



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

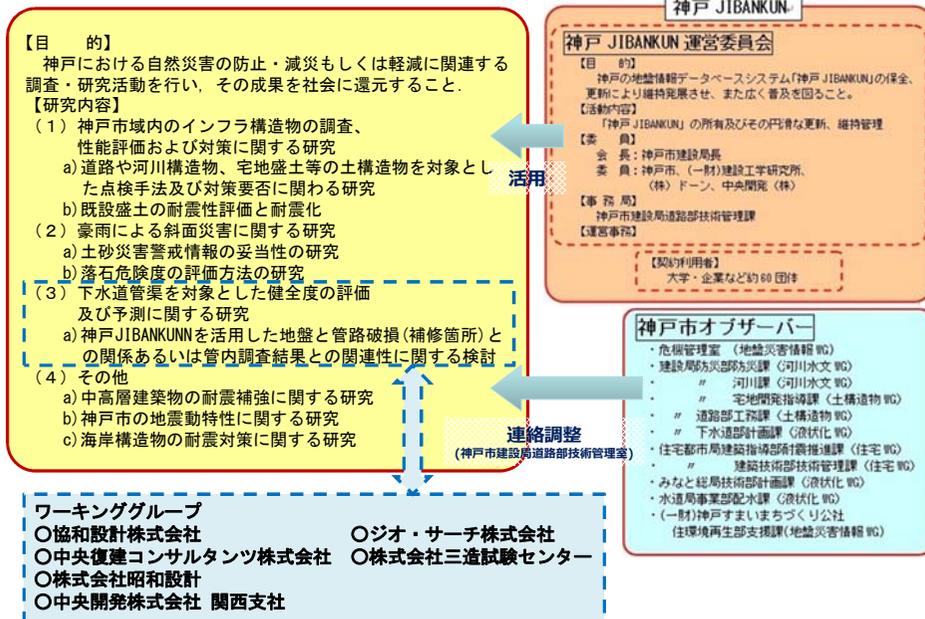
神戸の減災研究会会長 澁谷 啓

神戸市建設局 小松 恵一

- 阪神・淡路大震災（平成7年）の後、神戸市・神戸大学を中心とする技術者・研究者が協力し、地盤情報DB「**神戸JIBANKUN**」を構築
- 「**神戸JIBANKUN**」は、神戸市において一般公開され、神戸市の減災研究になくてはならない地盤情報を与えるアーカイブ
- 神戸の減災研究会**の前身である「神戸の地盤研究会、沖村孝会長（当時）」は、神戸市と連携して、先端的な技術や知識と「**神戸JIBANKUN**」を融合して神戸市の自然災害の減災に活用することを目的として平成11年に設立され、**神戸の減災研究会**にもその理念は継承されている

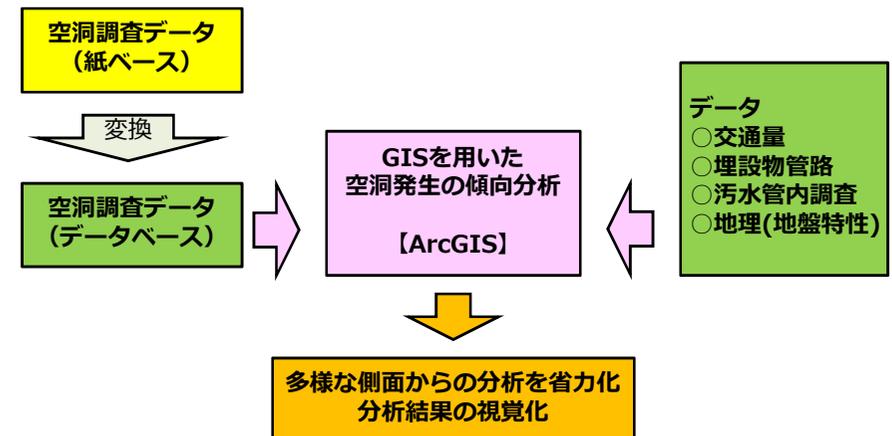
神戸の減災研究会HP → <http://kobe-gensai.com/>

神戸の減災研究会(会長：澁谷 啓 神戸大学教授)の組織図(H30年度現在)



