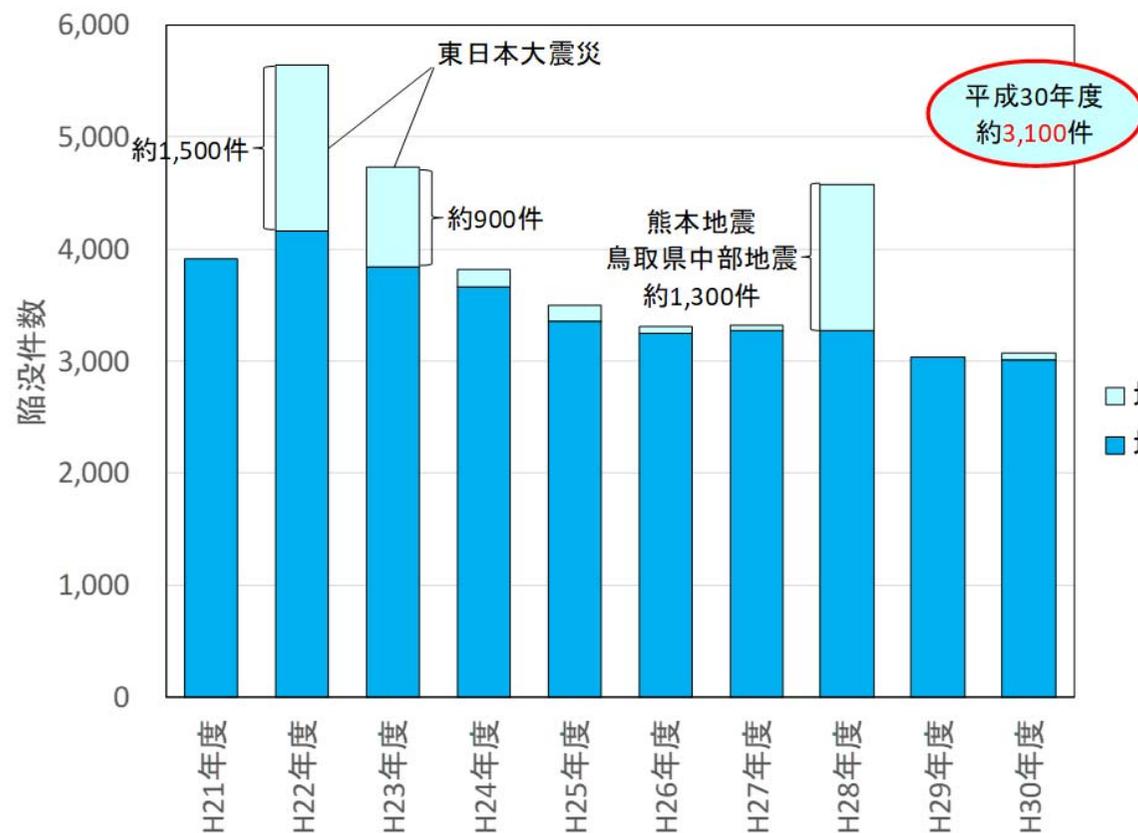
道路施設が要因の陥没



道路占用物件が要因の陥没

(出典)道路局調べ

下水管路に起因する道路陥没

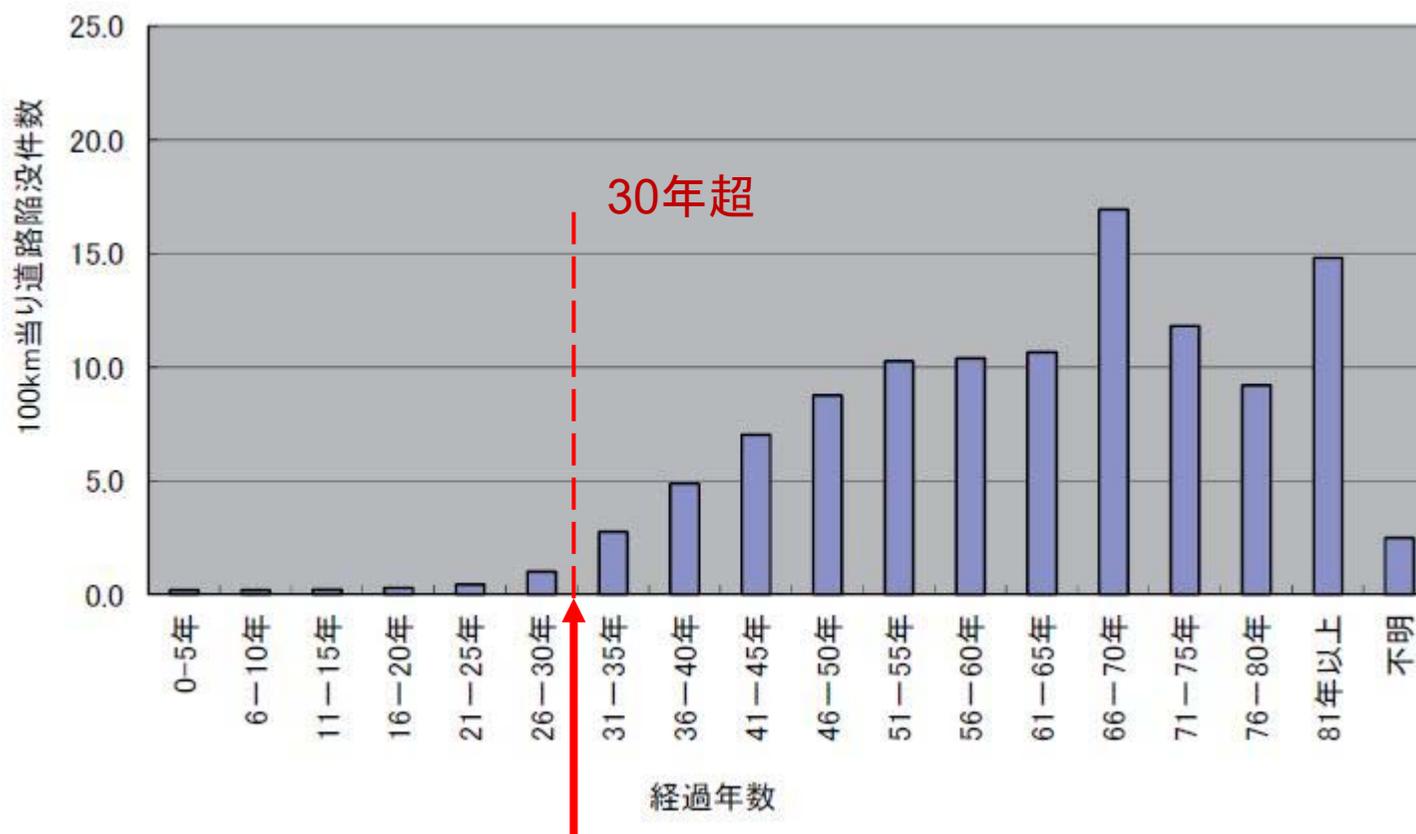


約9割が50cm未満の浅い陥没で規模の小さいものがほとんど

年間約3000件！

下水管の損傷による道路陥没

下水管の経過年数と道路陥没発生頻度



下水管敷設後30年を経過すると道路陥没の発生が増加する。

出典：横田、深谷、宮本(2012)、下水道管路施設に起因する道路陥没の現状(2006-2009年度)、国土技術総合政策研究所資料No.668

下水管と道路陥没

- 管渠の老朽化と道路陥没には明らかな相関がある。
- 管渠の軽微な損傷でも道路陥没を引き起こすことがある。
- 陥没発生件数が多いのは、
 - 供用後25～30年以上経過した管
 - 夏季
 - 降雨時・降雨後
 - 陶管、次にコンクリート管
 - 取付管、またその接続部



塩ビ管継手部のクラック
に起因する道路陥没

ただし、付近に管の損傷が確認されない陥没事例(原因不明)も少なくない。

路面下空洞 → 道路陥没



← 知らぬが仏??

陥没数 ≪≪ 空洞数

陥没を未然に防ぐための
路面下空洞探査

何故路面下空洞ができるのか？
空洞がどのように拡大・進展し、路面陥没に至るのか？

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

空洞対策戦略会議における提言

維持管理は危機管理 —防災対策との連携—

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170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

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



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

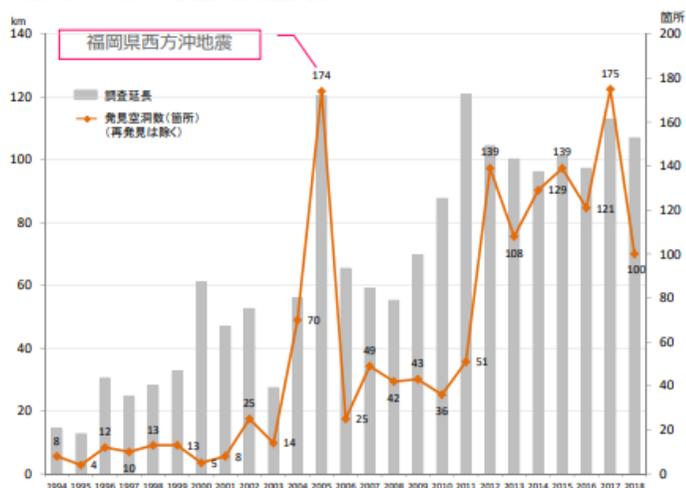


全国の都市の成熟化が進み中小都市においても陥没対策が必要となる中で、課題先進都市の知見・データや経験を共有・集約して活用するプラットフォーム構築の実践を目指し、全国の陥没対策に関わる施設管理者間の連携を強化すること、またそれを継続する努力が重要であることを確認した。

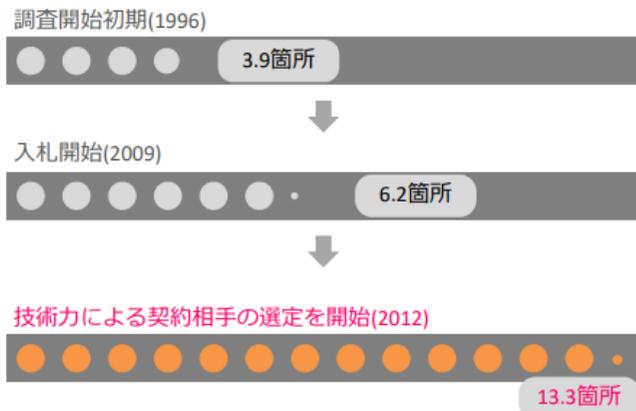
第1回路面下空洞対策連絡会における先進事例の紹介

福岡市:
26年間の調査実績と探査技術の発達

福岡市における空洞調査実績



10 kmあたりの平均発見空洞数の変遷



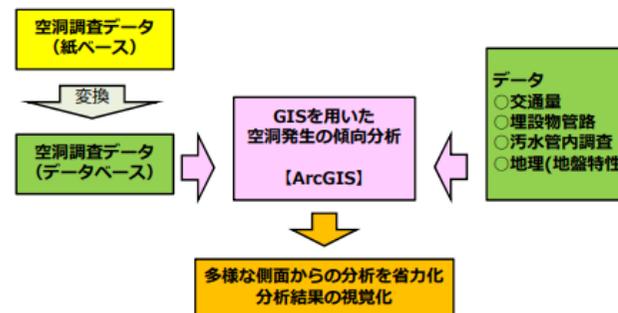
神戸市:
神戸減災研究会と連携し、産官学で空洞対策を実施

神戸市における路面下空洞対策の産官学協働研究の紹介

神戸の減災研究会会長 濫谷 啓
神戸市建設局 小松 恵一

空洞発生傾向分析

神戸市が有する空洞調査データおよび空洞発生の原因となるデータを組み合わせることにより、空洞発生のカテゴリ、傾向などの分析を行う。



第1回路面下空洞対策連絡会における先進事例の紹介

札幌市:

北海道胆振東部地震後の調査結果では
空洞頻度が増加

路面下空洞調査実施状況

年度	調査延長	1次調査結果		2次調査結果	
		異常信号数 (箇所)	発生率 (箇所/km)	実施箇所数 (箇所)	空洞箇所数 (箇所)
H27	230km	369	1.60	218	172
H28	233km	364	1.56	296	268
H29	254km	465	1.83	239	205
H30※	253km	424	1.68	145	136
	224km	626	2.79	37	28
R1※	242km	307	1.33	109	96
	118km	212	2.02	60	50
合計	1,554km	2,767	1.78	1,104	955

※H30およびR1の下段は北海道胆振東部地震に関する調査

【地下鉄路線における震災前後の調査結果】

地下鉄路線名	調査延長 (km)	1次調査結果 (異常信号数)		備考
		震災前 (H25)	震災後 (H30)	
南北線	20 km	72 箇所	116 箇所	西4丁目線など
東西線	97 km	232 箇所	257 箇所	南郷通など
東豊線	38 km	13 箇所	166 箇所	東15丁目屯田通など
地下鉄路線合計	155 km	317 箇所	539 箇所	

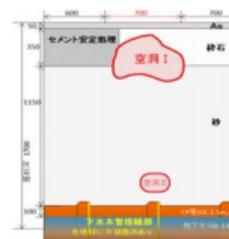
藤沢市:

下水道の破損がなくても漏水部から土砂を
引き込み空洞が発生する事例あり



陥没原因の究明 事例2

陶管 Φ400



下水道管布設状況 S38施工



継手部分拡大

空洞
深さ GL-0.3m
縦 0.6m
横 0.3m
厚 0.4m

国の取り組み

路面下空洞対策における 国の動向

路面下空洞対策連絡会シンポジウム

2019年11月13日



国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部
道路基盤研究室長 渡邊 一弘

(再掲)



従前より

- ▶ 道路パトロール
- ▶ 路面下空洞調査 等を実施

国の取り組み

直轄国道の舗装(路面)に関する保全検討委員会(H21~)

