

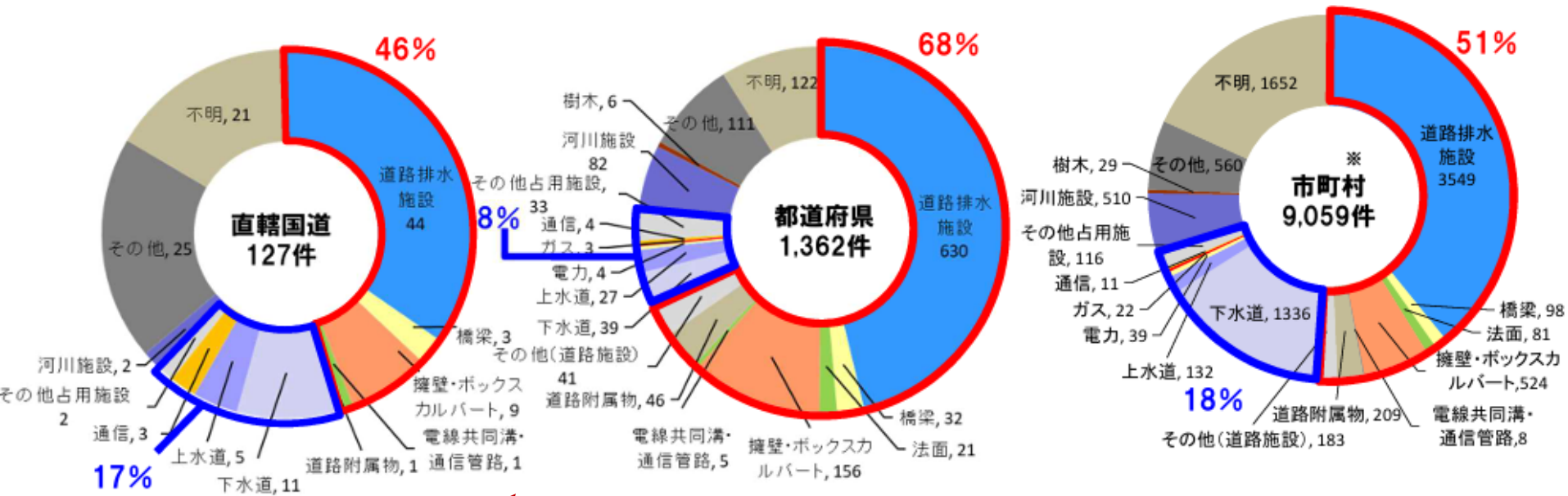
路面陥没の実態とメカニズム

東京大学生産技術研究所
桑野玲子

都市の道路路面陥没

令和4年度

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



総数約10000件

* 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

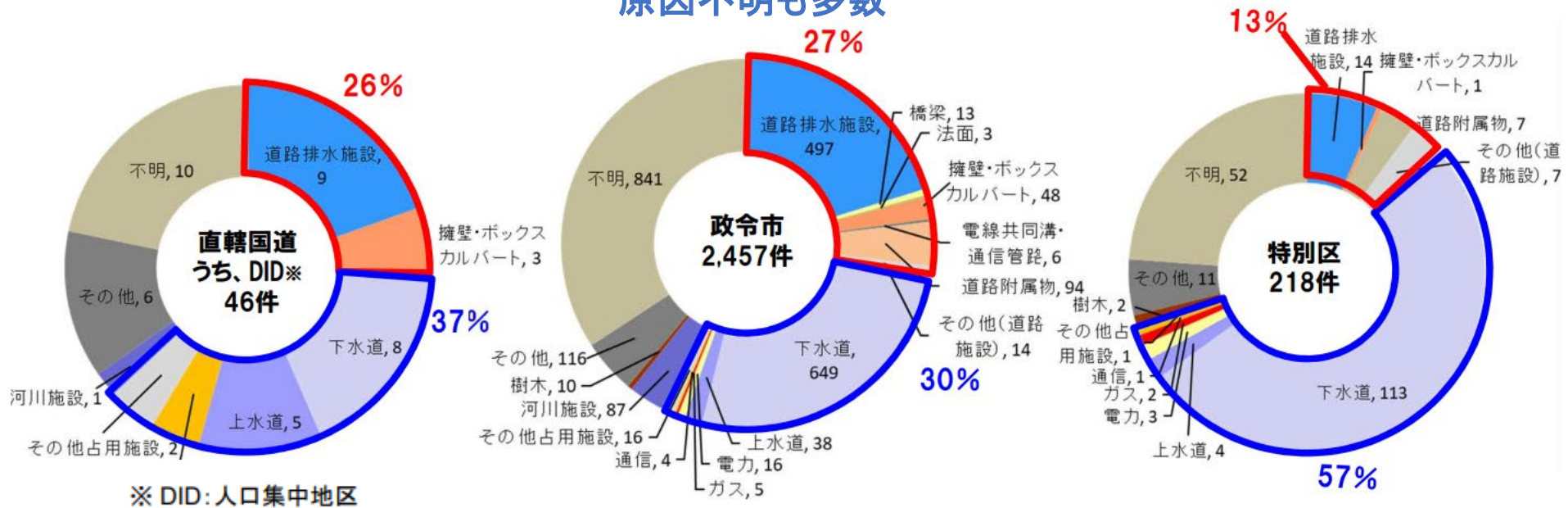
(出典)道路局調べ

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

令和4年度

下水道など埋設管起因が多い
原因不明も多数



* ポットホールは含まない



道路施設が要因の陥没

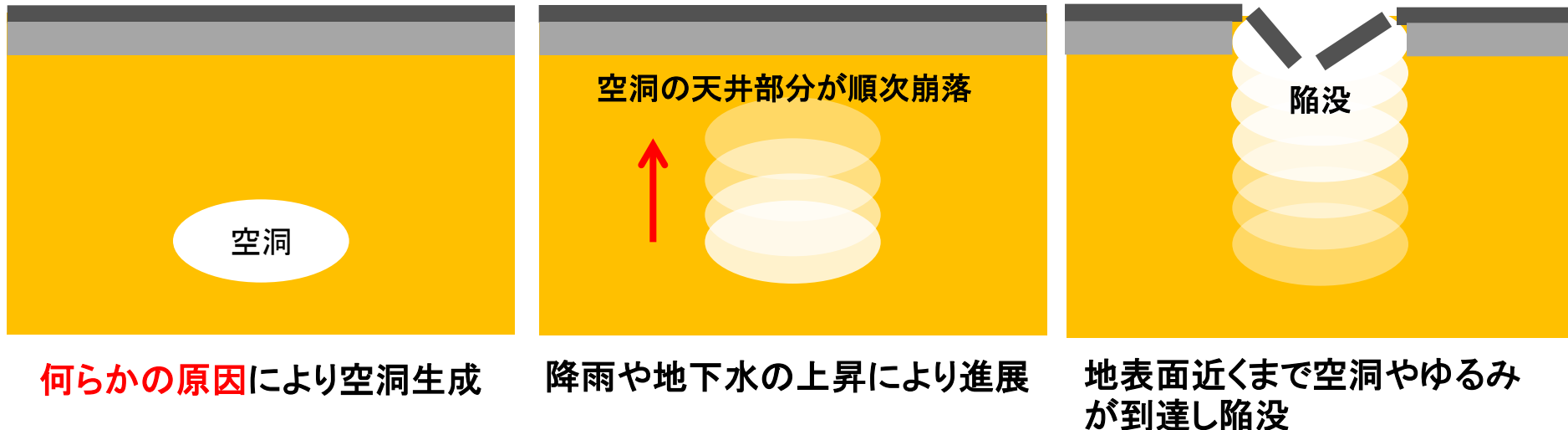


道路占用物件が要因の陥没

(出典)道路局調べ

陥没の原因となる地盤内空洞

地盤陥没のプロセス



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

人工生成の地盤内空洞による陥没

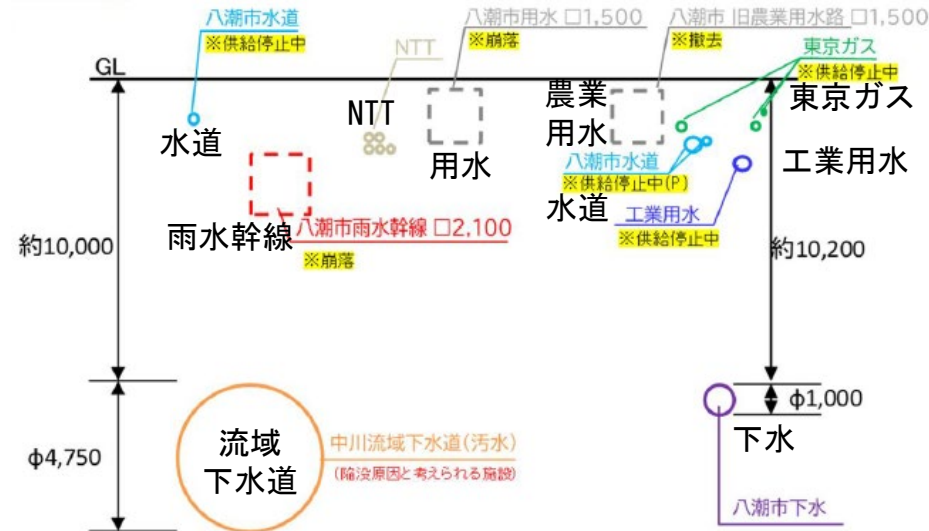
都市部では、
地下利用の高度化・輻輳化に伴う埋設物起因の空洞・陥没が主体

地中構造物が錯綜する
都市の地下



Underground, by David Macaulay (1976)