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、空洞発生分類、傾向などの分析を行う。



■ 空洞調査に基づく陥没等の災害予測に関する研究

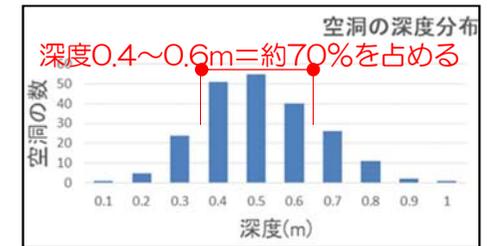
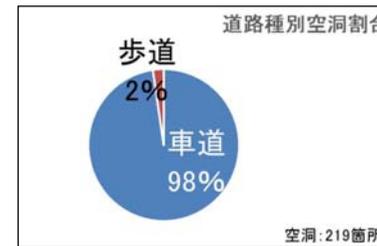
(1) 概要 (路面下空洞の傾向分析)

- 近年全国的に道路陥没が頻繁に発生しており、空洞調査の重要性が高まってきている。
- 過去の調査実績(紙ベース)をデータベース化するとともに、空洞発生箇所の傾向分析を行うため、地盤や土質の特性等との関連性、地下埋設物等との関連性を検証する。
- H9~H28で空洞調査を実施した件数は816件
「空洞」と判断=219件(2件:スコープ調査無)
「空洞の可能性有」と判断=547件
「その他」と判断=50件

5

神戸市内の路面下空洞データの抽出および評価

(1) 空洞箇所の傾向分析(「空洞」217件での分析)

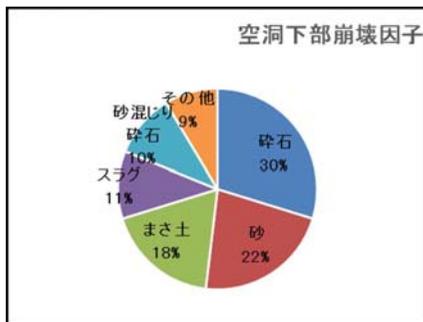


空洞発生箇所の大半が車道
 ⇒車道上の交通荷重が空洞発生
 の要因と推測できる。

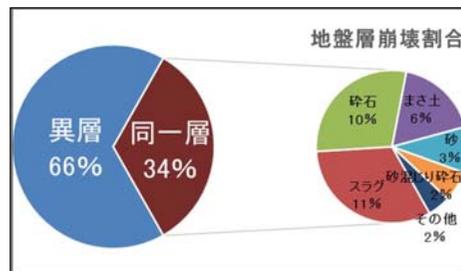
空洞の深度は概ね1.0m以内
 ⇒浅層埋設で敷設されている
 ものが要因と推測できる。

6

神戸市内の路面下空洞データの抽出および評価



砕石, 砂, 真砂土が
 60%を占める



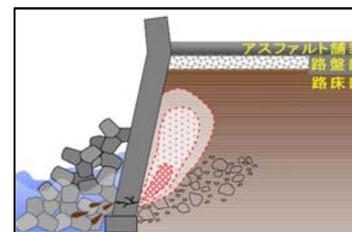
路面下空洞は66.5%(123件)
 が異層間で発生している。
 ⇒交通活荷重による振動によ
 り、異なる路盤材料の境界面
 で空洞が発生