H23.3「路面地下の適切な管理のあり方について」とりまとめ

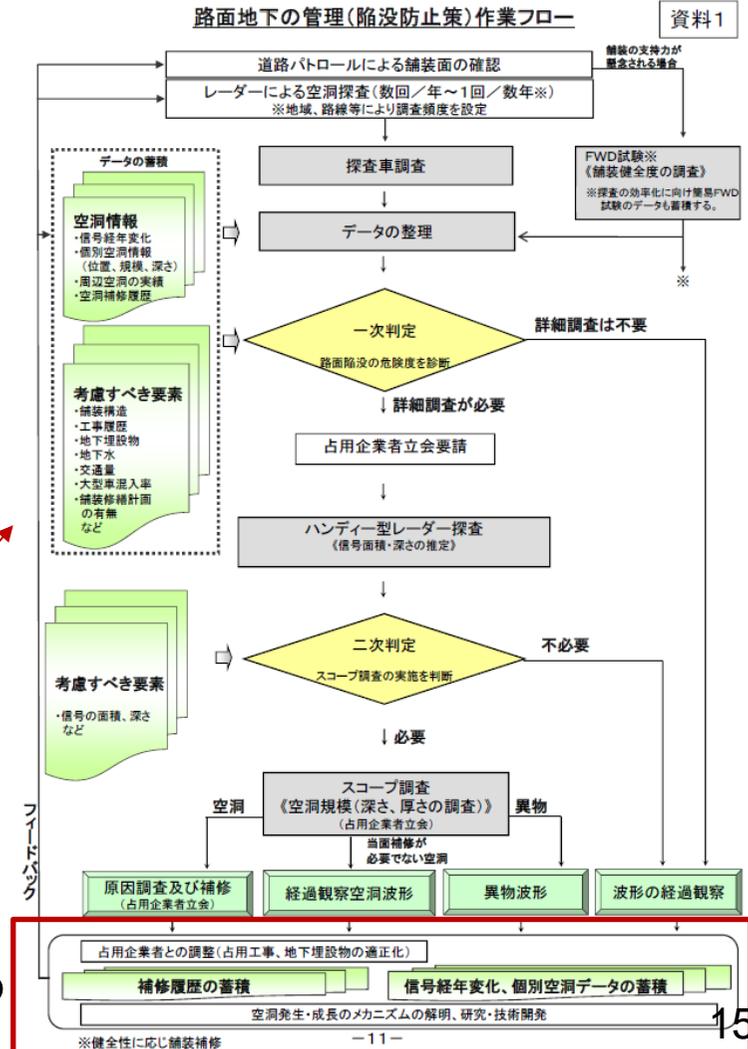
【基本的考え方】

- (1) 関係者の協働による路面地下管理の実施
- (2) 空洞が発生しにくい舗装の採用等による予防策
- (3) 地下障害(空洞)発生メカニズムの解明

【具体的な方策】

- (1) 総合的な診断
- (2) 舗装健全性の確認(FWD試験)
- (3) 道路パトロールの充実
- (4) 各種データの活用
- (5) 空洞補修工事の実施
- (6) 技術開発、技術力の向上
- (7) 具体の作業フローの見直し

路面地下の管理(陥没防止策)作業フロー



調査データ
補修履歴の
蓄積

国の取り組み

路面陥没の防止に関する検討会（H30～）

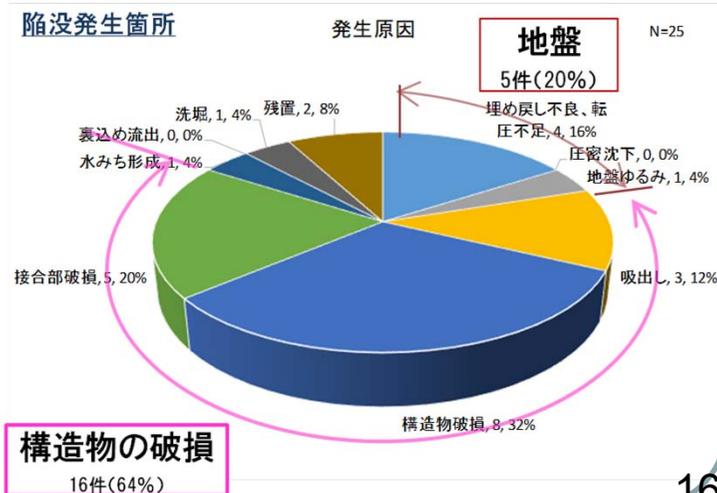
空洞データを蓄積・分析し、陥没危険度判定指標の策定を目指す

分析例：H25～30関東地方整備局管内で発生した事象を分析（車道）

分類	内容	データ数	備考
空洞	開削調査後に埋め戻されて補修	98	空洞を発見し陥没発生前に対応
	維持業務や巡回にて発見され開削調査後に埋め戻されて補修	8	同上
陥没	陥没事例として報告・記録	54	
成長性の確認	信号変化ありの箇所を経過観察した記録（H23～30）	13	

➤ 対象データ

- ・空洞・・・106箇所【H25-29】
- ・陥没・・・54箇所【H25-30】



国の取り組み

路面下空洞調査における発注方式の工夫

■総合評価方式

<技術評価点(60点)>

技術提案書の内容に応じて以下の①,②,③,④の評価項目毎に評価を行い、技術評価点を与える。技術評価点の最高点数は60点とする。

管理技術者の経験及び能力(①)					実施方針・実施フロー・工程計画その他(②)				評価テーマ(③)		技術提案の履行確実性度(④)
技術者資格	CPDの取得状況	業務実績	業務成績	優良表彰	業務理解度	実施手順	工程計画	その他	的確性	実現性(注1)	
6	1	13	25	5	20	10	10	10	50	50	

技術点 = 予定管理技術者の経験及び能力① + (実施方針② + 評価テーマに関する技術提案③) × 技術提案の履行確実性④

技術評価点 = 60 × (技術点 / 技術点の満点)

(注1) 信号波形分析力確認(ブラインド調査)を実施。(配点50点のうち30点)

<評価テーマ(H29年度発注業務)>

一次調査データから異常信号を確実にかつ効率的に抽出するための留意点

<価格評価点(20点)>

価格点は20点とし、価格評価点の最高点数は20点とする。

価格評価点 =

価格点 × (1 - 入札価格 / 予定価格)

■ : 主観的評価 ■ : 客観的評価

■総合評価方式

<技術評価点(60点)>

技術提案書の内容に応じて以下の①,②,③の評価項目毎に評価を行い、技術評価点を与える。技術評価点の最高点数は60点とする。

管理技術者の経験及び能力(①)					評価テーマに関する技術提案(②)		技術提案の履行確実性度(③)
技術者資格	CPDの取得状況	業務実績	業務成績	優良表彰	発見技術	的中率	
6	1	13	25	5	100	50	

技術点 = 予定管理技術者の経験及び能力① + (評価テーマに関する技術提案) × 技術提案の履行確実性③

技術評価点 = 60 × (技術点 / 技術点の満点)

<評価テーマ>

*** 国道事務所管内において非破壊による空洞探査車両による路面下空洞調査(測線長**km)の実施

■ : 客観的評価

<価格評価点(20点)>

価格点は20点とし、価格評価点の最高点数は20点とする。

価格評価点 =

価格点 × (1 - 入札価格 / 予定価格)

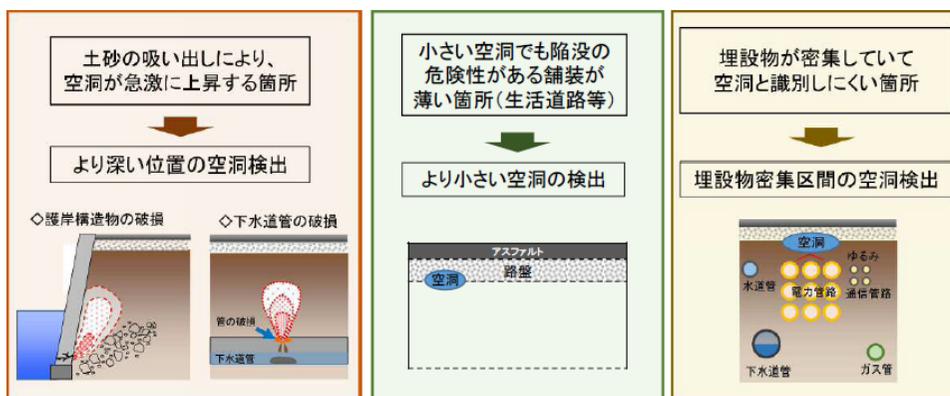
国の取り組み

「路面下空洞調査技術」の公募(H29.6)

- 各技術の持つ特徴・性能を客観的かつ定量的に示すための試験方法及び評価指標の設定を行い、同一条件の下での技術の特徴・性能が比較可能な表にとりまとめ
- 車両走行型(車道部)とハンディ型(歩道部)が対象

空洞パターン等の区分毎に評価指標を算出

[空洞パターン等(車道部、歩道部 共通)]



埋設物非密集区間

検出率と的中率による評価

実空洞(正解)		○	○	○	○	○	○ (全技術検出不可) 評価対象外	検出率	的中率
A技術	●	○	●	○	○	○		100% (4/4)	67% (4/6)
B技術	●	○		○	○	○		75% (3/4)	75% (3/4)
C技術		○		○	○	○		25% (1/4)	100% (1/1)

結果の取りまとめ作業中

路面下空洞対策に関する産官学共同研究

国土交通省道路局が設置する新道路技術会議における技術研究開発制度
(国土交通省国土技術政策総合研究所委託研究)

道路構造及び空洞特性に適応した陥没危険度評価と
合理的な路面下空洞対策についての研究開発

2018-2020年度

東京大学生産技術研究所
桑野玲子

目的: 道路陥没予防ソリューションの開発

道路陥没と路面下空洞

現状の技術的課題:

- ① 地中の状態の把握が困難
- ② 空洞成長速度や陥没危険度が不明
- ③ 合理的な補修方法の選択肢がない

空洞を見つける **発見**

特性を把握する **診断**

補修する **治療**

陥没させない **予防**

空洞を作らない
拡大させない



メカニズム説明



空洞事例

研究の概要

最終的に目指す具体的成果とインパクト、および研究手法：

	期待される成果	道路政策への貢献	研究方法
発見 (調査)	<ul style="list-style-type: none"> 空洞探査方法の体系化・高度化 空洞ポテンシャルマップ 	<ul style="list-style-type: none"> 空洞探査精度の向上 空洞探査の優先路線選定 	<ul style="list-style-type: none"> 既存データ分析 室内模型実験 数値解析 現道調査・空洞モニタリング 実物大フィールド試験
診断	<ul style="list-style-type: none"> 陥没危険度チャート 	<ul style="list-style-type: none"> 対策メニュー及び優先度の選定 	
治療 (補修)	<ul style="list-style-type: none"> 空洞補修用充填材 空洞対策メニュー 	<ul style="list-style-type: none"> 合理的補修によるコスト削減 再陥没予防 	
予防	<ul style="list-style-type: none"> 空洞に強い舗装・裏込材 	<ul style="list-style-type: none"> 陥没予防・空洞予防 	

実施体制

研究代表者: 東京大学 桑野玲子

役割: 研究総括、空洞探査の高度化、空洞の生成・拡大メカニズムの解明、空洞の陥没危険度の評価、充填材の開発等

共同研究者: 埼玉大学 桑野二郎

役割: 空洞の地震時挙動の解明、舗装の補強

共同研究者: ジオ・サーチ(株) 瀬良良子

役割: 空洞探査(分析)の高度化、効果的なモニタリング手法の検討

共同研究者: (株)NIPPO 井原務

役割: 不健全な路床・路盤での舗装構造の安定性・耐久性の検討

共同研究者: 住友大阪セメント(株) 小堺規行

役割: 補修方法の検討(空洞充填剤の改良・開発)

研究協力者:

**福岡市、藤沢市、
他協力自治体**

役割: 道路管理における道路陥没対策の課題等の助言、現場(モニタリング路線)の提供、地下埋設情報等の提供

国土交通省に国道の空洞・陥没データ提供を依頼

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

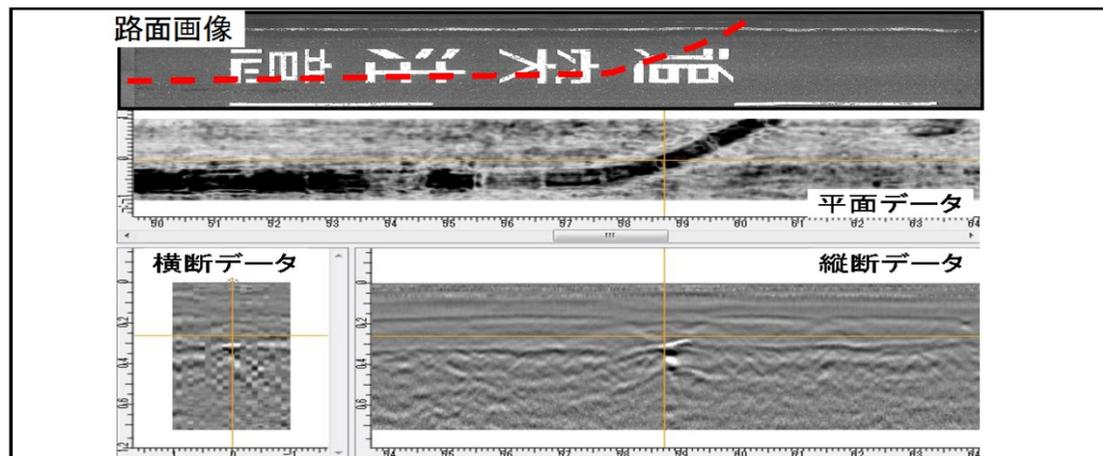
三次元データ化

データ解析

1.5メートル以浅、0.5メートル四方以上の大きさの空洞を探査



最大80km/hで
走査可能



空洞探査

二次調査(手押型地中レーダ調査+スコープ調査)

手押型地中レーダ調査

異常の種類や広がり等を判定



スコープ調査 (小口径削孔・孔壁画像撮影)

空洞の有無と規模を確認



スコープデータ例

ドロースコープ撮影記録		
異常箇所No.1		
撮影深度0.00~0.82(m)	構成/層厚(m)	深度(m)
10	アスコン 0.22	0.22
20		
30	砕石 0.27	0.49
40		
50	空洞 0.19	0.68
60		
70	砂	
80		

地中レーダ探査の精度と信頼性

レーダ探査(一次調査)

適用深度: 1.5m以浅

測定単位: 10cm

空洞探査能力の指標

検知率: 潜在する空洞を見逃さずに見つけ出す能力

的中率: 一次調査で判別した空洞信号の正答率

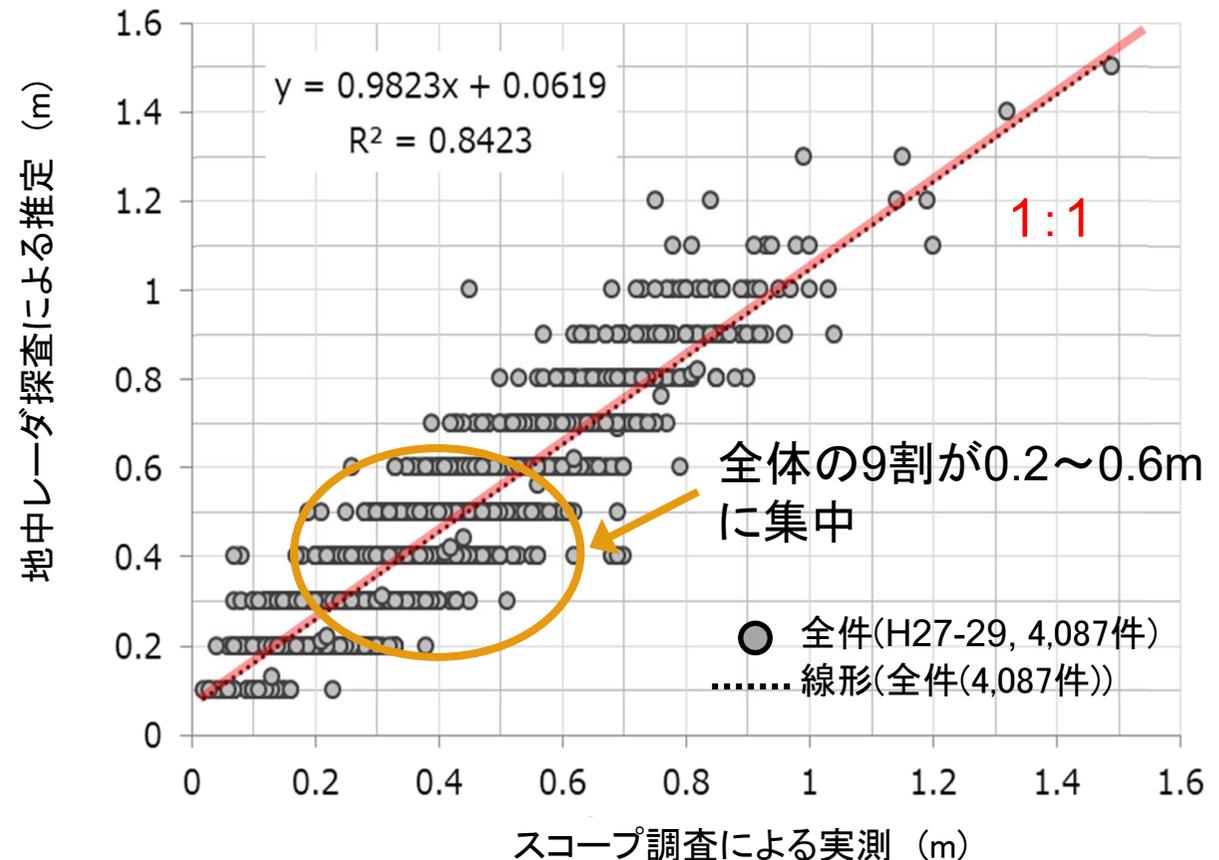
H27-29の3年間の空洞探査データのうちスコープ調査を実施し空洞の有無が明確なものについて