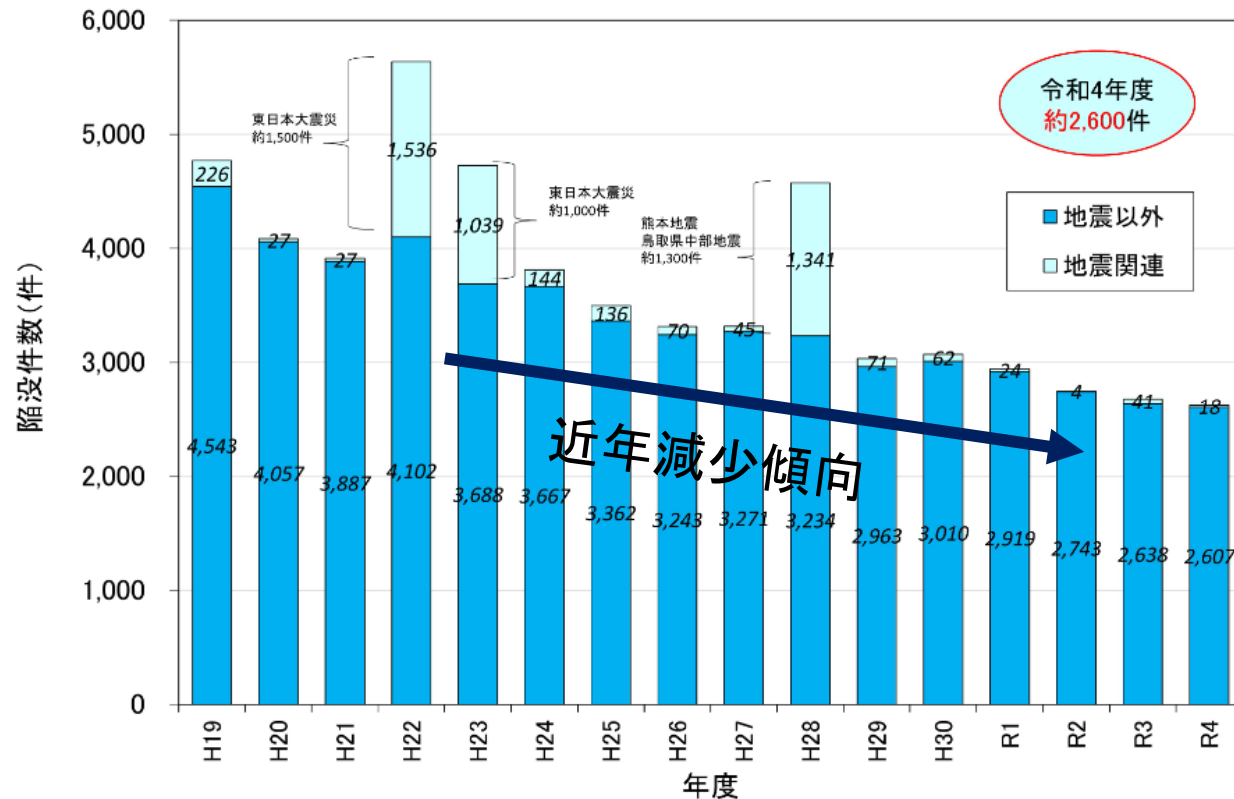
八潮陥没地の地下埋設インフラ



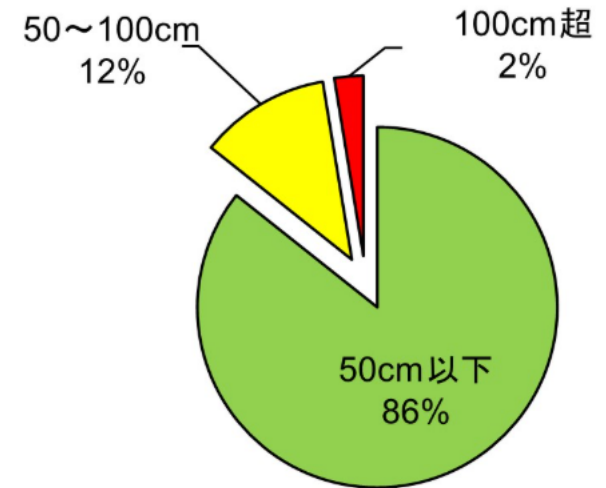
「下水道等に起因する大規模な道路陥没事故を踏まえた対策検討委員会」第1回資料より

下水管路に起因する道路陥没

下水管路に起因した道路陥没件数の推移



道路陥没深さ (令和4年度)