7

空洞発生メカニズムの分類および事例分析

空洞の発生メカニズムは「吸出し系」と「沈下系」の2種
 に大きく分類

「吸出し系」構造物
 背面土砂の吸出し



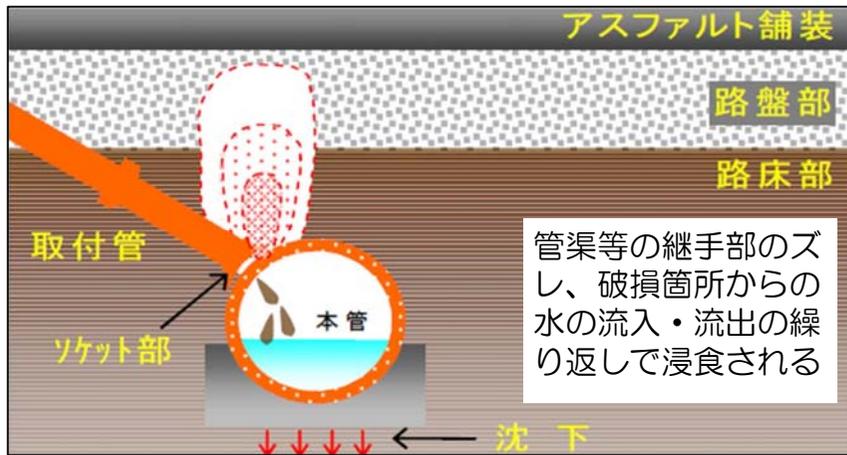
地盤内へ水が流入・流出を繰返し
 徐々に土砂が浸食される



8

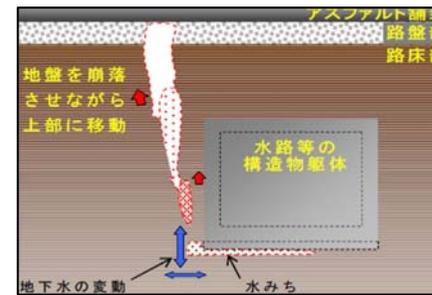
空洞発生メカニズムの分類および事例分析

「吸出し系」地下埋設物破損箇所等からの吸出し



空洞発生メカニズムの分類および事例分析

「沈下系」地下埋設物・構造物
周辺での水みちによる影響



地下水の変動等により構造物周辺の埋戻し土が圧密することが原因

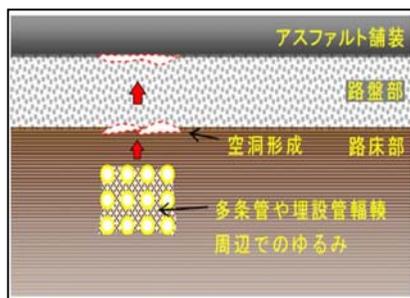


地下鉄の影響によって水みちが形成され空洞が発達

代表事例

空洞発生メカニズムの分類および事例分析

「沈下系」転圧不足



地下水の変動等により構造物周辺の埋戻し土が圧密することが原因

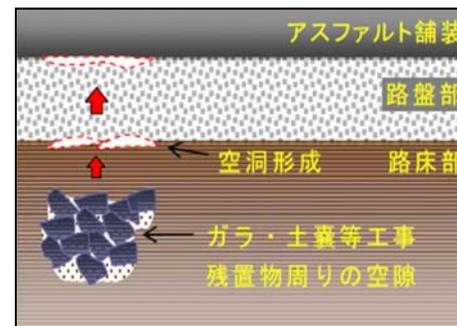
代表事例



空洞の下部に複数の埋設管がある

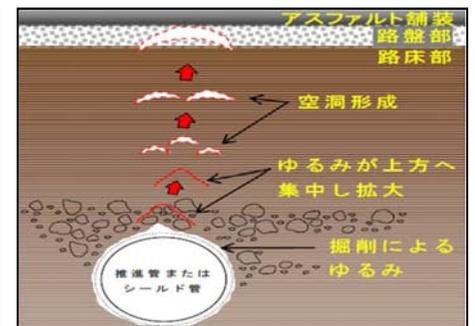
空洞発生メカニズムの分類および事例分析

「沈下系」埋戻し材に混入した異物(ガラ・木片など)の影響



埋戻し時に残存していた空隙や、異物の腐食で生じた空隙が拡大することが原因

「沈下系」シールドや推進工事による影響

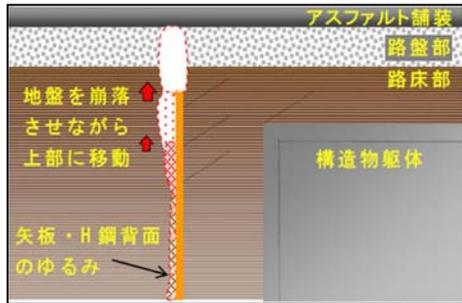


推進で生じたゆるみが一方に集中し、空洞を形成することが原因

空洞発生メカニズムの分類および事例分析

「沈下系」残置物
(矢板、死管等)の影響

「沈下系」コンクリート版や
スラグ路盤下の不等沈下影響

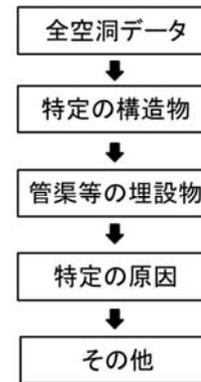


残置物の処理不良によって周辺のゆるみが拡大することが原因