的中率: 80~100%
(平均88.7%)

(徳永ら:2019より)

地中レーダ探査技術は
ほぼ成熟

空洞最浅部の深さ



空洞最浅部の深さは20cm程度深めに評価する場合あり

- ・ レーダ探査とスコープ調査の計測単位の違い
- ・ スコープ用削孔時の空洞上部土塊の崩落
- ・ レーダ探査とスコープ調査の実施時の差異

路面下空洞の発生状況

路面下空洞の発生頻度

道路管理区分	単位道路延長あたり 空洞数(個/km)
国・道・府・県	0.59
東京都・政令市	2.06
東京23区	2.09
その他自治体	1.37

2014・2015年度に調査した道路延長10,091km(空洞数9984箇所)
のデータより

典型的な路面下空洞の諸元

深度: 0.3-0.6m (大半が舗装直下)

厚さ: 0.6m未満が約半数

大きさ(面積): 0.25~2m²

路面下空洞の発生要因

東京都の2001～2009年度までの空洞調査で確認された1018件の空洞の発生要因は、
下水道および雨水取付管等の破損が要因となった空洞： 28%
埋戻し不良： 32%
地下埋設物輻輳： 14%

内山・大石(2012):4.路面下空洞の開削状況調査結果、東京都
土木技術支援・人材育成センター平成24年度年報

都市部においては地下埋設物起因の空洞が多くを占めている

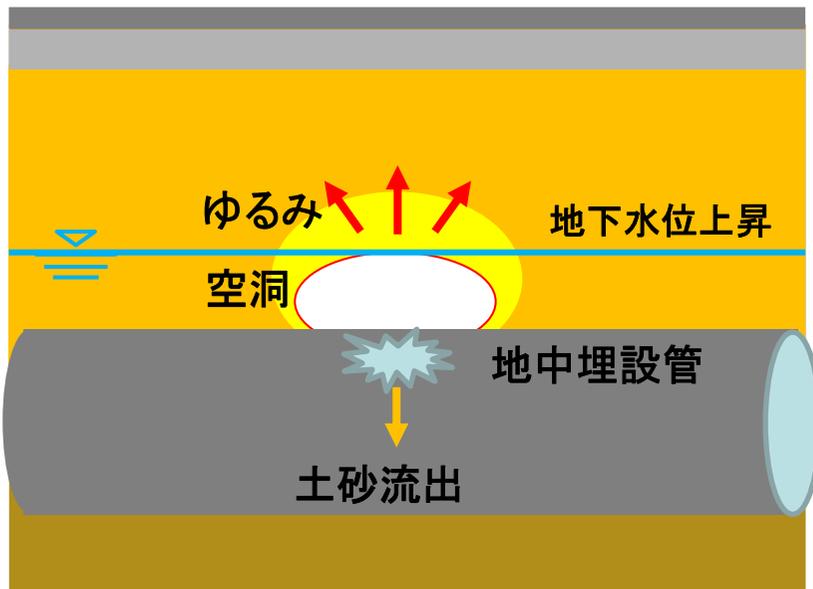
主要7分類	要因の詳細
占用埋設物周辺土砂の流出	管破損、管接続不良、管未閉塞、人孔躯体破損、枘・側溝破損、水道管漏水
占用埋設物周辺地盤の圧密	埋戻し転圧不足、戻し材不良、近接部工事の影響、推進・シールド工事の影響
大型地下構造物関連	地中残置物、地下構造物周辺の水みち
雨水・地下水の影響	地下水の影響、雨水浸食
地震の影響	地震の影響
護岸の吸出し	護岸からの土砂流出
その他・不明	—

小池・瀬良(2012):路面下空洞の発生状況に関する考察(その1)
空洞発生状況の特徴、地盤工学研究発表会(八戸)

路面下空洞の生成

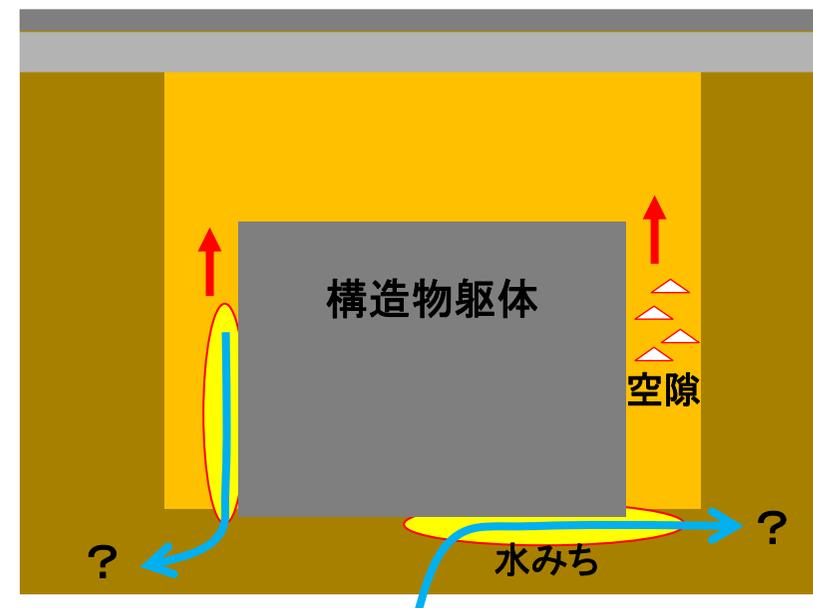
主な原因

成熟した都市における
埋設インフラの老朽化



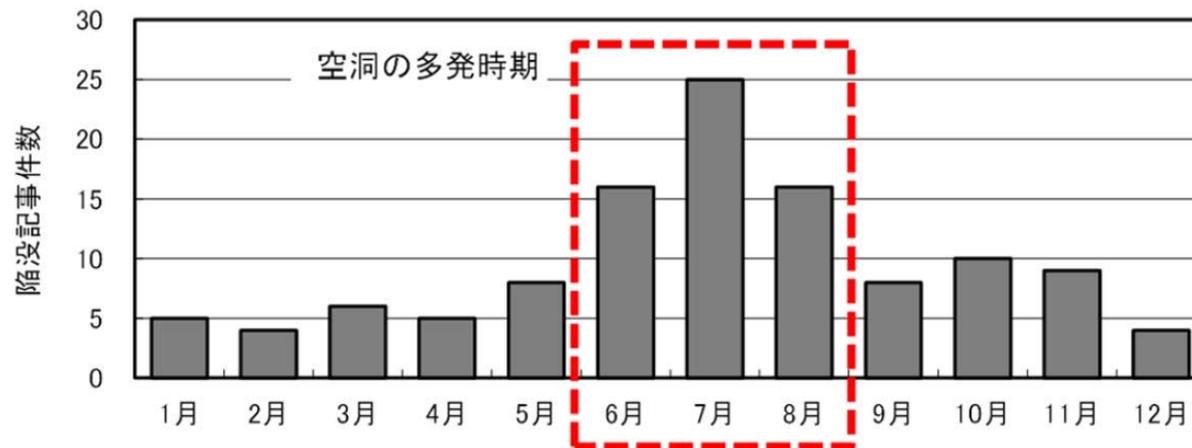
埋設管など、
道路下の地中構造物の破損

ただし、顕著な空洞を伴わないまま
路面陥没に至る場合もある

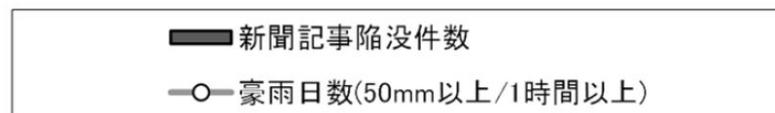
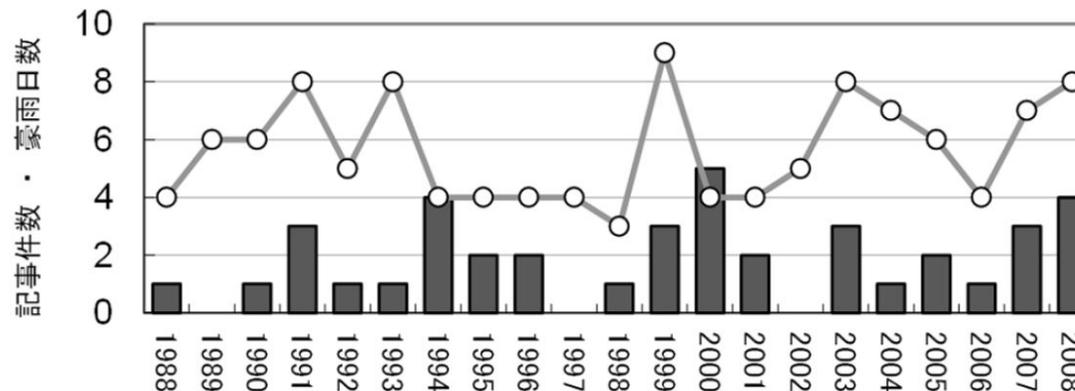


埋戻し材の締固め不良？
水みち周辺の細粒分流出？
その他不明な原因??

空洞の拡大要因：雨



新聞記事(1988~2006年、日本全国)にみる路面陥没事故の月別発生件数

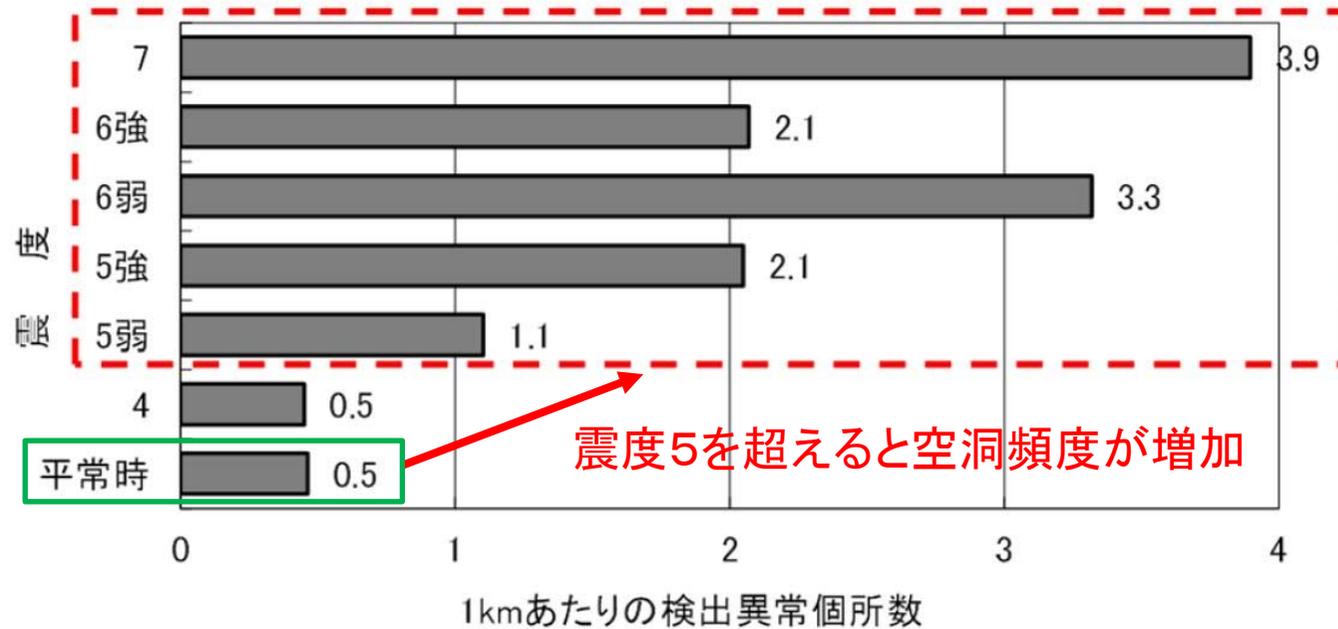


小池ら、路面下空洞の発生状況に関する考察(その1)、第47回地盤工学研究発表会、八戸、2012年7月

新聞記事にみる路面陥没事故と年間豪雨日数の年別件数(1988~2008年、関東地方)

空洞の拡大要因：地震

新潟県中越地震前後の異常信号箇所頻度と震度、および空洞規模



調査種別	1kmあたりの異常信号箇所数	空洞規模				
		深度 M	厚さ m	縦長 m	横長 m	面積 m ²
地震前	0.46	0.38	0.20	1.40	1.20	1.68
地震後	1.72	0.36	0.11	1.40	3.20	4.48

小池ら、路面下空洞の発生状況に関する考察(その1)、第47回地盤工学研究発表会、八戸、2012年7月

空洞生成・拡大の要因

素因:

- 地中埋設物の輻輳
- 流出しやすい土質(裏込材)
- 地質・地形・地下水
- 掘削工事履歴 等

空洞が出来やすい素質・要件が備わった上に、

誘因:

- 地中埋設インフラの老朽化・破損
- 雨
- 地震 等

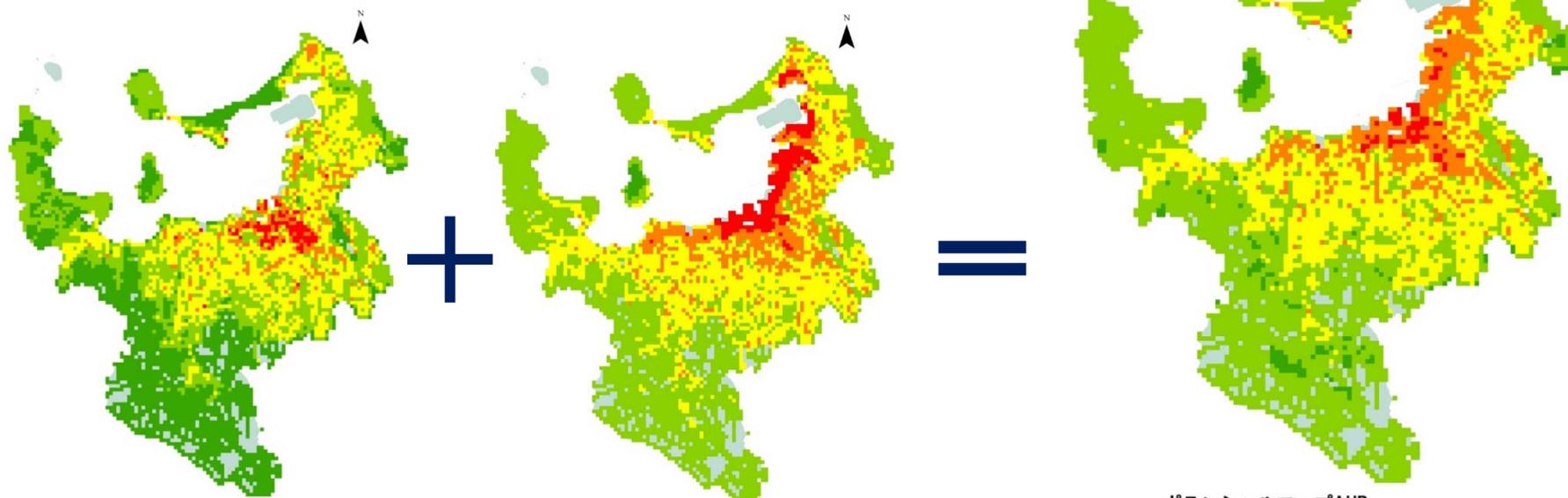
土砂の流出経路が確保されると、

空洞の生成・拡大が加速化

空洞ポテンシャルマップの試作（福岡市）

空洞ポテンシャル：空洞の出来やすさの指標（生成可能性）

今後空洞の陥没危険度評価を加味して
陥没ポテンシャルマップへアップデート

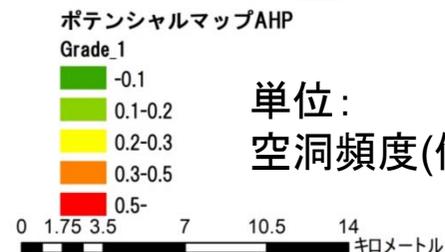


土砂流出（吸出し）による空洞：

下水管経過年数の影響が強い
市中心部で高ポテンシャル値

流出以外による空洞：

地形の影響が強い
沿岸埋立地で高ポテンシャル

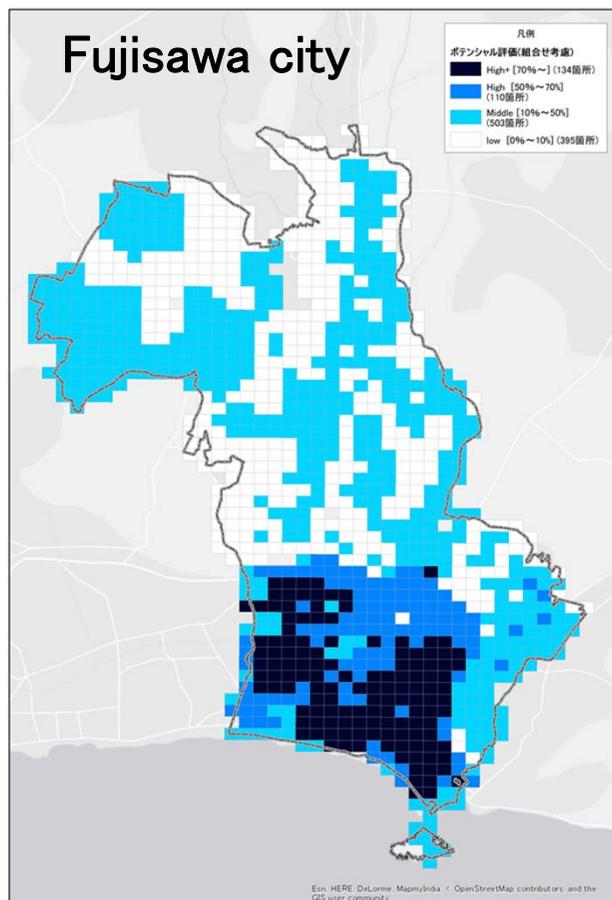


空洞ポテンシャルマップの試作（藤沢市）

既存の空洞・陥没データと諸条件を分析し、
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

空洞ポテンシャルマップ

試作した空洞ポテンシャルマップの検討過程、及び他の道路管理者での作成にあたっての適用性

空洞ポテンシャルマップの検討過程

空洞生成／陥没の素因・誘因となりうるパラメータを抽出し、それぞれの寄与度を算定対象地域の各要素地点の空洞ポテンシャル（生成可能性）を評価し、地図情報として表現

必要な情報

- ◎空洞データ
- 陥没データ
- ◎地質
- 地形
- 地下水位
- 舗装仕様
- 交通量
- 埋設物（埋設管の輻輳）
- ◎下水本管（埋設年代、材料等）
- ◎下水取付管
- 大型埋設構造物（地下鉄、共同溝等）
- 降雨・地震履歴
- ◎必須、○あるのが望ましい