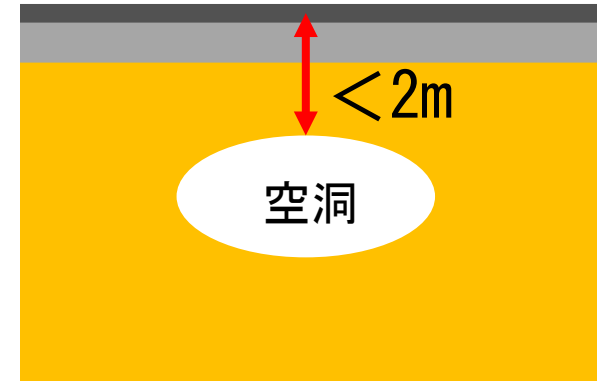


8割以上が50cm未満の浅い陥没で規模の小さいものがほとんど

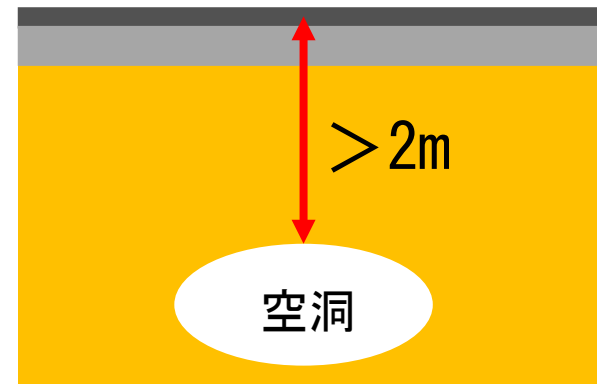
年間約2600件！

浅層空洞と深層空洞

浅層空洞：空洞の天井部の深さが地下2m以浅
地中レーダ探査で探知可能でこれ
まで路面下空洞のデータがある程
度蓄積されている



深層空洞：空洞の天井部の深さが地下2m以深
実用可能な既存の空洞探査方法が
なく実態が不明
事例は少ないが大規模陥没を起こ
しうる



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

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

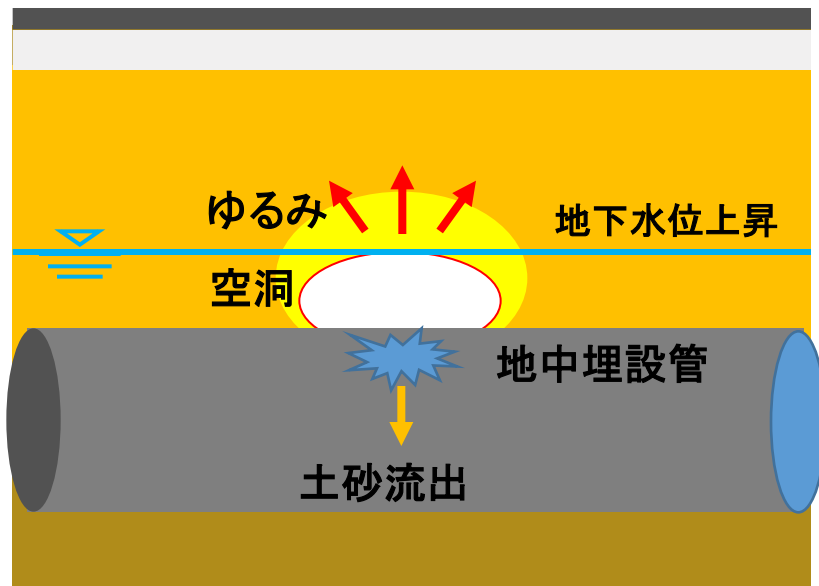
何故路面下空洞ができるのか？

空洞がどのように拡大・進展し、路面陥没に至るのか？

路面下空洞の生成

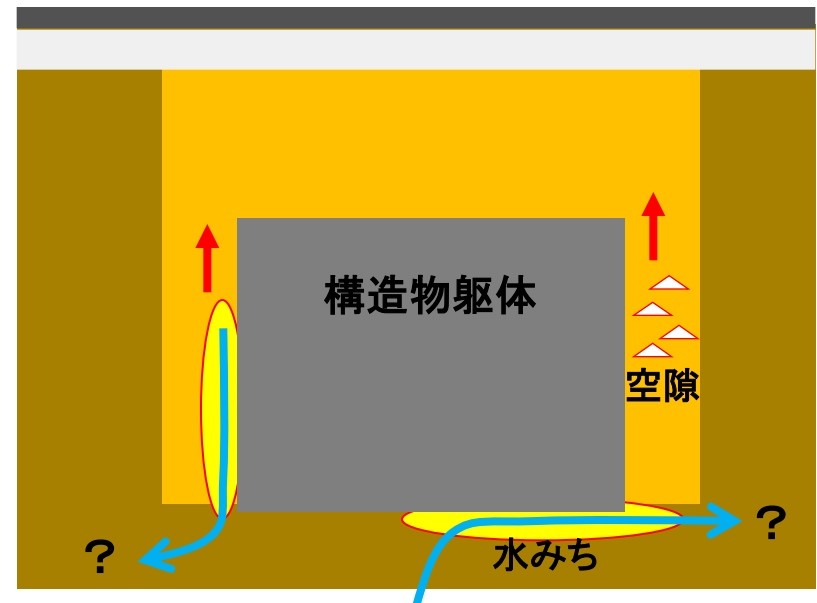
主な原因

成熟した都市における
埋設インフラの老朽化



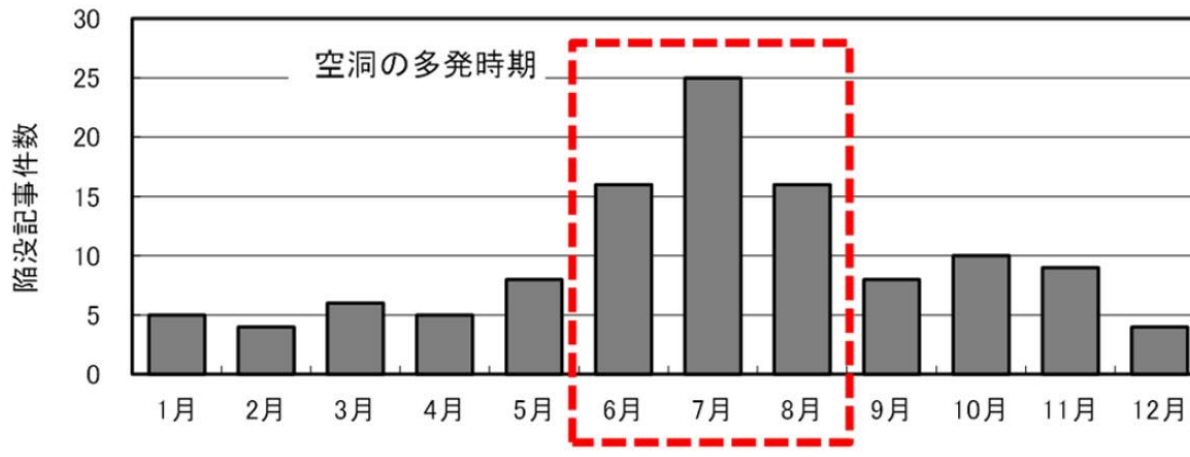
埋設管など、
道路下の地中構造物の破損

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

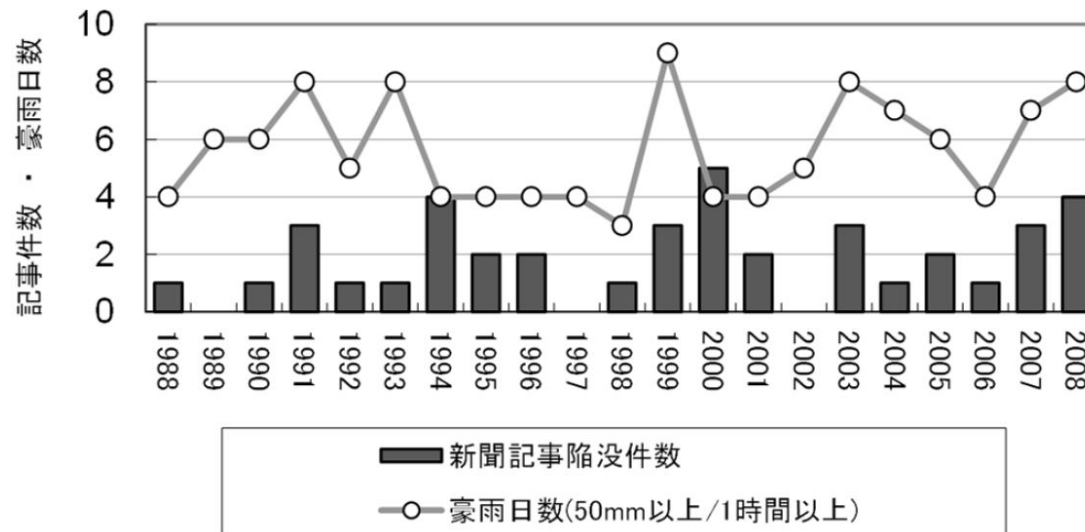


埋戻し材の締固め不良？
水みち周辺の細粒分流出？
その他不明な原因？？

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

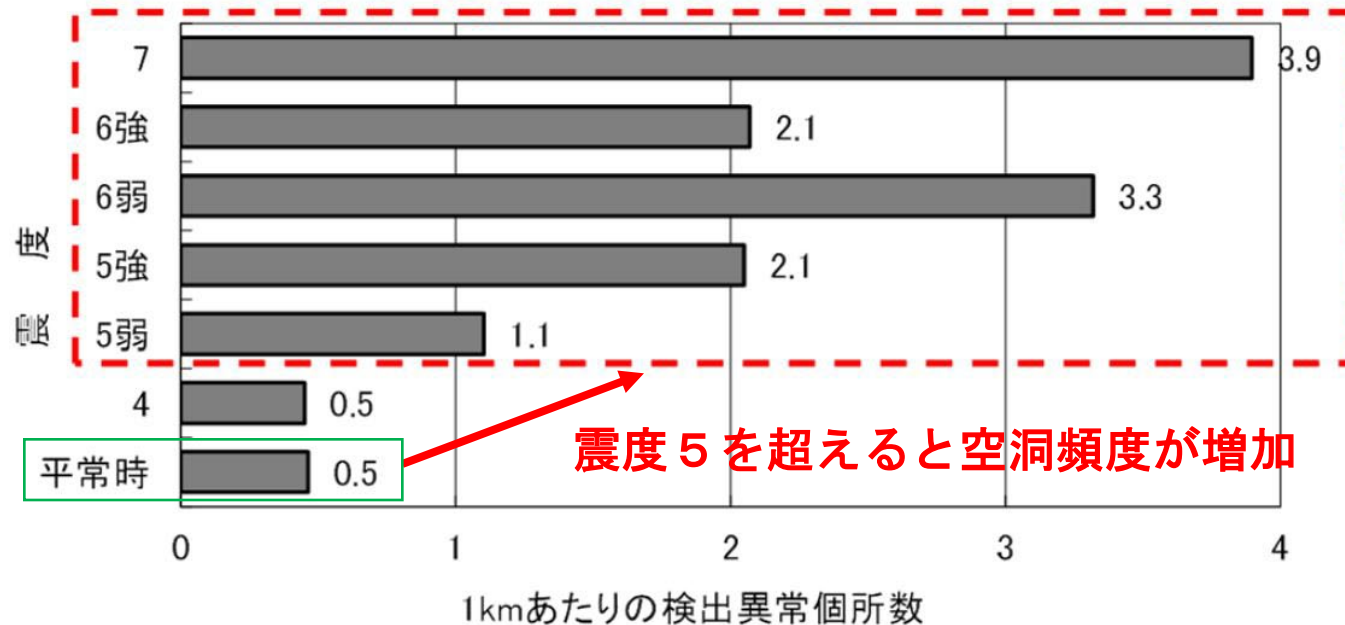


新聞記事にみる路面陥没事故と年間豪雨日数の年別件数(1988~2008年、関東地方)

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:

空洞ポテンシャルマップ

- ・ 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:

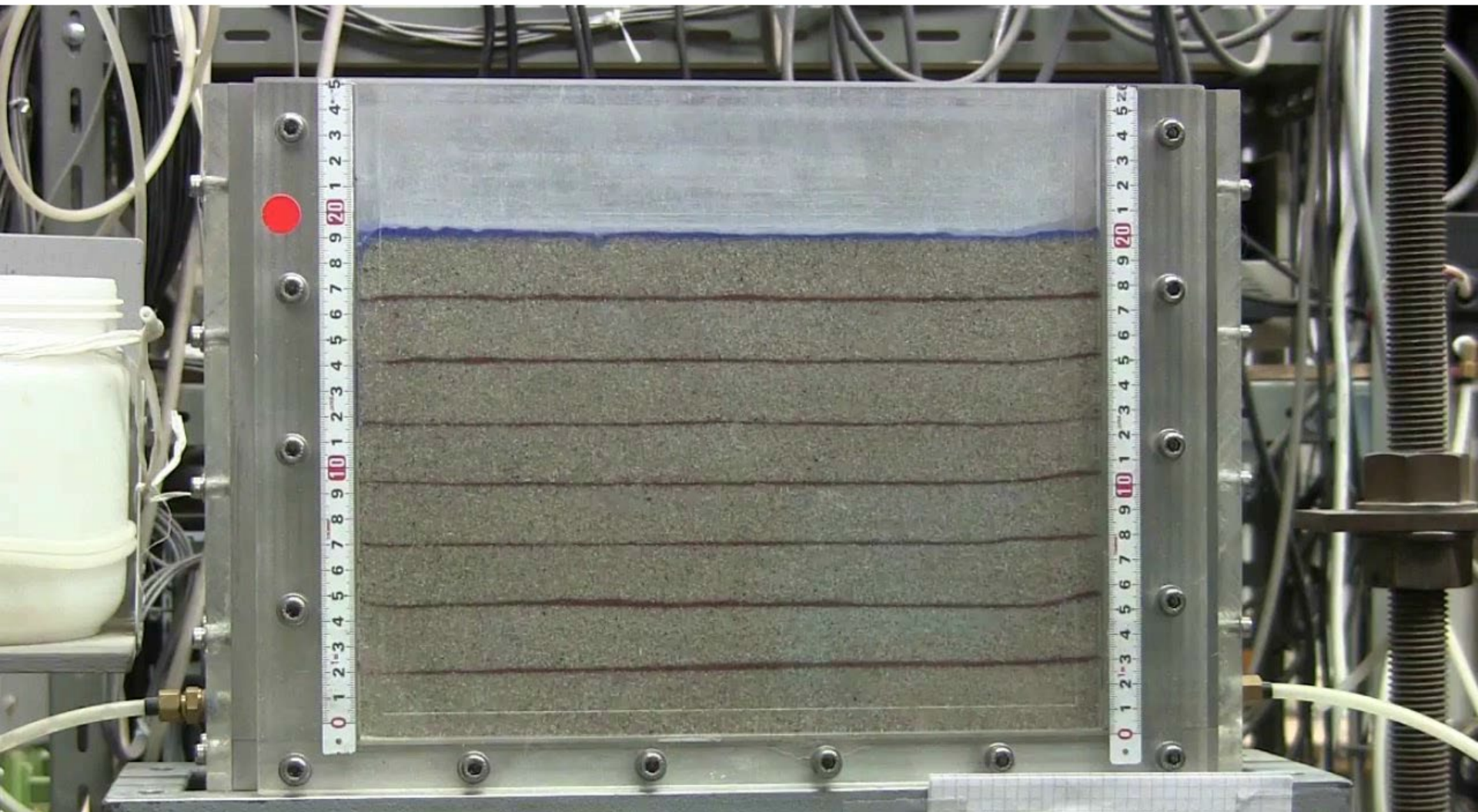
- ・ 地中埋設インフラの老朽化・破損
- ・ 雨
- ・ 地震 等

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

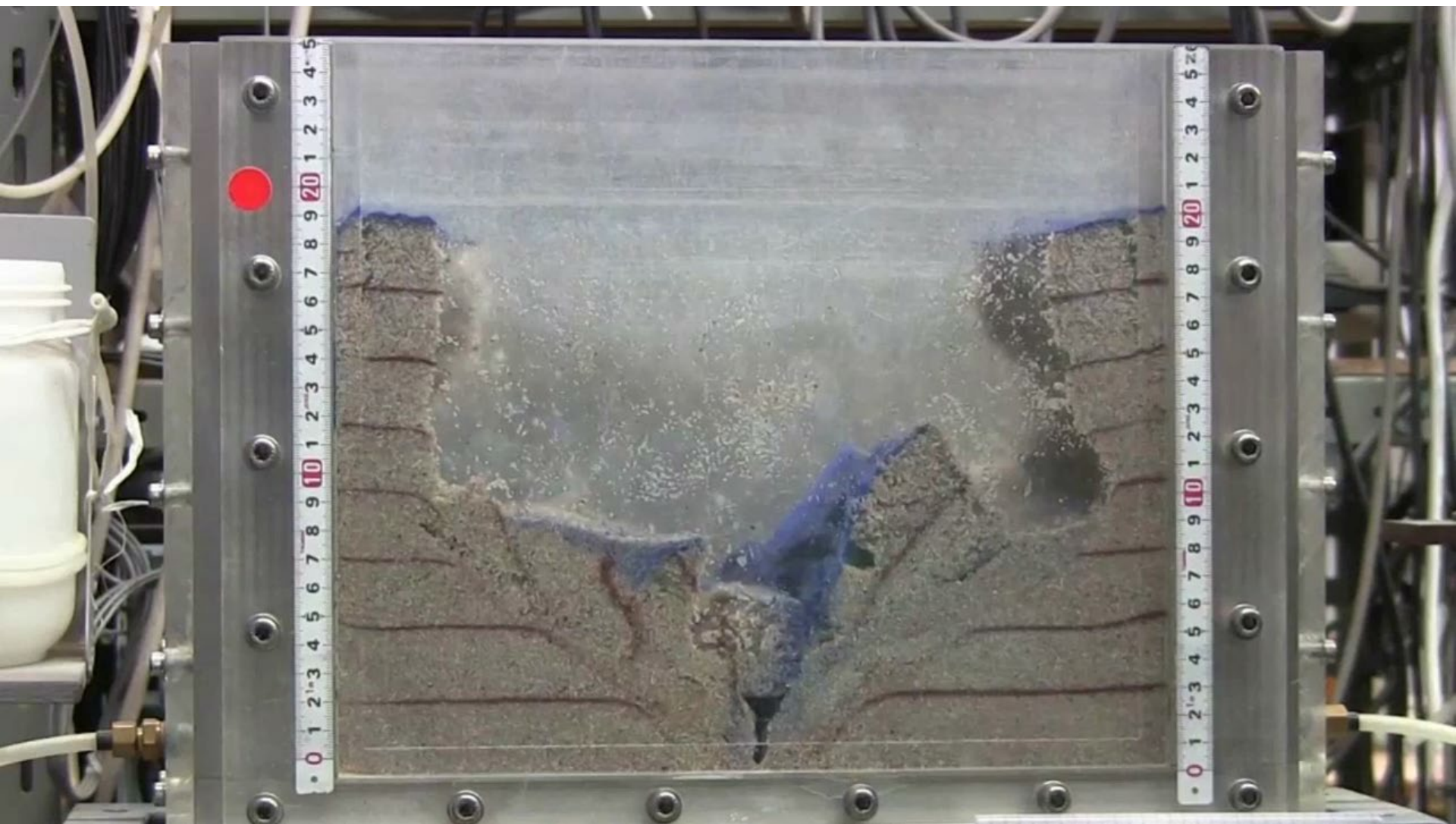
空洞生成・拡大のプロセス

空洞生成・拡大～陥没プロセス 動画



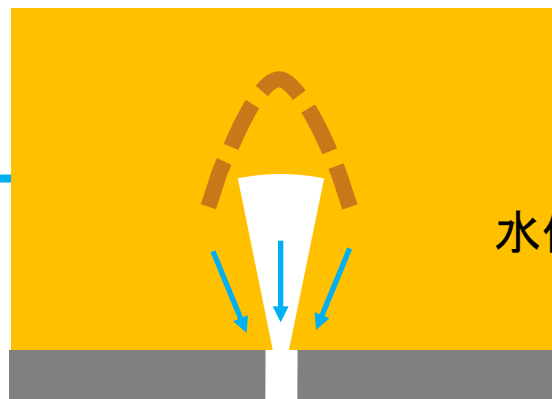
空洞生成・拡大のプロセス

空洞生成・拡大～陥没プロセス 動画



空洞生成・拡大のプロセス

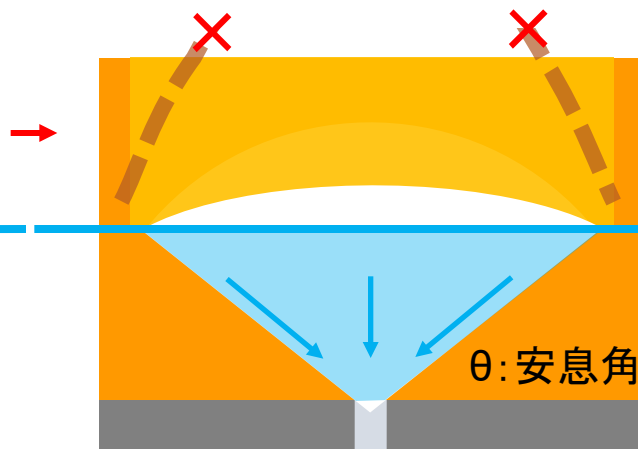
空洞が深く広がりが小さい場合は空洞上部に土のアーチ効果が働く



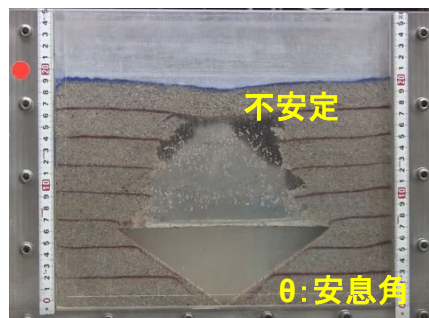
水が速く抜けた場合は空洞は大きく広がらず、煙突状



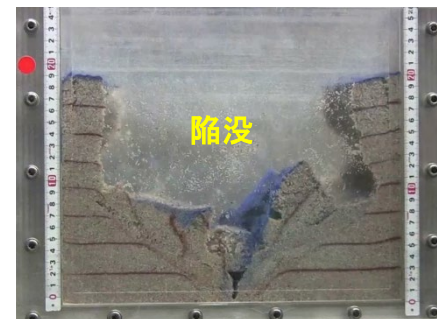
空洞が広がり浅いと上部にアーチングが働く余地がない



空洞内に水が保持されると土砂流出孔上部に扇形に空洞が広がる



空洞上部の土が崩落し陥没

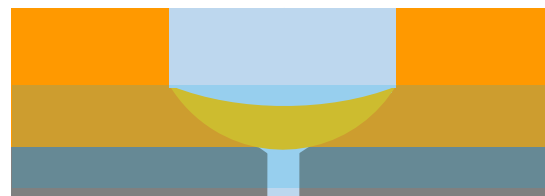


流出孔(隙間)が小さくても、継続的な土砂流出により空洞は拡大しうる
地表面に変状が表れるのは末期的状況になってから
水位の上下、または高い地下水位は空洞拡大の主要因

空洞生成・拡大のプロセス

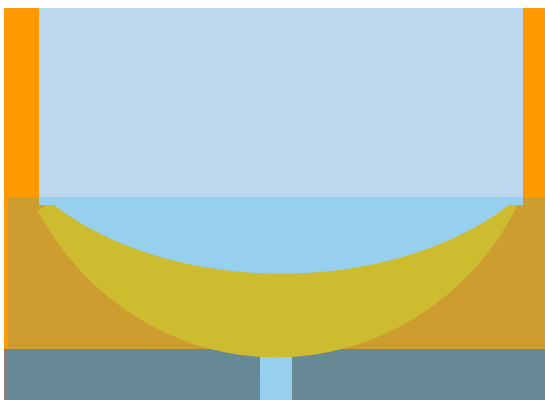
自立しない土層の下に抜け道があることによる土の亡失

流出孔が
浅い場合



陥没規模
小

流出孔が
深い場合



陥没規模
大

流出孔が地中深くなるほど陥没孔も大きくなる傾向あり

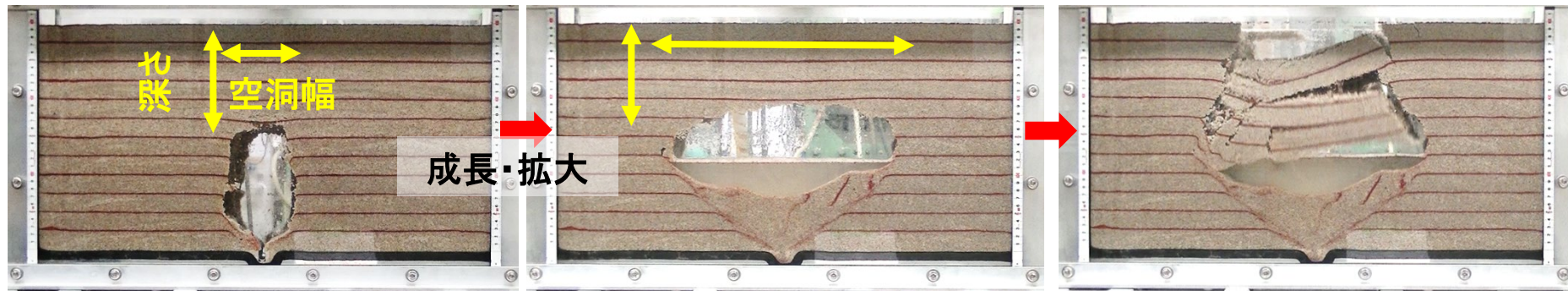
土砂流出による空洞生成・拡大・陥没過程

模型実験 （土槽底部の開口部より給排水繰返し）



初期空洞→ 空洞の拡大・進展→地表面の崩壊・陥没

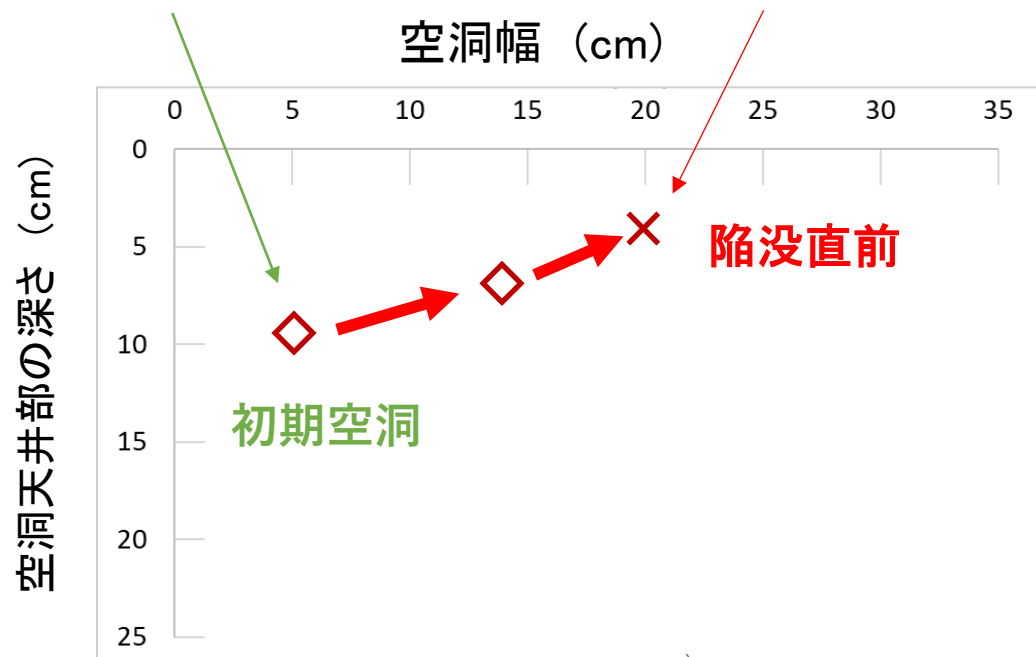
空洞生成・拡大過程



煙突状の初期空洞

陥没直前

崩落・陥没

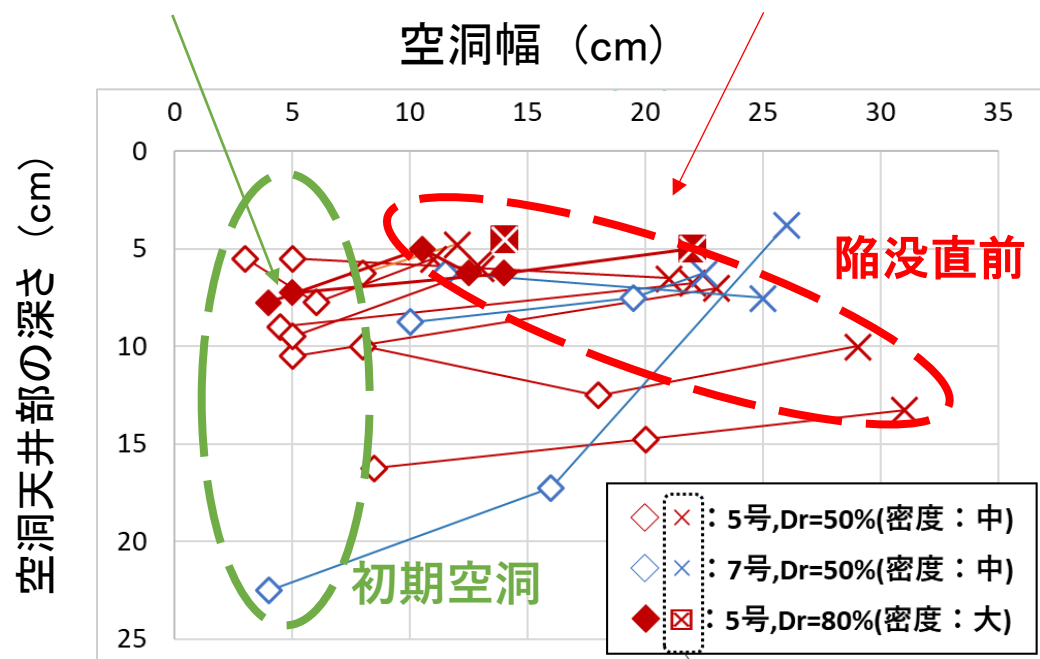
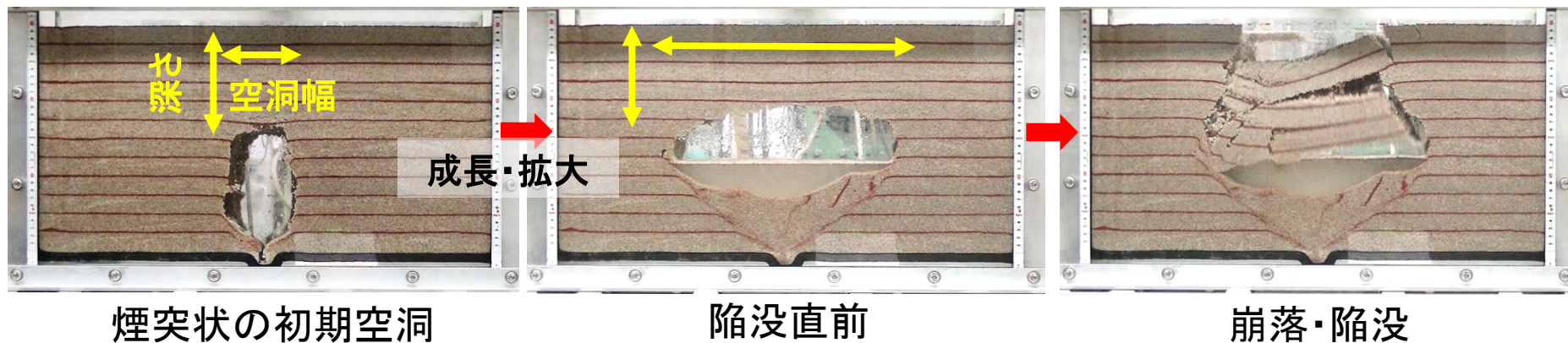