残置物の処理不良によって周辺のゆるみが拡大することが原因

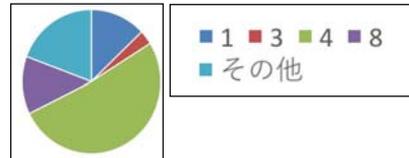
空洞発生メカニズムごとの分析



- 河川付近……………※1 ①
- 地下鉄周辺……………③
- 管渠の破損……………②
- 埋戻し時の異物……………⑤
- シールド・推進工事……………⑥
- 残置物の影響……………⑦
- 堅固な層下である……………⑧
- ②地下埋設物破損箇所等からの吸出し
- ③地下埋設物・構造物周辺での水みちによる影響
- ④転圧不足
- ⑤埋戻し材に混入した異物(ガラ・木片など)の影響
- ⑥シールドや推進工事による影響
- ⑦残置物(矢板、死管等)の影響
- ⑧コンクリート版やスラグ路盤下の不等沈下

空洞発生メカニズムごとの分析

①構造物背面土砂の吸出し	4
②地下埋設物破損箇所等からの吸出し	0
③地下埋設物・構造物周辺での水みちによる影響	1
④転圧不足	16
⑤埋戻し材に混入した異物(ガラ・木片など)の影響	0
⑥シールドや推進工事による影響	0
⑦残置物(矢板、死管等)の影響	0
⑧コンクリート版やスラグ路盤下の不等沈下	4
その他	6
全件	31



- ①構造物背面土砂の吸出し
空洞厚さ平均が0.35mと全平均0.20mと比較して大きい傾向
- ④転圧不足
空洞厚さ平均が0.11mと全平均0.20mと比較して小さい傾向
- ⑧コンクリート版やスラグ路盤下の不等沈下
④転圧不足と同様に沈下系の空洞であるため、空洞厚さは小さい傾向
- ※吸出し系より沈下系の空洞は成長性が低い傾向

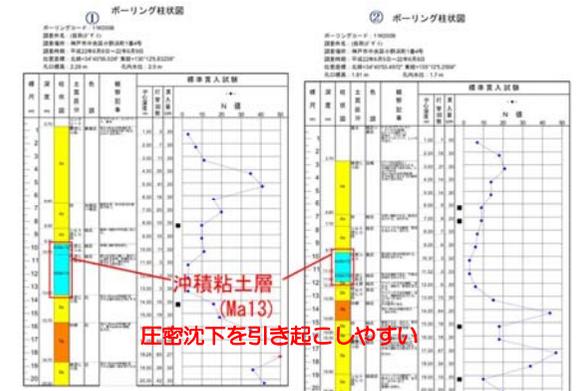
※2	深度(m)	空洞厚さ(m)	縦断長さ(m)	横断長さ(m)	体積(m³)
①	0.28	0.35	2.7	0.7	0.47
④	0.40	0.11	5.8	1.2	0.50
⑧	0.56	0.16	1.2	1.0	0.65
その他	0.49	0.37	1.4	1.2	0.62
全平均	0.43	0.20	4.8	1.1	0.59