他都市への適用性

福岡市、藤沢市におけるポテンシャルマップの試作にあたって、多少の地域性の差異はあるものの、空洞生成の主な要因はほぼ共通している。

同様の手法を他都市に展開しそれぞれの都市でポテンシャルマップを作成することは可能。ただし、その精度は、空洞データの精度に大きく依存する。

下水管に起因する空洞の開削事例

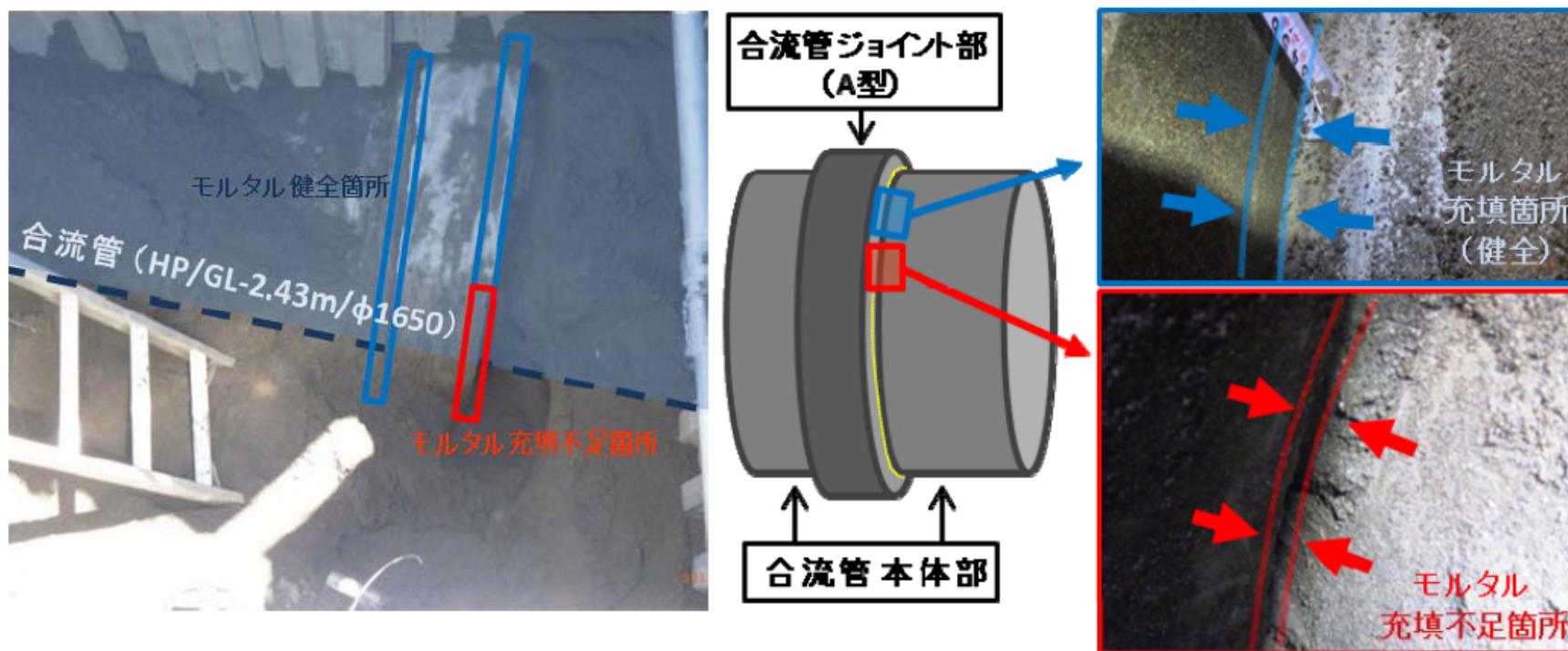


空洞規模 : 縦断方向広がり 1.25m
横断方向広がり 0.85m
上端深度 GL-0.20m
開削日 : 2017年 5月18・19日



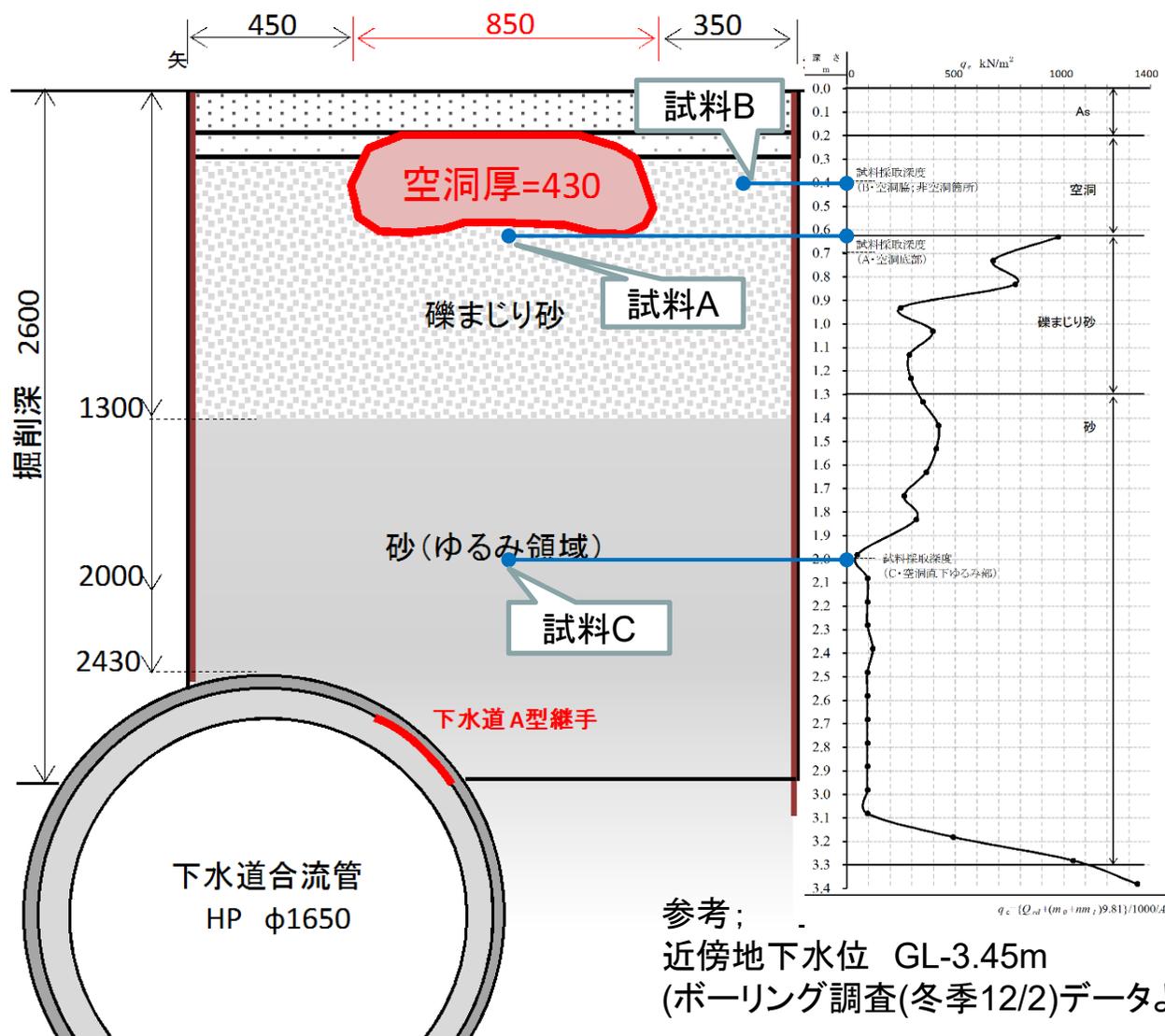
下水管に起因する空洞の開削事例①

空洞直下の下水管（合流管）に、
ジョイント・本体接合部の目止め剤（モルタル）の不足箇所を確認



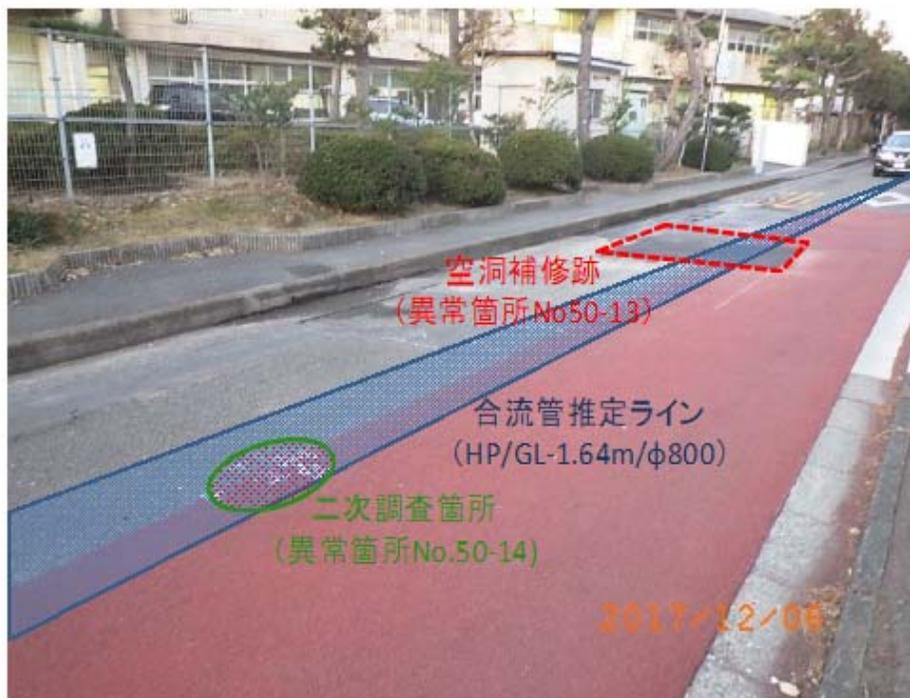
下水管に起因する空洞の開削事例①

開削断面図とポータブルコーン貫入試験結果 ● は試料採取箇所



下水管に起因する空洞の開削事例②

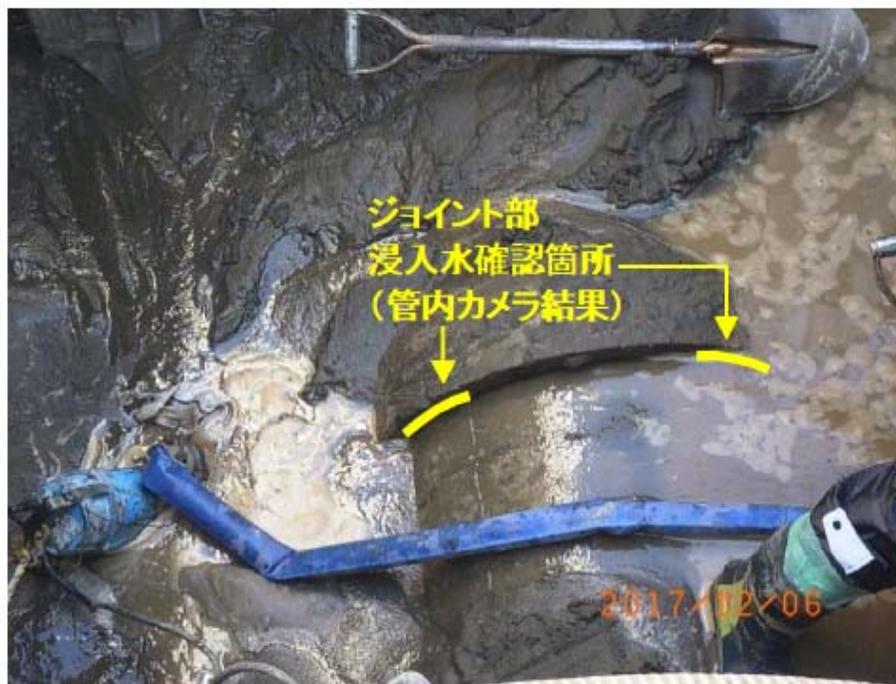
周辺状況



下水管に起因する空洞の開削事例②



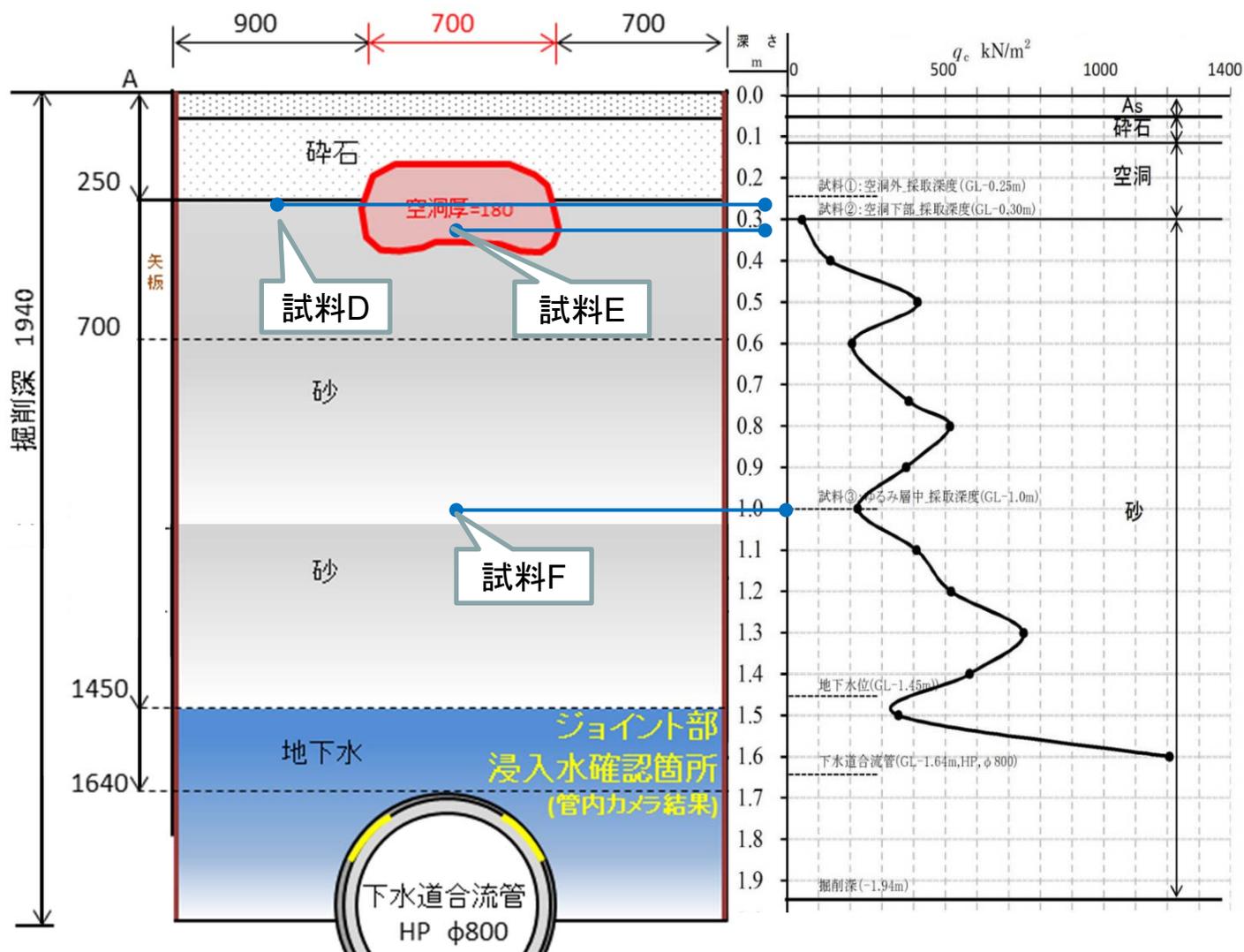
空洞規模 (W700, L700, H180)



合流管 (Φ800, GL-1.64m)

下水管に起因する空洞の開削事例②

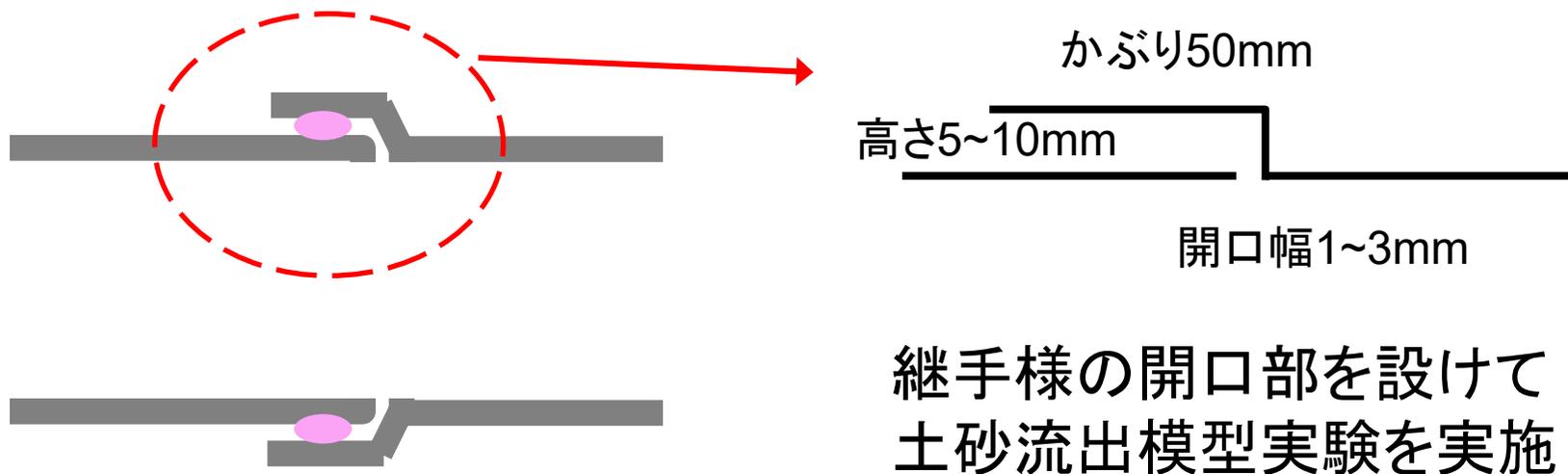
開削断面図とポータブルコーン貫入試験結果 ●—● は試料採取箇所



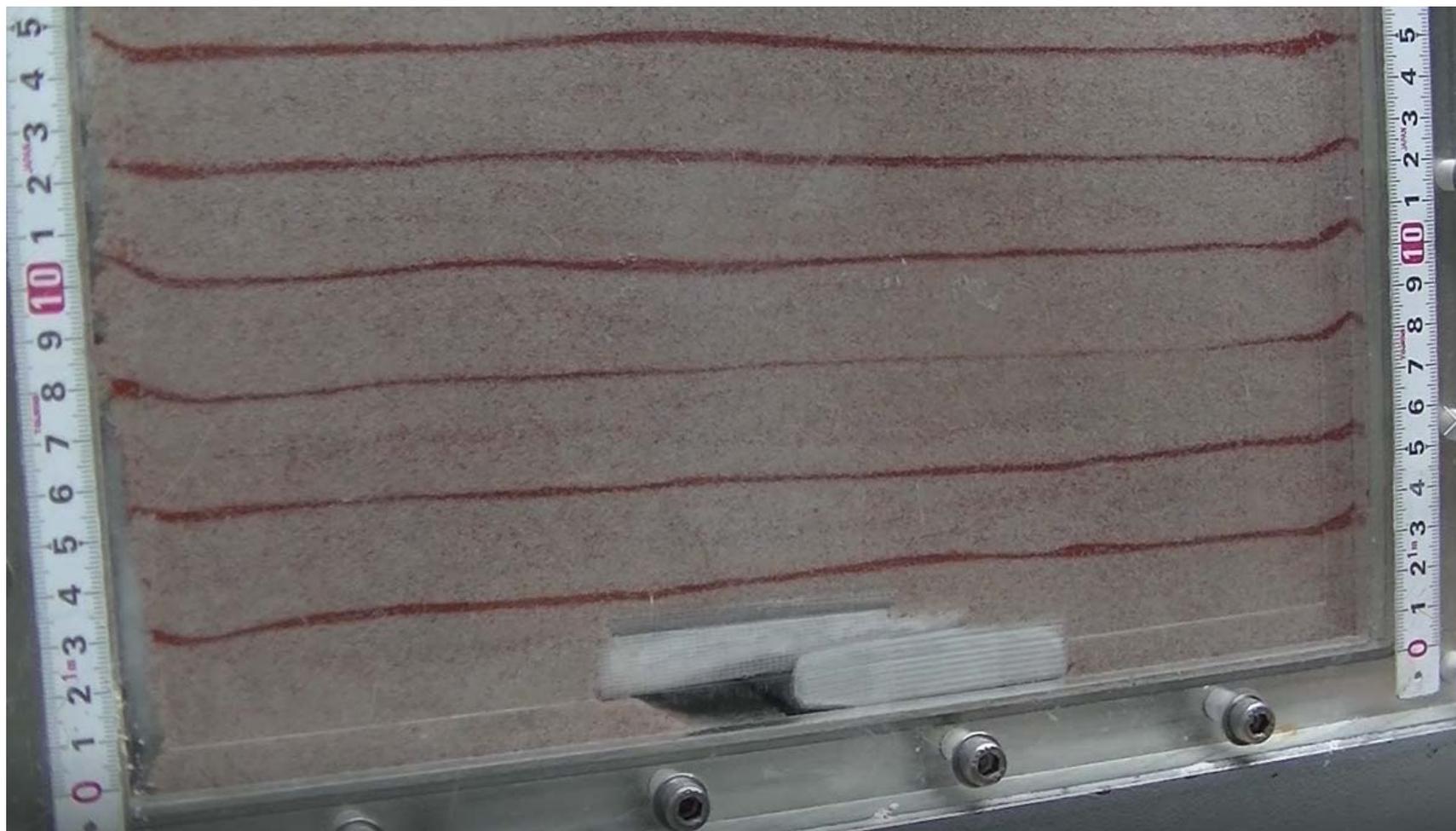
下水管への漏水による空洞形成

下水管内から明確な破損が確認されない場合でも空洞形成の可能性あり

例えば、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？



下水管への漏水による空洞形成

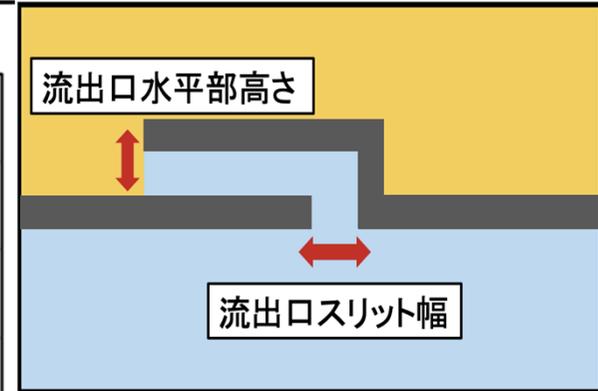
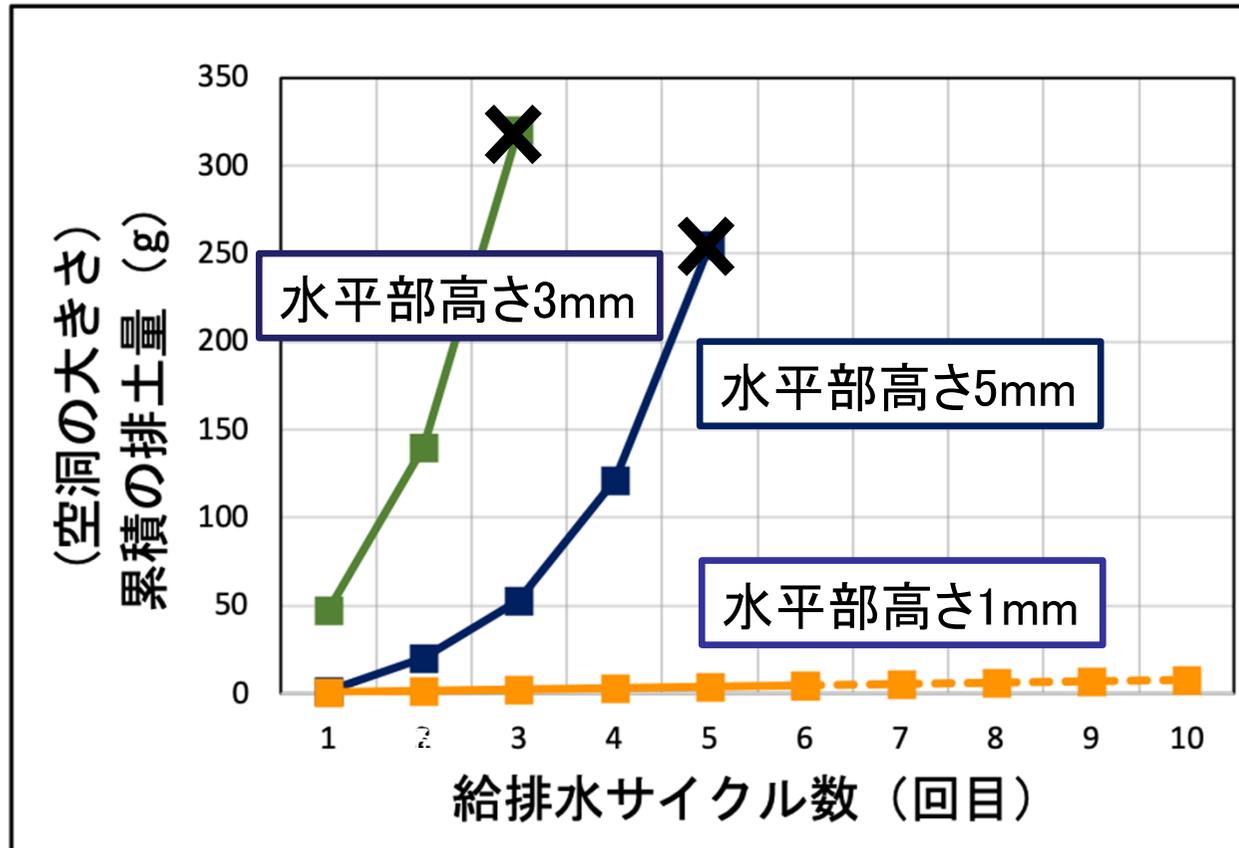