煙突状の縦長の初期空洞

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

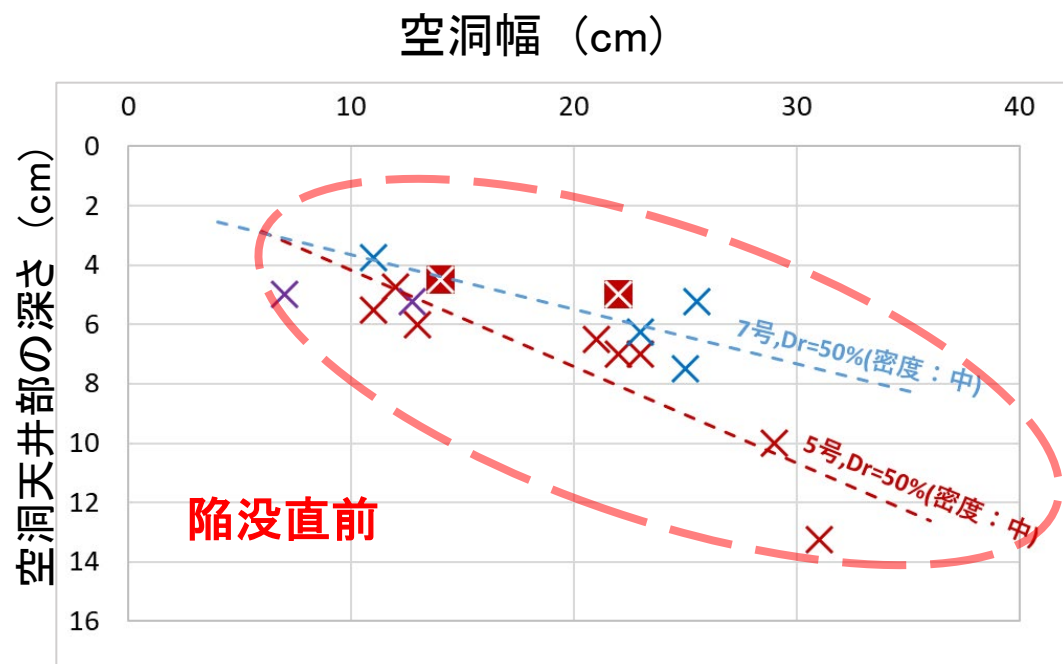
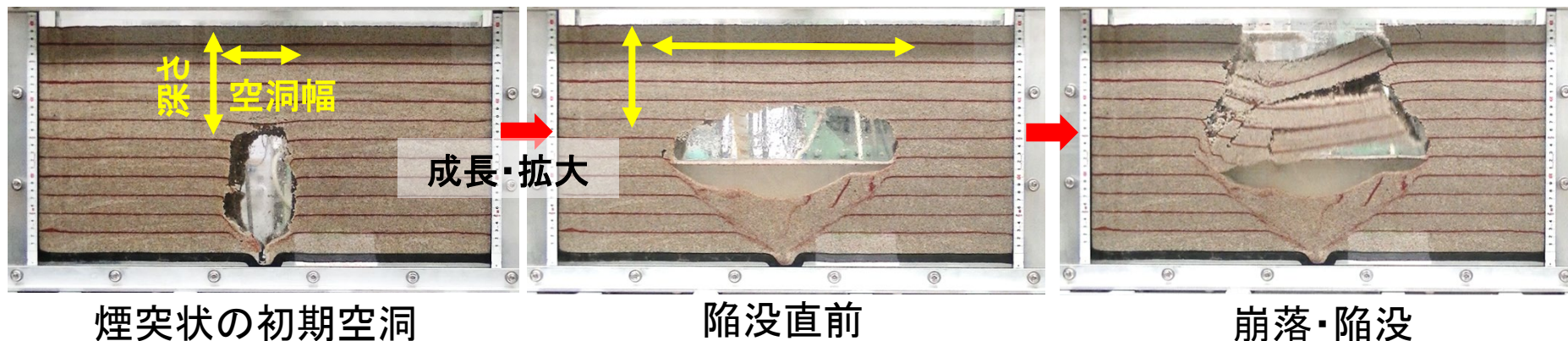