空洞発生メカニズムの分類および事例分析

その他 埋立地周辺による影響

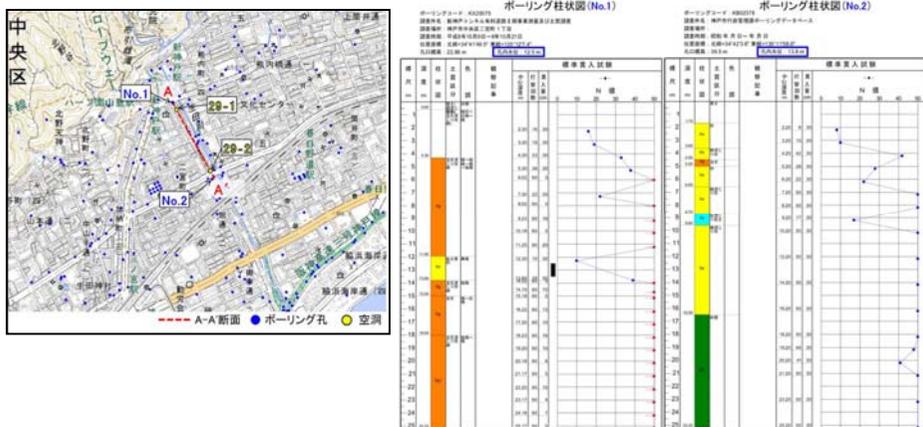


空洞は国道174号に集中的に分布



- 埋立地では上載荷重の増加により圧密沈下が起こりやすい
- 液状化もしやすい

空洞発生箇所における地下水位の状況



地表面からGL-10m以上の深いところに形成されている地下水位が浅層部の空洞に影響を与えたかどうかを判断することは難しい。

交通量および人口数による空洞発生箇所の傾向分析



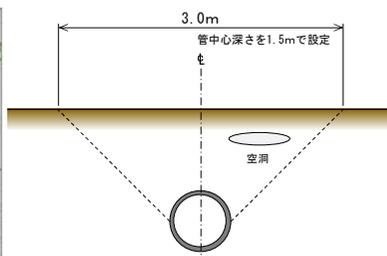
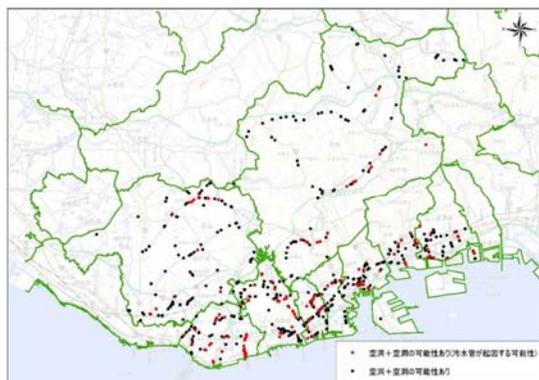
24時間の交通量
 10,000台以下の路線:4箇所
 20,000台以下の路線:12箇所
 30,000台以下の路線:6箇所
 40,000台以下の路線:2箇所
 40,000台以上の路線:1箇所

交通量が高くなるほど、空洞が多くなる明確な傾向は見られない。

山岳部などの人口密度が低い地域より、人口密度が高い市内部で、交通量が10,000台以上の路線に空洞が多い傾向である。

污水管による空洞発生箇所の傾向分析

神戸市公共下水道管路施設台帳システムのデータを用いて、空洞位置と下水道管路（污水管渠）をArcGIS上に重ね合わせることで傾向分析を実施



污水管渠法線を中心に幅1.5mの範囲（全幅3.0m）に存在する空洞位置を抽出

污水管による空洞発生箇所の傾向分析

污水管渠が起因する可能性のある空洞箇所抽出結果一覧表

空洞深度 (m)		0~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	計
空洞調査結果	空洞	47	37	0	84
	空洞の可能性あり	42	52	2	96
	計 (Σ a)	89	89	2	180
污水管渠抽出結果	空洞	9	5	0	14
	空洞の可能性あり	11	15	1	27
	計 (Σ b)	20	20	1	41
割合 Σ b / Σ a	空洞	0.19	0.14	-	0.17
	空洞の可能性あり	0.26	0.29	0.50	0.28
	計	0.22	0.22	0.50	0.23

空洞箇所：17%
 （14箇所/全84箇所）
 空洞可能性箇所：28%
 （27箇所/全96箇所）
 トータル：23%
 （41箇所/全180箇所）

概ね、空洞及び空洞の可能性のある箇所の1/4は下水道管路（污水管渠）が起因する可能性がある

污水管による空洞発生箇所の傾向分析

空洞の発生に起因する可能性がある下水道管路（污水管渠）に着目して分析を実施

污水管渠の管種別抽出スパン整理表

管種	スパン数	割合
鉄筋コンクリート管	35	0.90
硬質塩化ビニール管	4	0.10
計	39	

空洞及び空洞の可能性のある41箇所に対し、污水管渠は39スパン抽出された。

鉄筋コンクリート管：90%
(35スパン/全39スパン)
硬質塩化ビニール管：10%
(4スパン/全39スパン)