継手のかぶり部が水で満たされて、砂粒を水平に運ぶのに十分な流速があれば流出する



空洞発生現場の再現地盤を用いた模型実験

流出口水平部高さを変化させた場合



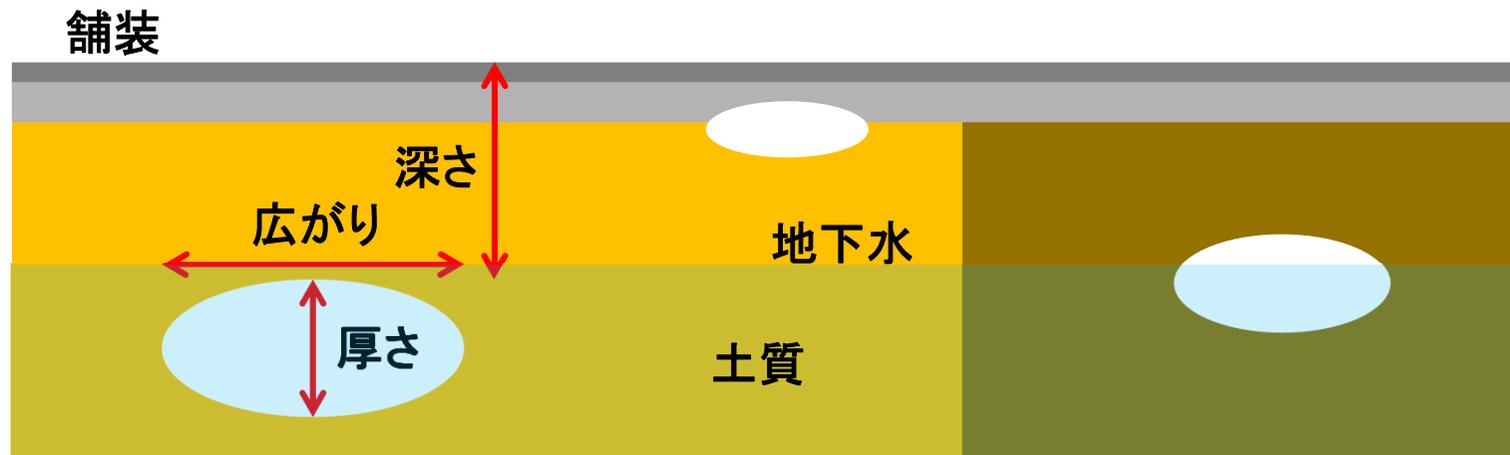
3mmほどの軽微な止水不良箇所でも空洞の生成・成長は生じる

×: 陥没発生

- ・土砂流出の程度: 流出口水平部高さ 3mm > 5mm > 1mm
- ・土粒子と水が流動体として一体となって水平部を持続的に流出

空洞の危険度評価

道路陥没を引き起こす危険な空洞とは？

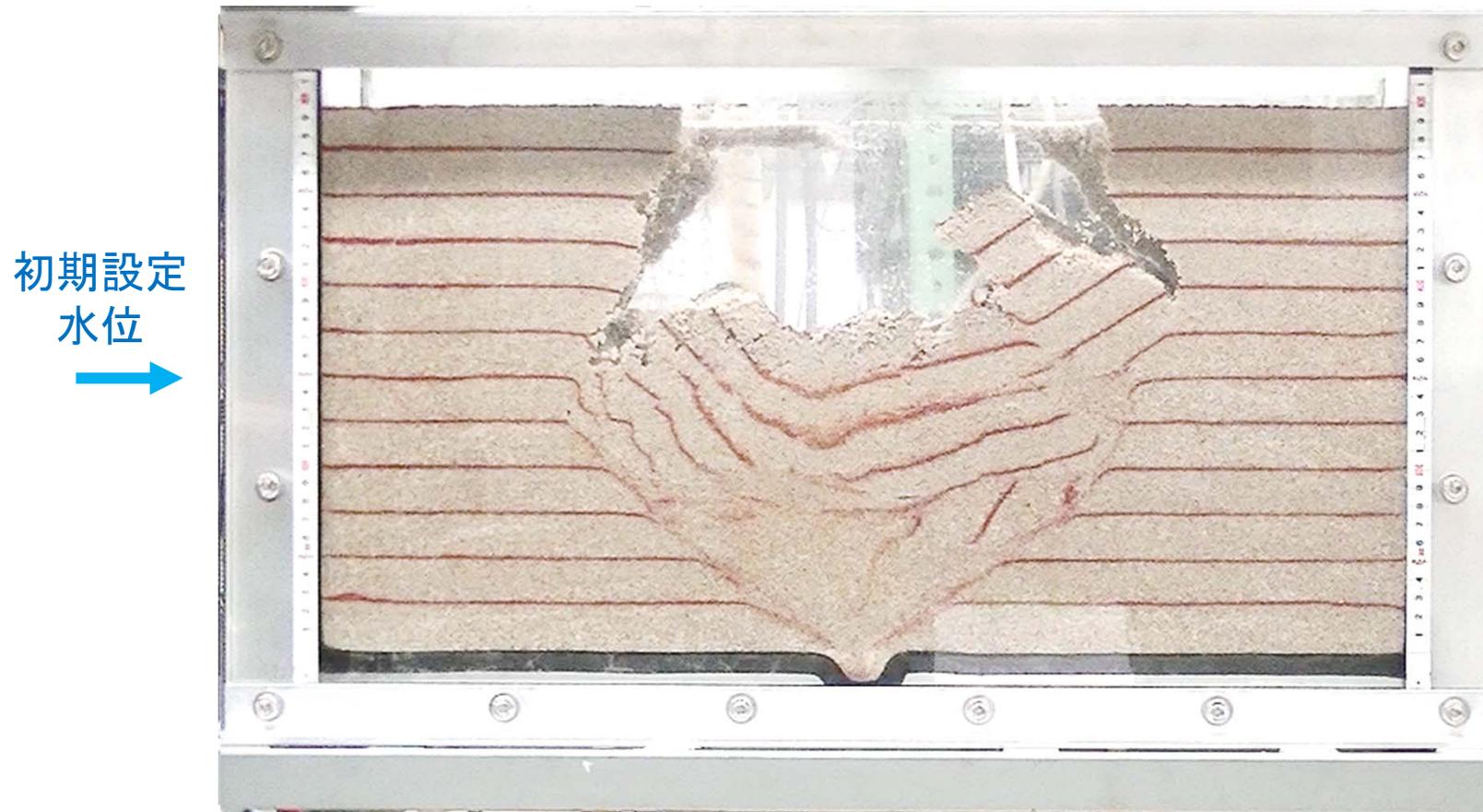


空洞の陥没危険度を考える上での2つの観点

- ・ 現時点における舗装路体の構造安定性に対する影響
浅くて大きい空洞が危ない？
道路構造の安定性への影響度： 空洞の深さ、広がり、舗装の厚さなど
- ・ 現時点では大丈夫でも将来は？
空洞の成長速度： 土質や地下水などの素因、降雨や地震などの誘因