地下水位以下の空洞幅拡大



空洞上の土塊が崩落し陥没

空洞生成・拡大過程

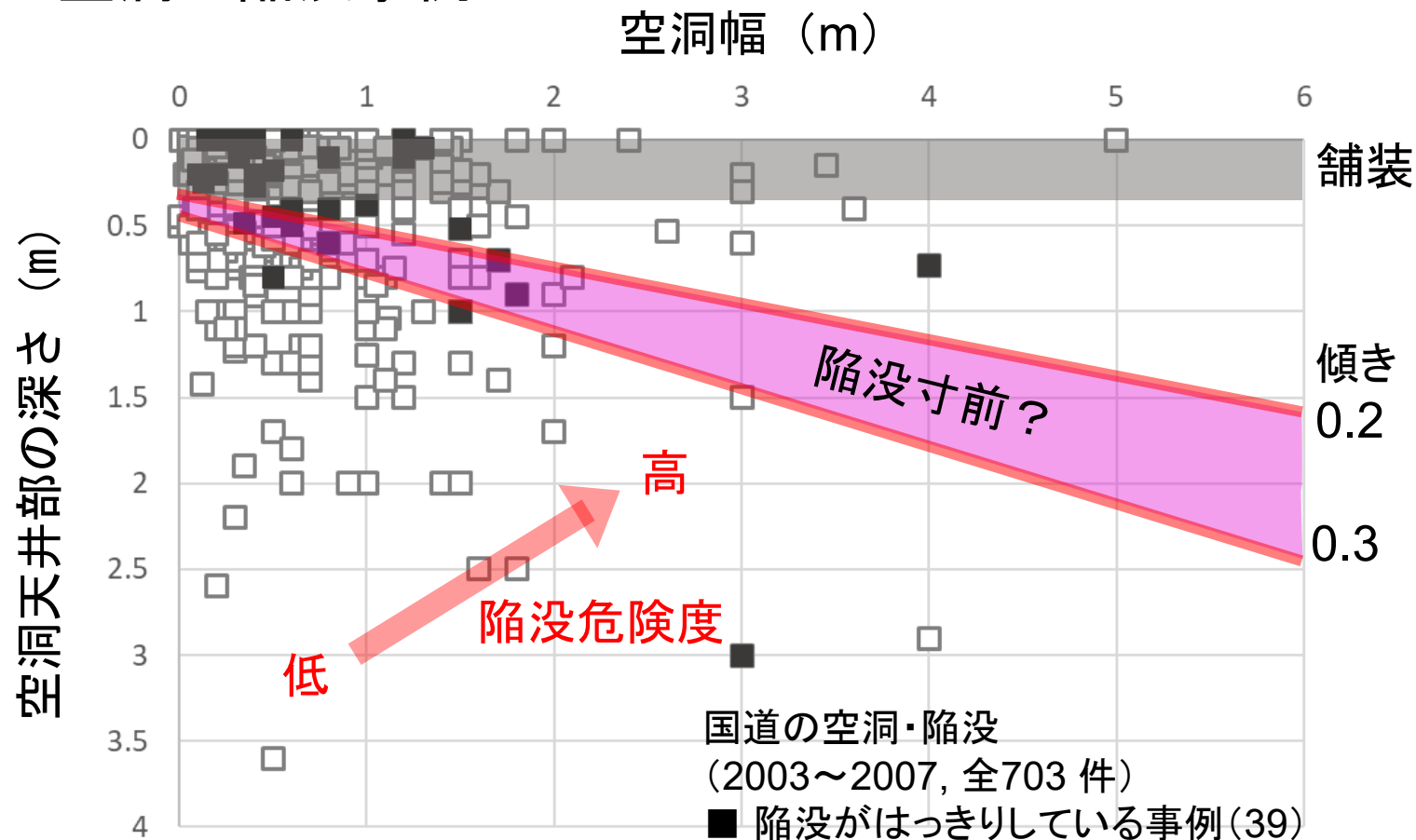


空洞は，土砂流出が継続する場合，地下水位以下で水平方向に広がり成長する

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

空洞の陥没危険度評価

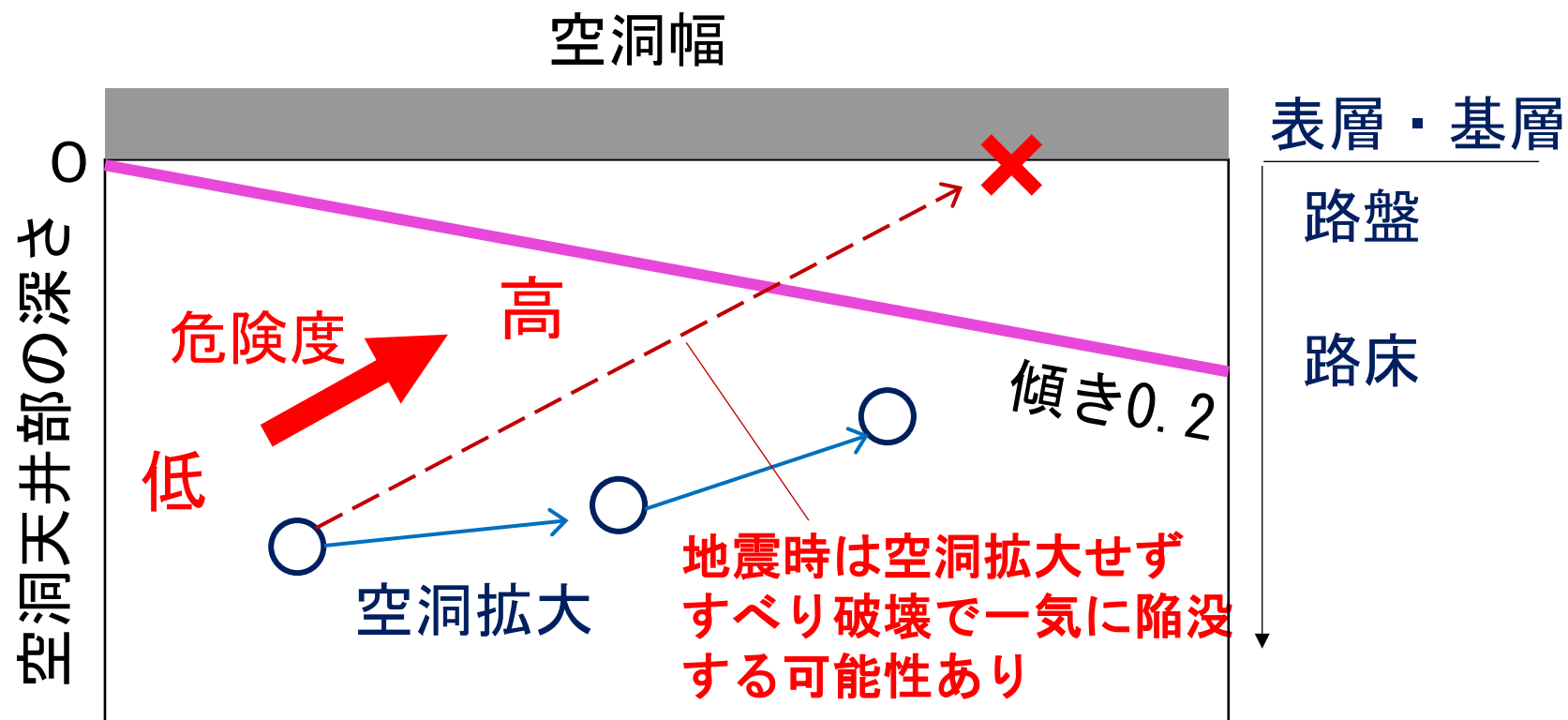
国道の空洞・陥没事例



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の空洞深さで評価



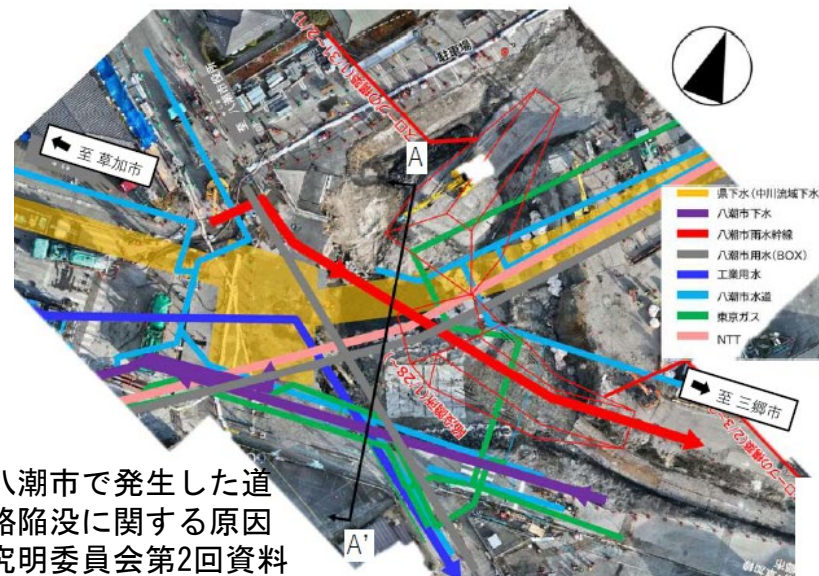
八潮陥没からの教訓

八潮陥没の不運：

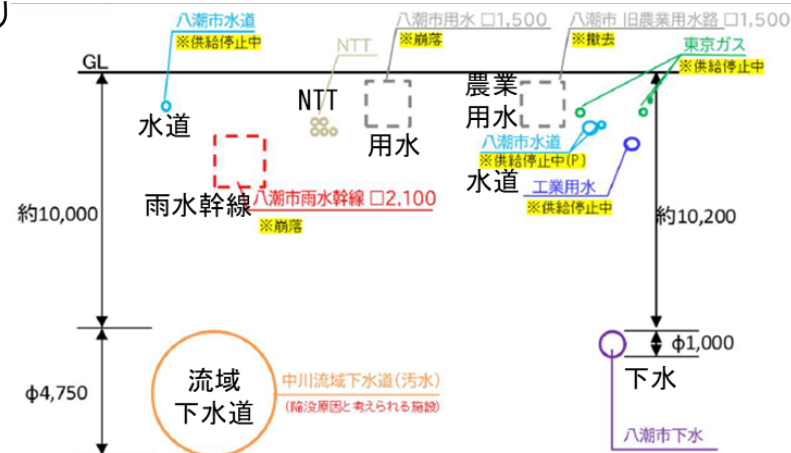
- ・ 深層空洞起因
原因となる管渠はGL-10mで、既存の地上からの空洞探査の範囲を超えている
- ・ 下水道管渠
シールド工法による大規模管渠
腐食促進環境 点検しづらい状況
下水管内から背後の空洞を見つけるのはそもそも難しい
- ・ 周辺環境
軟弱なシルト・細砂層 高い地下水

下水道起因の陥没は従来ほとんど小規模で、
深層空洞起因の大規模陥没は想定外

輻輳する埋設インフラ



八潮市で発生した道路陥没に関する原因
究明委員会第2回資料
より



地下10m地点から土砂流出が継続した場合には大陥没になりうる

陥没事故の概要

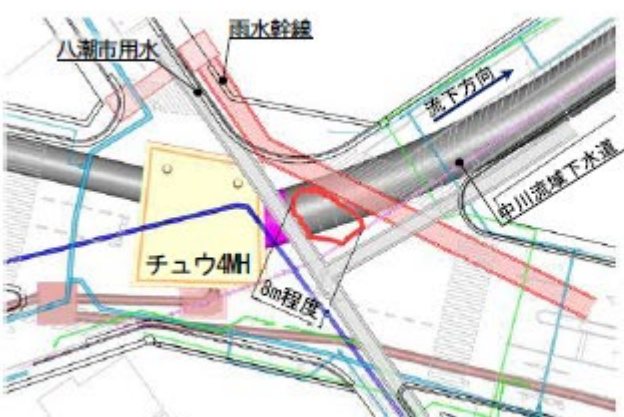
日時：2025年1月28日9時49分頃

場所：主要地方道松戸草加線（県道54号）中央一丁目交差点内

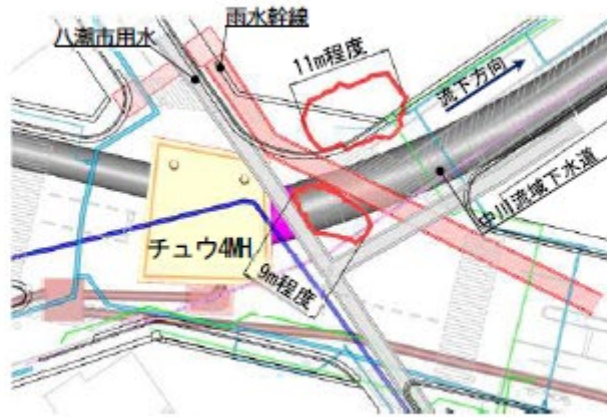
陥没の規模：1つ目 幅約8m、深さ約5m トラックが転落

2つ目 幅約11m、深さ約8m（1月29日1時3分頃）

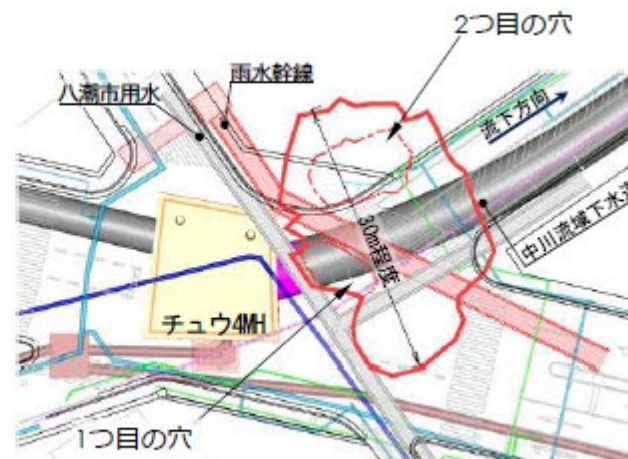
2つの陥没穴が一つに結合して幅約30m深さ約10mに拡大（1月30日2時37分頃）



(1月28日09:49頃)



(1月29日01:03頃)



(1月30日02:37頃)

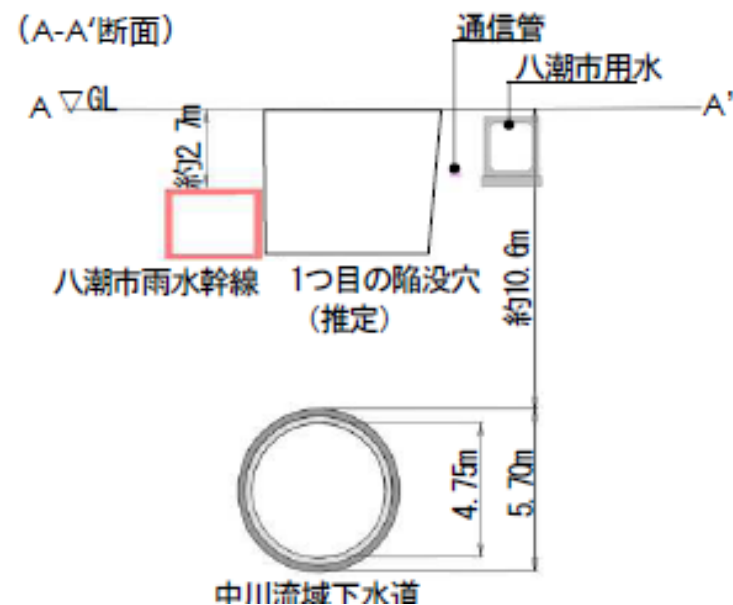
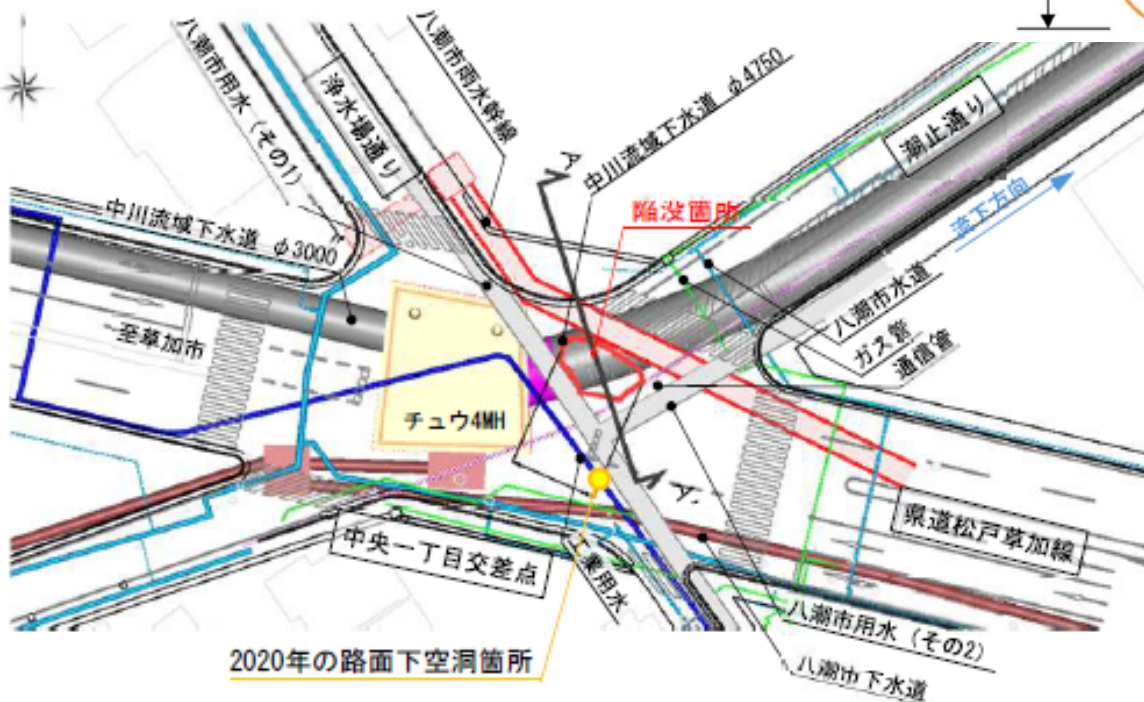
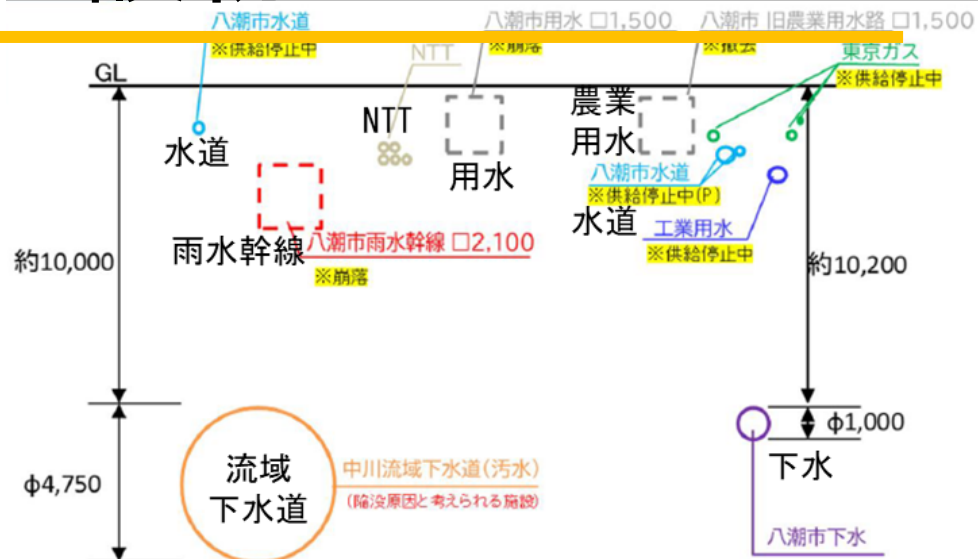