※Aは最も異常の度合いが大きい（大きな不具合）

これらの管渠異常は以下の理由から空洞発生に起因すると考えて分析した。

- ・地下水や雨水で細粒分が管渠に流れ込む可能性が高い

空洞発生に起因すると考えられる異常は、管内に管周辺の土砂を引き込む可能性のある異常と考える。

- 破損 A
- 継手部鉛直ズレ A・B
- 継手部目地開き A・B
- クラック（鉛直） A・B
- クラック（水平） A・B
- 木根侵入 A・B
- 浸入水 A・B
- 取付管異常：破損A, ズレA・B, 木根侵入A・B, 浸入水A・B

分析結果および考察

空洞の発生に起発生対応型から予防保全型にするためには、

- ①定期的に空洞探査を実施
- ②多種かつ複雑な空洞発生要因を考慮した上での危険箇所の把握が必要

神戸市の空洞データから判断できた特質

- ①浅層部では深度0.4~0.6mに空洞が集中
- ②砂・まさ土・砕石よりも砂混じり砕石・スラグのような細粒分と粗粒分が適切に混合される地盤材の方が空洞の厚みが小さい

污水管による空洞発生箇所の傾向分析

異常箇所数の管種別・異常種別集計表

管種	破損		鉛直ズレ		鉛直クラック		水平クラック		目地開き		浸入水		木根侵入		取付管異常		計
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B			
鉄筋コンクリート管	5	0	3	17	8	0	2	1	53	2	2	1	6	0	0	100	
硬質塩化ビニール管	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
計	5	0	3	17	8	0	2	1	53	2	2	1	6	0	0	100	
全異常に対する割合	0.05	0.00	0.03	0.17	0.08	0.00	0.02	0.01	0.53	0.02	0.02	0.01	0.06	0.00	0.00		

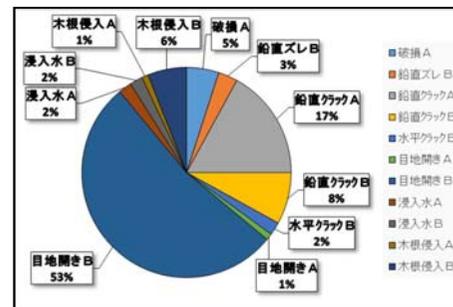
※取付管異常：破損, ズレ, 木根侵入, 浸入水

空洞発生に起因すると考えられる異常は、継手部目地開きが54%（54箇所/全100箇所）を占めている。

空洞及び空洞の可能性のある箇所は、概ね1/4で下水道管路（污水管渠）が起因している可能性がある。

下水道管路（污水管渠）の管種が鉄筋コンクリート管で、継手部目地開きの異常が関係していると考えられる。

※具体的な異常箇所との確認はデータが不足しているため未実施である



分析結果および考察

「吸出し系」・「沈下系」に分類

- ①「吸出し系」の平均空洞厚さは0.35mであり、最大厚さは0.62mと非常に大きい
- ②周辺が埋立地であるという地質的要因が影響していると考えられる
⇒各地域の地形特性（埋立地など）ごとに考慮していくべき
空洞発生箇所付近の地下水位状況
- ③地表面からGL-10m以上の深いところに形成されている地下水位が浅層部（空洞発生深度0.39m, 0.34m）の空洞に影響を与えたかどうかを判断することは困難
⇒地盤・水理特性および地下構造物などを考慮した広域地下水流動解析を行い、地下水による空洞への影響を把握する必要がある

分析結果および考察

交通量および人口数による空洞発生箇所の傾向

①交通量が高い一部の路線では、空洞が集中している傾向もあるが、交通量が高くなるほど、空洞が多くなる明確な傾向は見られない

②山岳部などの人口密度が低い地域より、人口密度が高い市内部の交通量が10,000台以上の地域に空洞が多い傾向である

⇒神戸市全地域を対象とした路線別交通量のデータと人口数データをArcGISに加えて精査して行く必要がある

空洞と下水道管路との傾向

①空洞・空洞の可能性のある箇所は、概ね1/4が継手部目地開きの異状がある鉄筋コンクリート管が起因している可能性あり

⇒具体的な異状箇所位置データをArcGISに加えて精査して行く必要がある