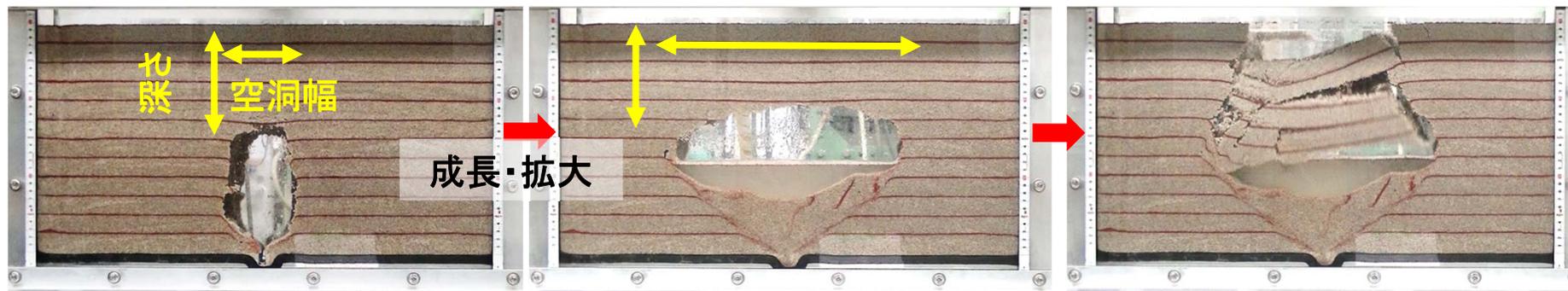
空洞生成・拡大過程

土砂流出実験：空洞生成から表面陥没への空洞拡大過程



初期空洞(煙突状)→水位以下の空洞幅拡大→上部土塊の不安定化・崩落

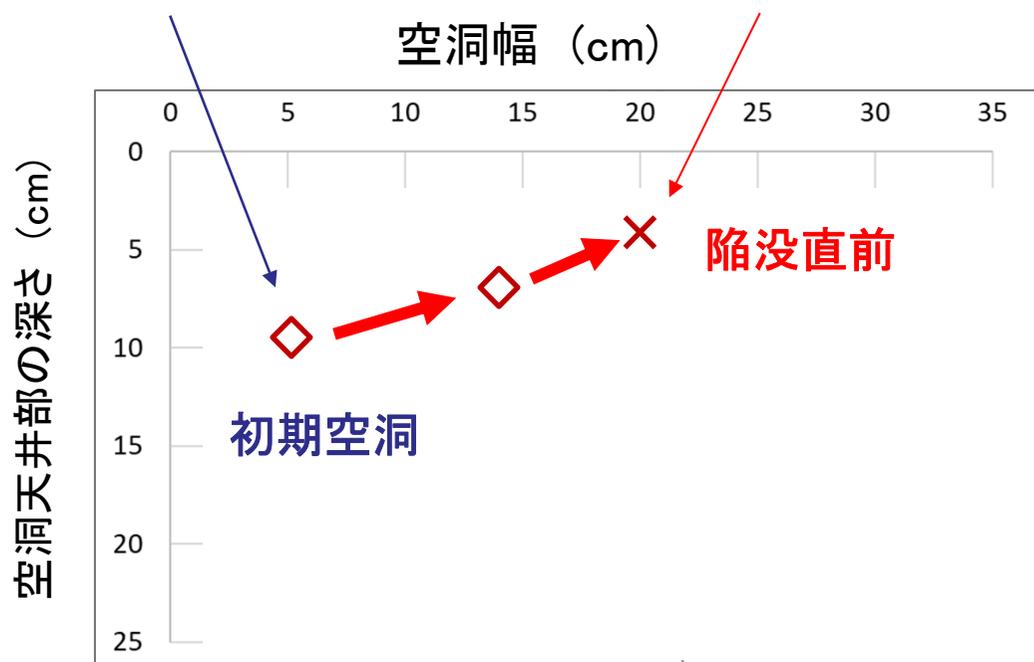
空洞生成・拡大過程



煙突状の初期空洞

陥没直前

崩落・陥没



煙突状の縦長の初期空洞

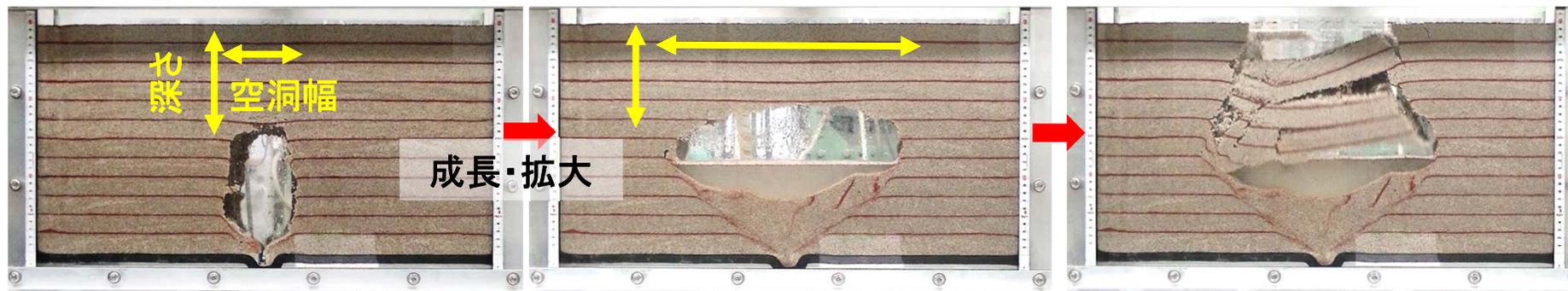


地下水位以下の空洞幅拡大



空洞上の土塊が崩落し陥没

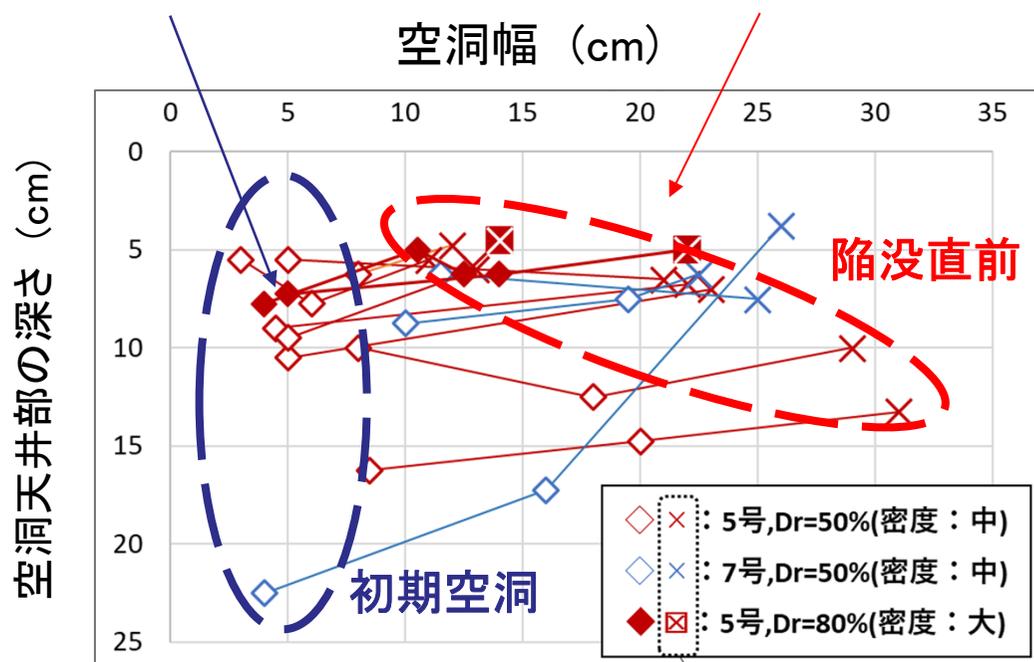
空洞生成・拡大過程



煙突状の初期空洞

陥没直前

崩落・陥没



煙突状の縦長の初期空洞

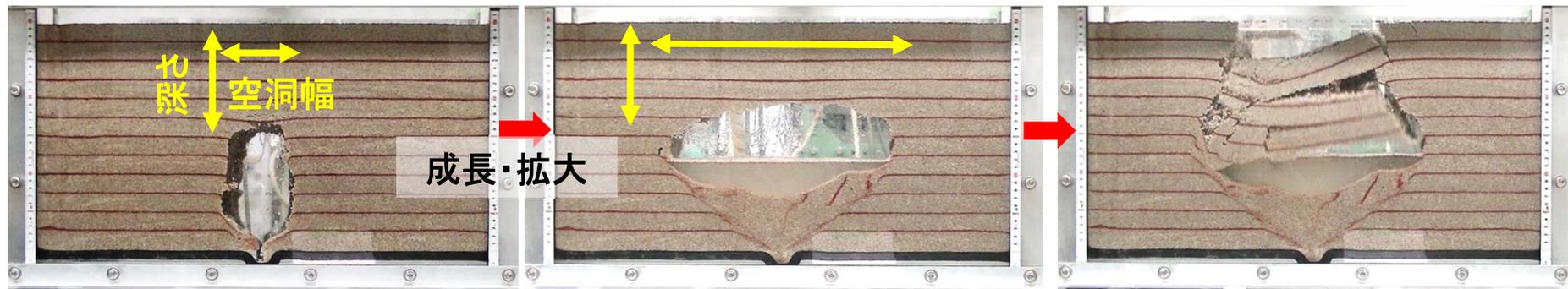


地下水位以下の空洞幅拡大



空洞上の土塊が崩落し陥没

空洞生成・拡大過程

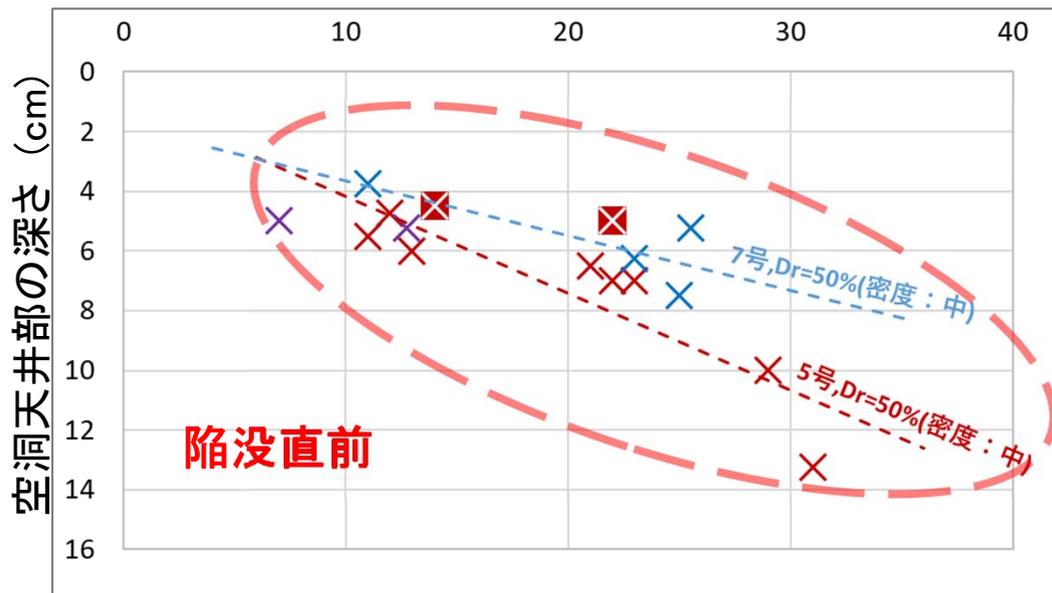


煙突状の初期空洞

陥没直前

崩落・陥没

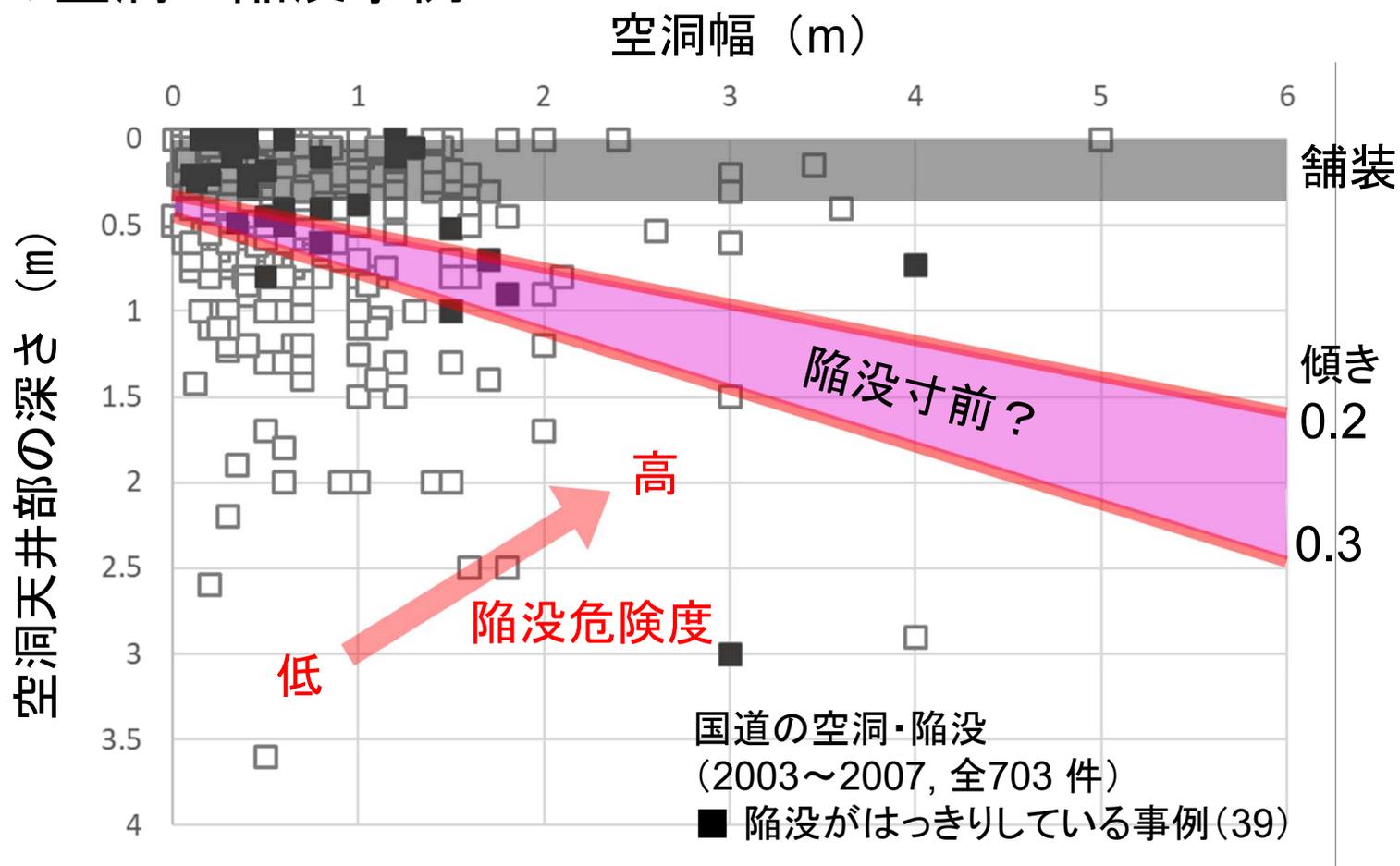
空洞幅 (cm)



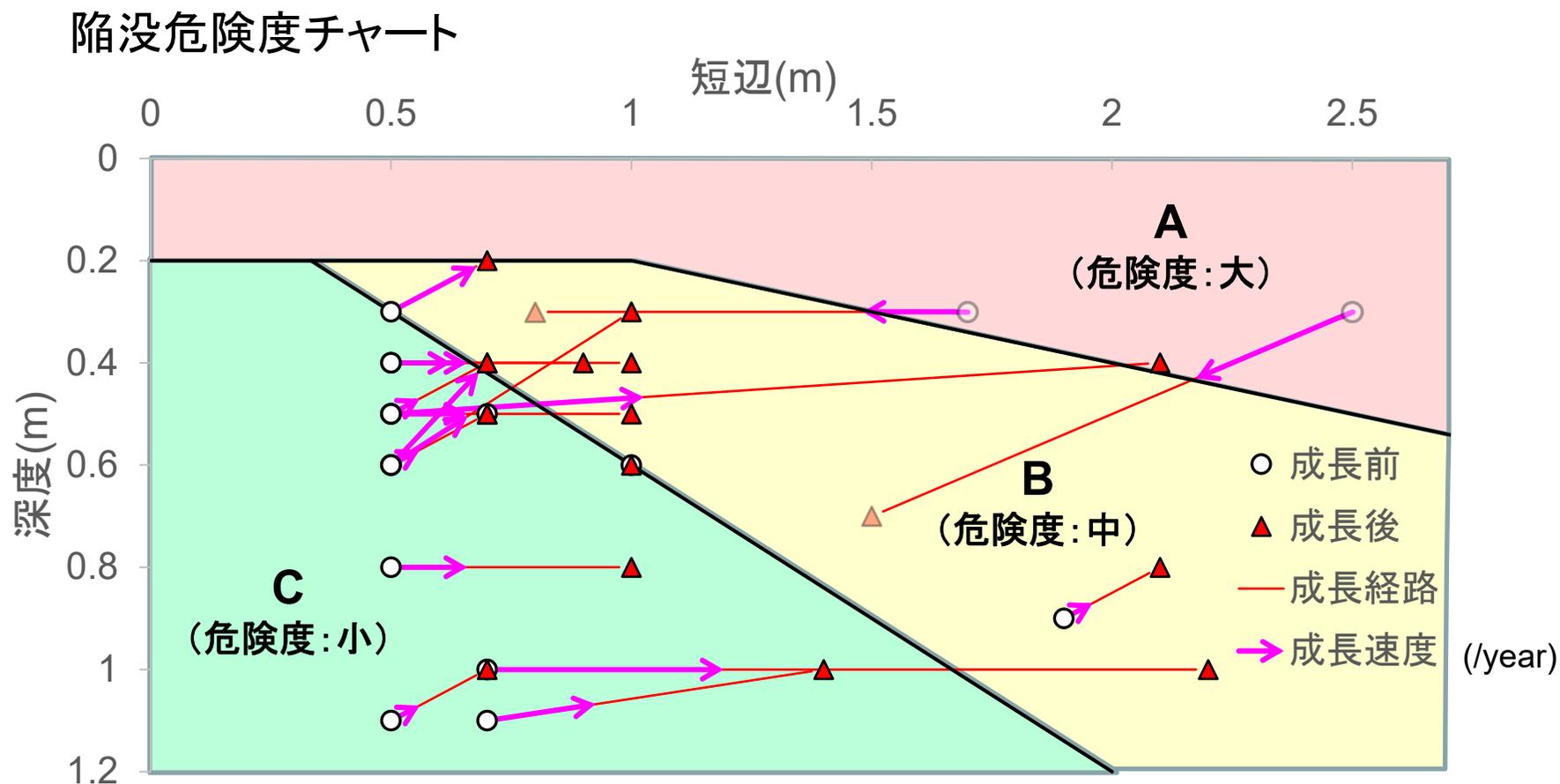
均等均質な砂地盤内の空洞が
空洞上土塊の自重で崩落・陥
没する場合、空洞幅と平均深さは
傾き0.2~0.3の関係

空洞の陥没危険度評価

国道の空洞・陥没事例



空洞の陥没危険度 —成長速度—



平成24~28年度の国道の路面下空洞調査結果のうち、
比較調書にサイズの変化が与えられていた19個について整理

・空洞(深度変化有): 平均 $0.108\text{m}^3/\text{年}$

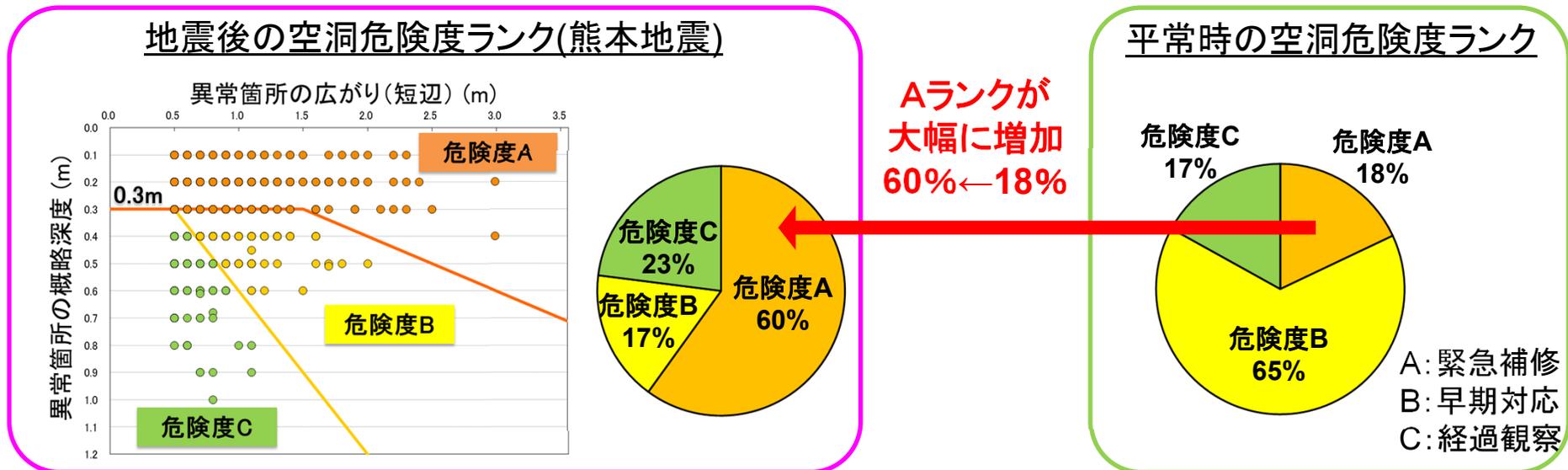
・空洞(深度変化無): 平均 $0.52\text{m}^2/\text{年}$