八潮市で発生した道路陥没事故に関する原因究明委員会中間とりまとめ (2025. 9/4) より

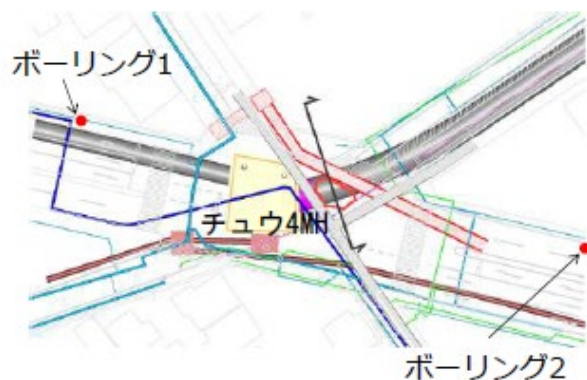
地下埋設物

中川流域下水道（中央幹線） 八潮市雨水幹線など全9種類

八潮市で発生した道路陥没事故に関する原因究明委員会
中間とりまとめ（2025.9/4）より



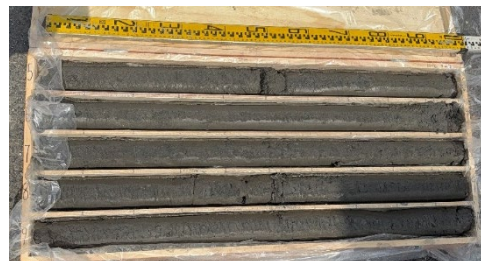
陥没地周辺の地盤



シルト質細砂 $F_c=40\%$

砂混じりシルト $F_c=95\%$

深度30mまでN値ほぼ0の
軟弱地盤



ボーリング1

深さ (m)	土質区分	N値
1	シルト質細砂	●1
2		●5
3		●13
4		●4
5		●1
6		●1
7		●2
8		●1.7
9	砂混じりシルト	●0
10		●0
11		●0
12		●0.7
13	シルト質細砂	●2.6
14		●0.9
15		●0
16		●0

地下水位GL-1.35m

GL-7.75m

GL-11.75m

下水
φ3000mm

ボーリング2

深さ (m)	土質区分	N値
1	シルト質細砂	●2
2		●0
3		●1
4		●7
5	砂混じりシルト	●0
6		●0
7		●1
8		●1
9	シルト質細砂	●0
10		●0
11		●0
12		●1
13	砂混じりシルト	●1
14		●1
15		●0
16		●0

地下水位GL-2.25m

GL-7m

GL-11m

近傍箇所のボーリングコア

八潮市で発生した道路陥没事故に関する原因究明委員会中間とりまとめ（2025. 9/4）より

下水管の概要

中川流域下水道：1983年にシールド工法により整備（供用から42年）

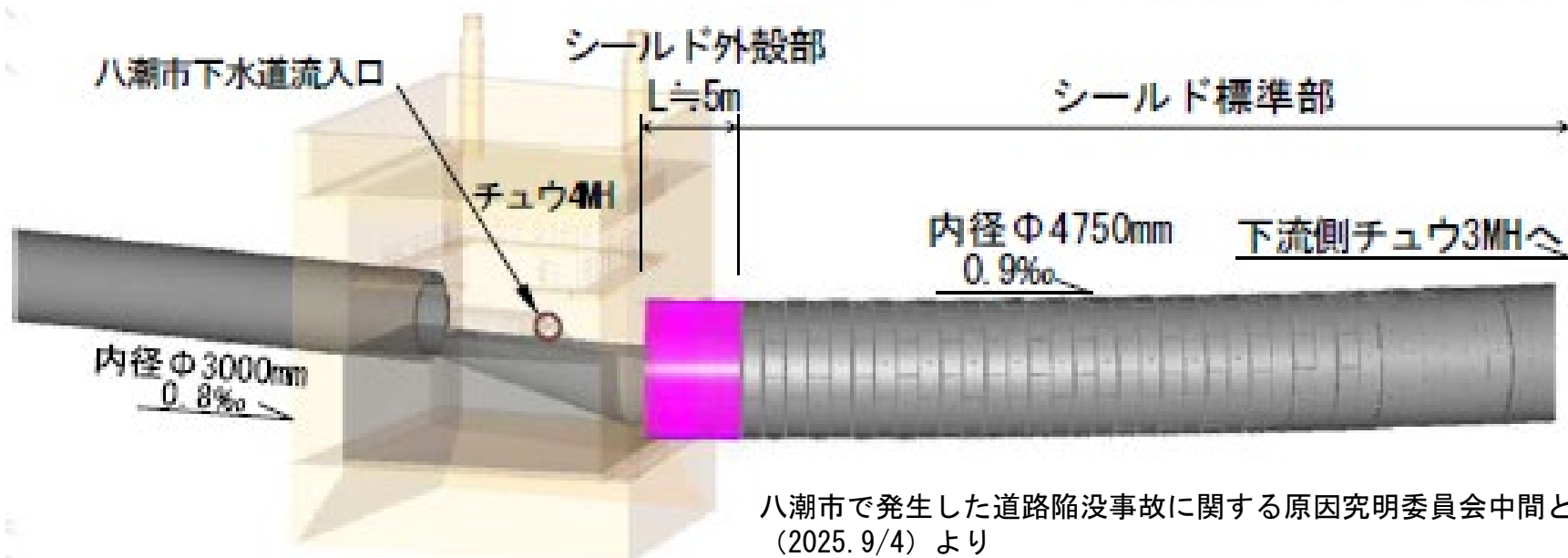
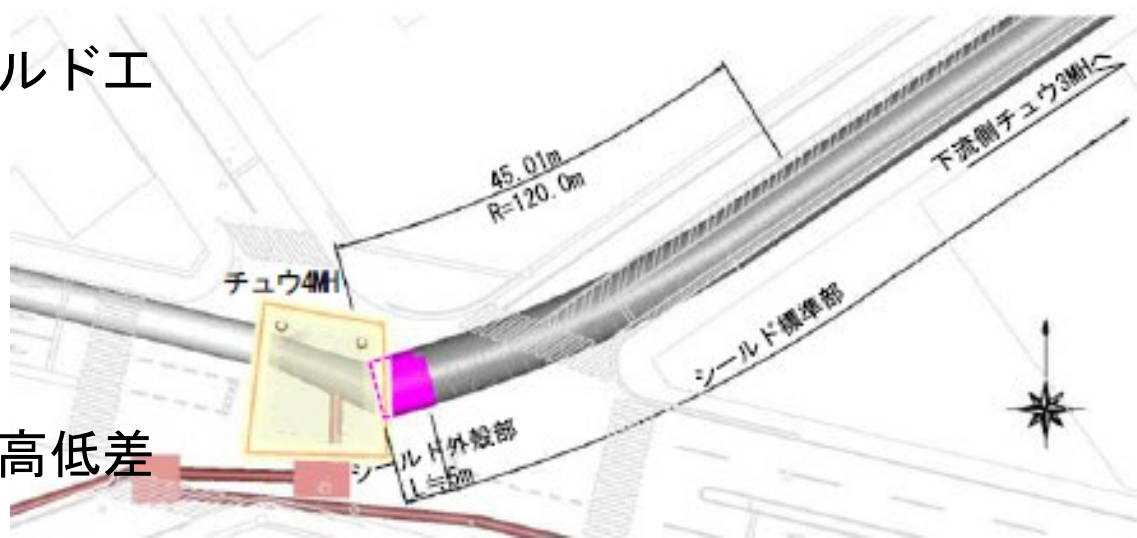
内径4.75m、土被り10.6m

下流に向かってカーブ

（曲線半径 $R=120\text{m}$ ）

チュウ4MH内で約1.9mの高低差

八潮市下水道流入口と約3.5mの高低差



八潮市で発生した道路陥没事故に関する原因究明委員会中間とりまとめ
(2025.9/4) より

下水管の腐食



写真④ チュウ4MHから下流20～50m付近の状況
（事故後に撮影・撮影日 2025/2/5）

陥没地はマンホールとの接続部付近で段差があり硫化水素濃度が高く著しい腐食促進環境
腐食により下水管の内外が連絡か？

八潮市で発生した道路陥没事故に関する原因究明委員会
中間とりまとめ（2025. 9/4）より

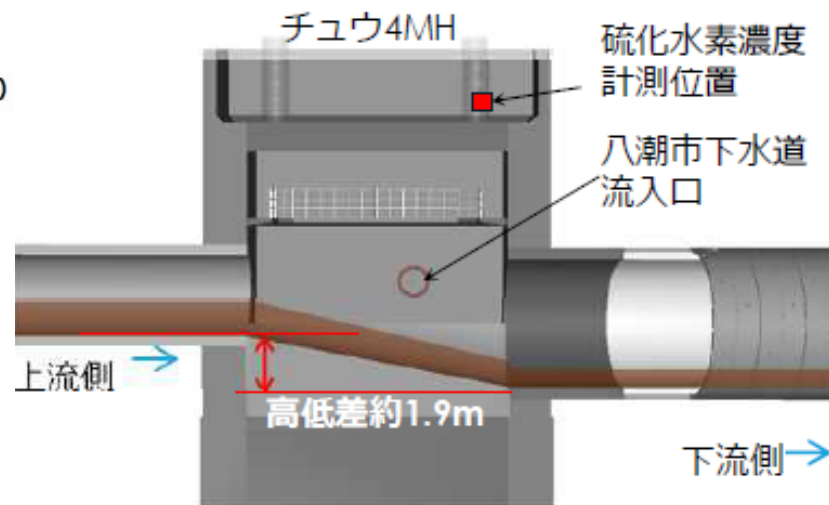
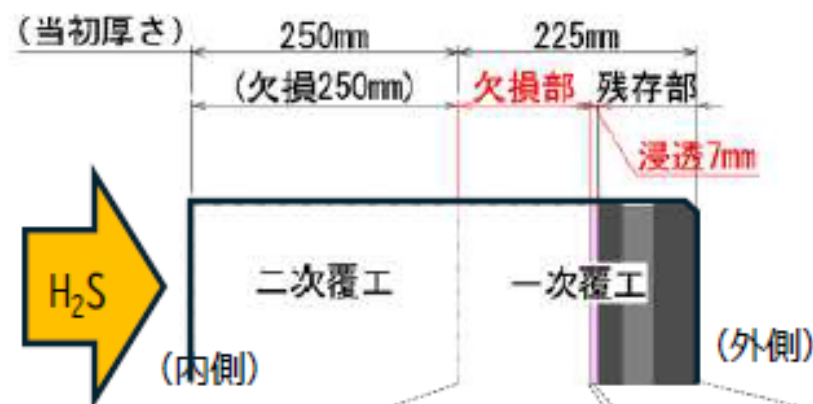


図4.8 チュウ4MHの構造的特徴



現地から回収された
セグメントの状況

細粒土の空洞形成

【実験条件】

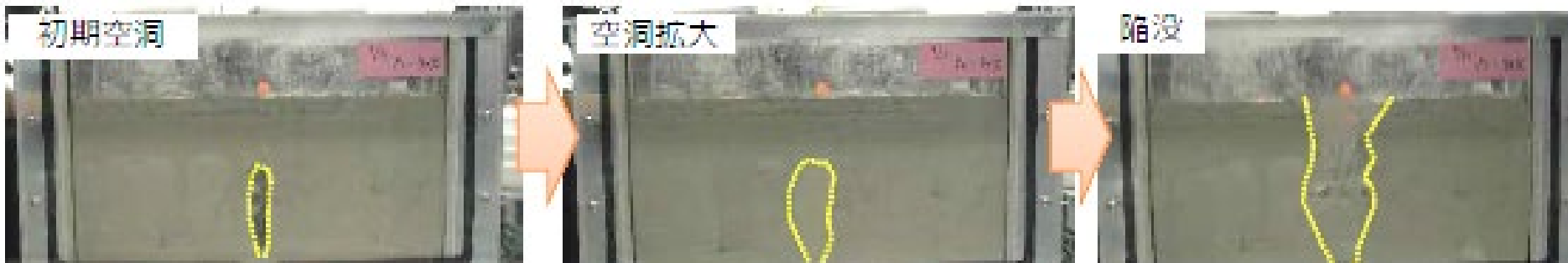
- 土槽サイズ : 横幅60cm、高さ30cm、奥行10cm
- 模型地盤サイズ : 横幅60cm、高さ25cm、奥行10cm
- 実験材料 : 現地の土を模した細粒分含有率40%の土砂
(現地の土と粒度は同じで、細粒分を非塑性シルトに置き換えた土)
- 模型地盤内の初期水位 : 地表面から5cm下
- スリット(開口部) : 土槽底板中央にスリット(隙間5mm)を設置

奥行方向に一様な2次元モデル

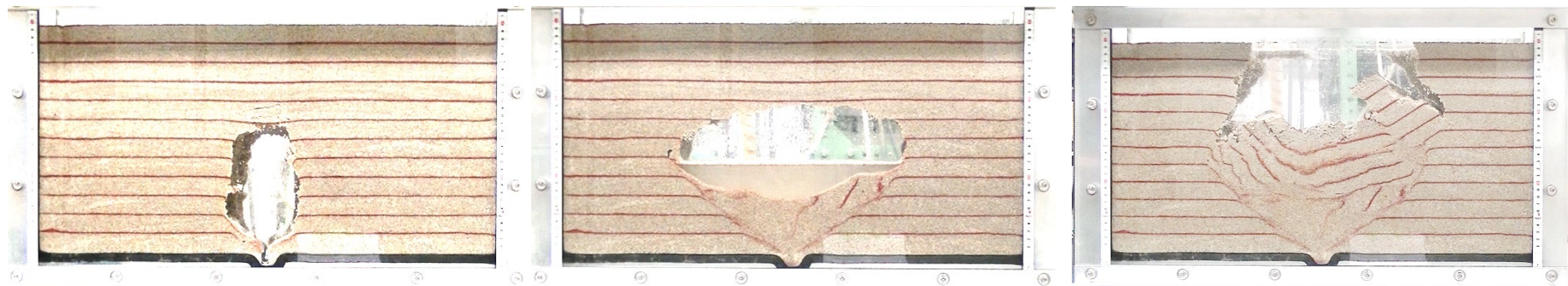
八潮の現地土の模擬土 (Fc40%、細粒分を非塑性シルトで置換え) 64倍速

細粒土の空洞形成

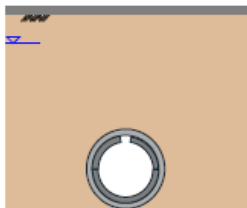


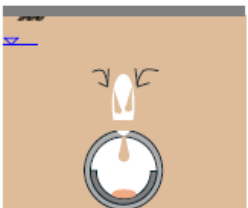
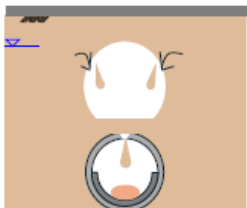
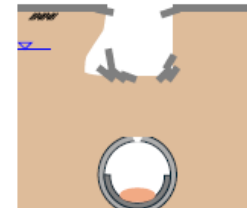
細粒土：底部開口部から土粒子と水が一体となって流出し、流出分の体積が上端に空洞として残る。空洞周辺部は水の流出により不飽和化してサクションにより自立性が発揮される。その後の空洞への水の供給によりサクションが解放されるが、細粒土では透水性が低いため、水に接する空洞内面から徐々にサクション解放が起きて、壁が溶けるように空洞が拡大する。



砂：砂も水と一緒に重力によって開口部から流出し、残置部はサクションが働き煙突状の初期空洞ができる。空洞内に給水されると、砂の透水性は高いため広範囲のサクションが解放され、水面下では安息角で空洞幅が広がる。

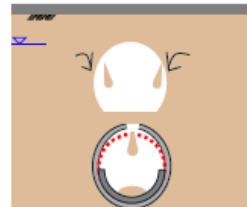
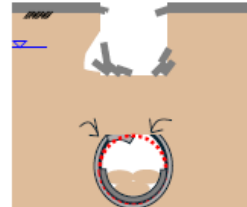


空洞生成・拡大・陥没のプロセス

1	2	3	4	5	6
<ul style="list-style-type: none"> 化学的腐食によって二次覆工が損傷 一次覆工が露出して化学的腐食が進行 	<ul style="list-style-type: none"> 小規模な空隙から土砂が下水道管に流出 	<ul style="list-style-type: none"> 地中に小規模な空洞が発生 	<ul style="list-style-type: none"> 空洞が成長 注) 	<ul style="list-style-type: none"> 年単位の時間をかけて路面近くに到達 	<ul style="list-style-type: none"> 空洞がある一定規模に達すると、路面を支える力が失われ、道路陥没（9:49段階）
					

管の損傷部から土砂が管内に流出し地中に空洞が生成・拡大 →
空洞天井部が地表近くに達し路面陥没

下水管の大規模崩落は陥没直前？
あるいは直後？
どの段階で起こったかは不明

5	6
<ul style="list-style-type: none"> 空洞によって下水道管の土圧が変化（上から押さえつける力が弱まり、縦長に変形するような荷重分布に変化） 	<ul style="list-style-type: none"> 化学的腐食で構造的な耐荷力が低下していた下水道管が崩壊 注2) 道路陥没（9:49段階）
	

陥没孔転落時の救助に関わる留意事項

地中空洞の形状

均質地盤であれば、土砂流出点から放射状に広がる。ただし、地下埋設物が輻輳していたり、土砂流出点が複数ある場合は、空洞が連なったり複雑な形状になる。

陥没孔周辺の地盤のゆるみ

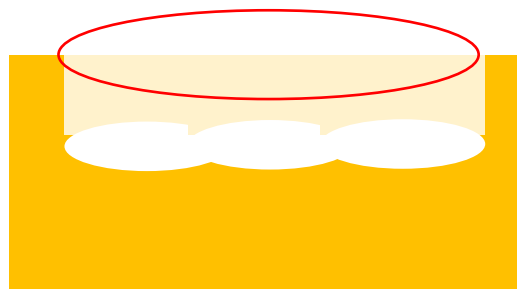
均質地盤であれば一般には陥没孔上部は直壁に近い。ただし舗装路盤が頑張っすり鉢状になっているケース、路面付近に埋設物があり張り出している場合もある。陥没孔周辺は地盤がゆるんでいる場合あり。ゆるんでいなくてもギリギリに荷重をかけると壁がすべり破壊するおそれあり。

地表の穴は円形



均質地盤

地表の穴は楕円形



土砂流出源が複数

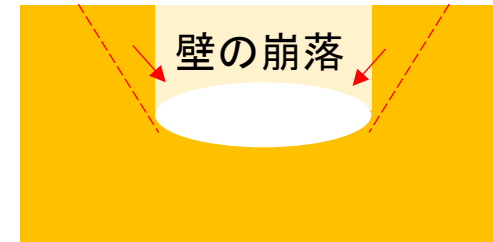


路面付近に埋設物あり

陥没孔転落時の救助に関わる留意事項

陥没孔壁の崩壊・ガレキの落下

陥没孔壁は拘束されていないので崩壊の危険あり。
水が流れていると土がゆるんで崩壊危険は高まる。上部から舗装や埋設物のガレキが落下する危険もある。（→壁の崩落は簡単には止められないが、陥没孔壁にネットをかけるなどしてガレキの落下時間に粘りを持たせる（救助者が逃げる時間を稼ぐ）方法は考えられないか？）



土をゆるませて掘り出す

現地は軟弱地盤であったが、細粒土が水で締まった状態は意外と硬い。人力で掘り出せない、重機を使えない場合は、土を緩ませる必要があるかもしれない。
また、トラックキャビンを取り上げようとしてもワイヤーが切れるほどの大きな力が作用した。土砂が下向きに流動している状況でキャビンを引きずり込む力が作用していたと考えられる。