地震の空洞危険度への影響

中越沖地震、東日本大震災、熊本地震後に実施された調査報告および分析結果から、明らかになった実態

- ・地震後に路面下空洞数が増加する(2~8倍)
空洞の多発区間が発生する傾向があり、総数が増える
- ・陥没危険度の高い 広い・浅い空洞の割合が極端に高くなる

Aランク: いつ陥没してもおかしくない危険度の高い空洞

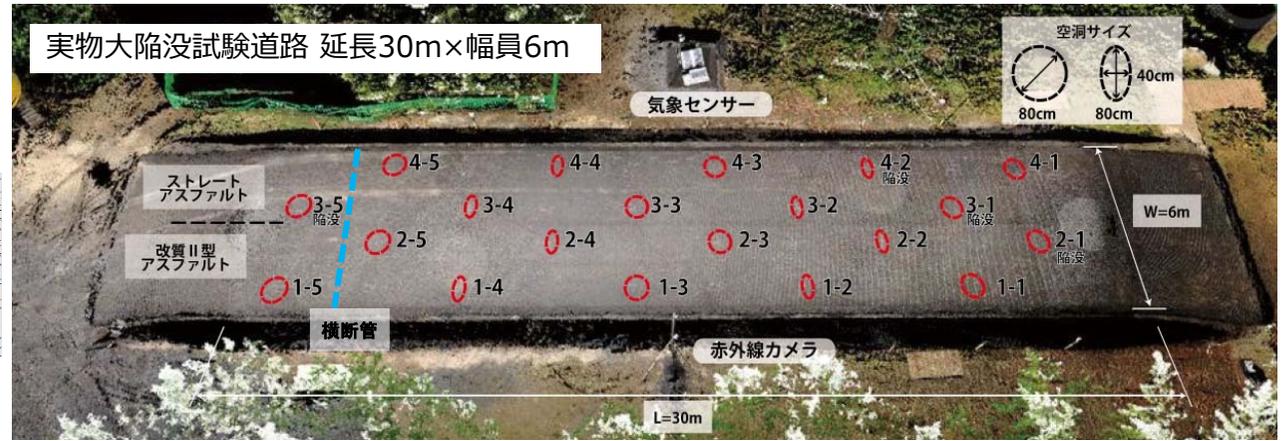
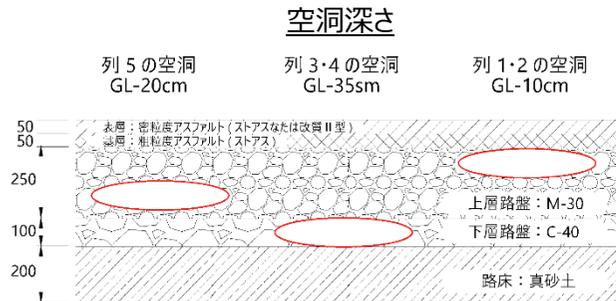


(岡本ら, 地震災害後の早期道路復旧に向けた早期道路復旧に向けた路面下空洞調査の活用, 土木学会第72回年次学術講演会(平成29年9月),
これまで最も早く被災後に現地計測がされた調査結果から分析されたもの(熊本地震から10日後))

(小池ら, 路面下に発生する空洞の発生状況の分析と考察, 土木学会第72回年次学術講演会(平成29年9月))

実物大試験道路の構築

試験道路の概要

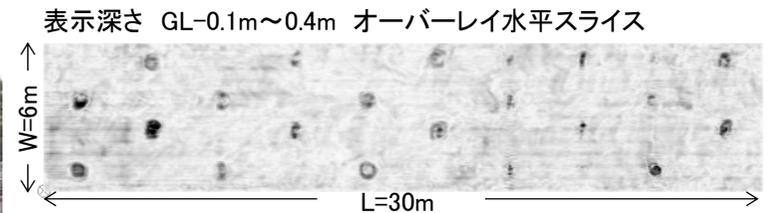


- ・長さ30m×幅6m
- ・表層はストレートアスファルトと改質II型の2種
- ・Φ80cmまたは80×40cmの空洞を計20個設置
- ・気象、路面温度、路面変位をモニタリング

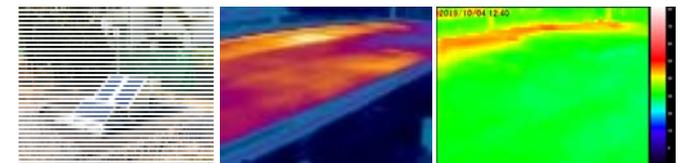
試験体の構築：細礫詰め土嚢を路盤内に設置し舗装を敷設、その後細礫を吸引し空洞生成



空洞生成後のレーダデータ



気象センサ・赤外線カメラでの常時観測



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

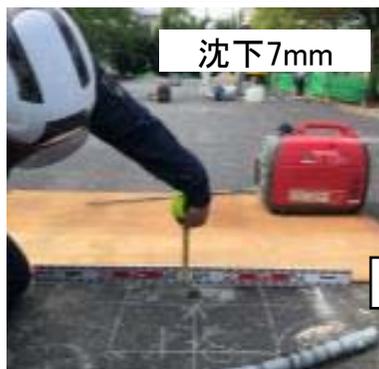
- ・内空観察、3D計測
- ・FWD試験
- ・小型FWD試験
- ・平板載荷試験



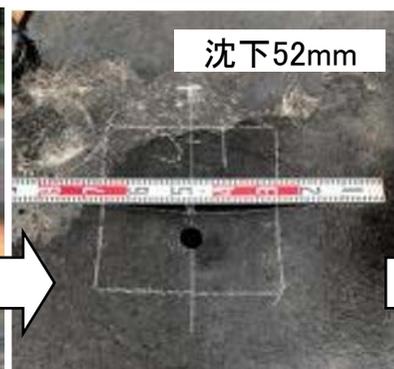
実物大試験道路の点群+空洞三次元合成画像

自然陥没 [ストAs・As直下(Dp10cm)・ ϕ 80cm・舗装温度約40°C]

空洞作製から1時間後



23時間後



27時間後



46時間後

空洞形状で陥没 表層・基層が分離

陥没孔の大きさ: 縦断長55cm 横断長 51cm
深さ 12cm 面積 211cm² 体積 14cm³



実物大試験道路における空洞載荷試験

FWD+平板載荷で路盤崩落、その後陥没 [ストAs・上層路盤内(Dp20cm)・φ80cm・舗装温度約40℃]

平板載荷試験



試験前



試験後

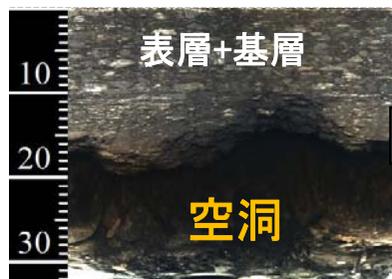


5日後

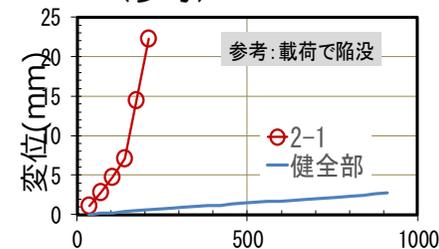


載荷試験

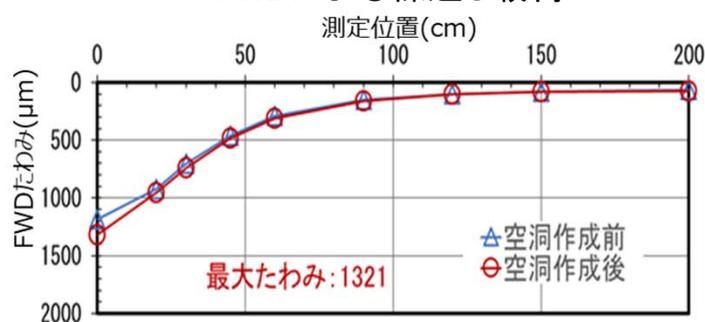
FWDで2mm沈下
↓ 平板載荷で7mm沈下
↓ 17kNで頭打ち、クラック発生
載荷中止



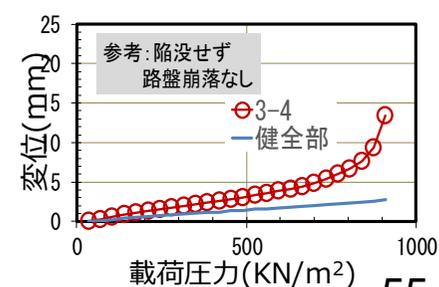
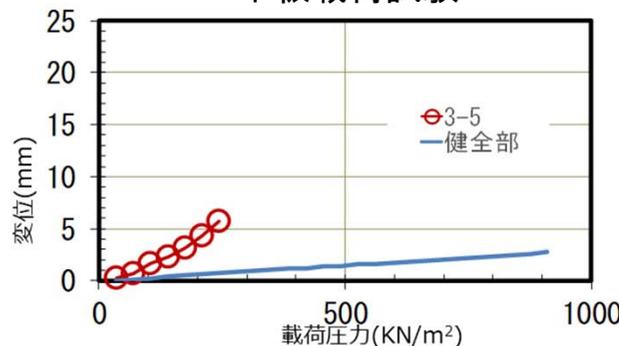
平板載荷試験の例 (参考)



FWDによる繰返し載荷



平板載荷試験



空洞充填材の開発

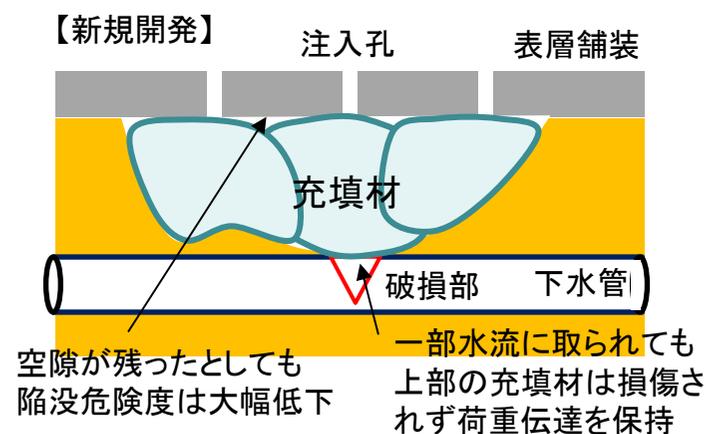
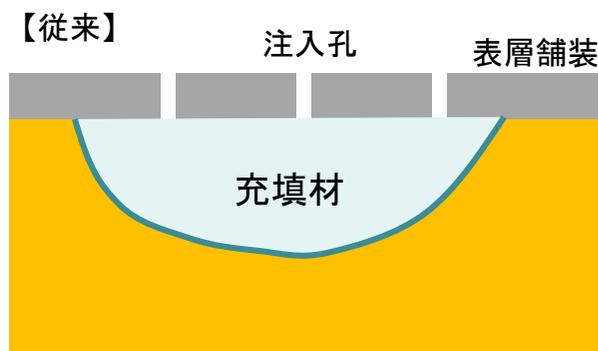
- 既存の充填材の課題を整理し、要求性能や開発目標を設定
- 充填材の土中への浸透の確認実験
- モニタリング路線内の空洞充填の試行

↓ 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



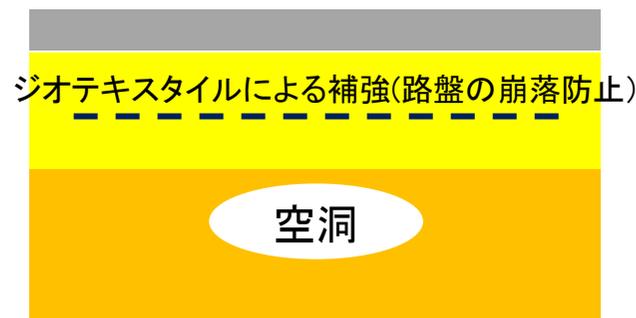
再掘削の効率、および路面の十分な支持力を考慮した強度
設定に関する検討
可塑性充填材の充填方法の検討



予防：舗装の補強方法の開発

路盤内または路盤上に補強材を敷設

空洞上に地盤（路盤）が残ればアーチ効果が期待できると陥没は起こりにくい。
補強材を用いて路盤の崩落を防止する。



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

路面に補強材を塗布し強化膜で補強

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塗布し、強化膜を作ることにより陥没を抑制する。

強化膜(応急対応)



路面の掘下
(広がり0.5m×0.5m、
深さ0.2m)



厚紙設置
(中空部作成)



樹脂吹付



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

参考文献

- 横田敏宏, 深谷渉, 宮本豊尚(2012)、下水道管路施設に起因する道路陥没の現状 (2006-2009年度), 国土技術総合政策研究所資料 No.668.
- 桑野玲子, 堀井俊孝, 山内慶太, 小橋秀俊(2010), 老朽下水管損傷部からの土砂流出に伴う地盤内空洞・ゆるみ形成過程に関する検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.2, 349-361.
- 都市の危機管理における路面下空洞対策戦略会議: 都市の危機管理における路面下空洞対策に関する提言
<http://resilience-jp.biz/wp-content/uploads/2018/06/teigen0606.pdf>
- 徳永珠未, 瀬良良子, 佐藤雅規, 大野敦弘, 濱也幸樹, 加納晋太郎, 桑野玲子, 道路陥没対策における空洞探査能力の指標化の意義と現状分析, 第1回交通地盤工学に関する国内シンポジウム(札幌), 2019年9月
- 濱也幸樹, 瀬良良子, 佐藤雅規, 大野敦弘, 徳永珠未, 加納晋太郎, 浅見文美恵, 桑野玲子, 道路陥没対策に求められる空洞情報高度化のための基礎的検討, 第1回交通地盤工学に関する国内シンポジウム(札幌), 2019年9月
- 小池豊, 濱也幸樹: 路面下空洞の発生状況の分析と考察, 第72回土木学会年次学術講演会, 福岡, 2017年9月.
- 内山・大石(2012): 4.路面下空洞の開削状況調査結果, 東京都土木技術支援・人材育成センター平成24年度年報
- 小池豊, 瀬良良子(2012)、路面下空洞の発生状況に関する考察(その1)、第47回地盤工学研究発表会、八戸、2012年7月.
- 堀田真由子, 桑野玲子, 福岡市の路面下空洞の生成傾向の分析及び空洞ポテンシャルマップの作成, 第52回地盤工学研究発表会, 名古屋, 2017年7月, 1421-1422.
- 堀田真由子, 桑野玲子, 瀬良良子, 福岡市における空洞ポテンシャルマップの作成, 第53回地盤工学研究発表会, 高松, 2018年7月, 1625-1626.
- 瀬良良子, 桑野玲子, 平田良祐, 張ヶ谷昌彦, 米本幸子: 藤沢市の効率的な道路陥没防止手法の実践的研究 -陥没ポテンシャルマップ開発に向けた空洞素因の地域分析-, 土木学会第73回年次学術講演会, 札幌, 2018年8月, III-078.
- 西山博光, 瀬良良子, 藤井邦男, 桑野玲子(2019)、官学産連携の路面下空洞対策の取り組みー路面下空洞の開削調査事例ー、地盤工学会誌、Vol.67, No.8, 12-15.
- 唐崎遥平(2020)、埋設管接合部の止水不良個所における路面下空洞の生成・成長過程の検討、東京大学卒業論文
- 唐崎遥平, 金子かのん, 桑野玲子, 桑野二郎(2020)、埋設管接合部の止水不良箇所における路面下空洞の生成・成長過程の検討、第55回地盤工学研究発表会、京都、2020年7月.
- 大原勇, 桑野玲子, 瀬良良子, 模型実験および陥没事例の分析に基づく陥没生成メカニズムの検討、第54回地盤工学研究発表会、さいたま、2019年7月、1463-1464.
- Kuwano, R., Ohara, Y. and Sera, R. (2019), A study on the potential size of subsurface cavities in sandy soil, 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (16ARC), Oct. 2019, SA06-005.
- 中田祐輔, 桑野玲子, 瀬良良子, 国道の路面下空洞の成長傾向に関する検討, 土木学会第73回年次学術講演会, 札幌, 2018年8月, III-079.
- 岡本順平, 松隈努, 濱崎哲次, 地震災害後の早期道路復旧に向けた路面下空洞調査の活用、土木学会第72回年次学術講演会、福岡、2017年9月.