

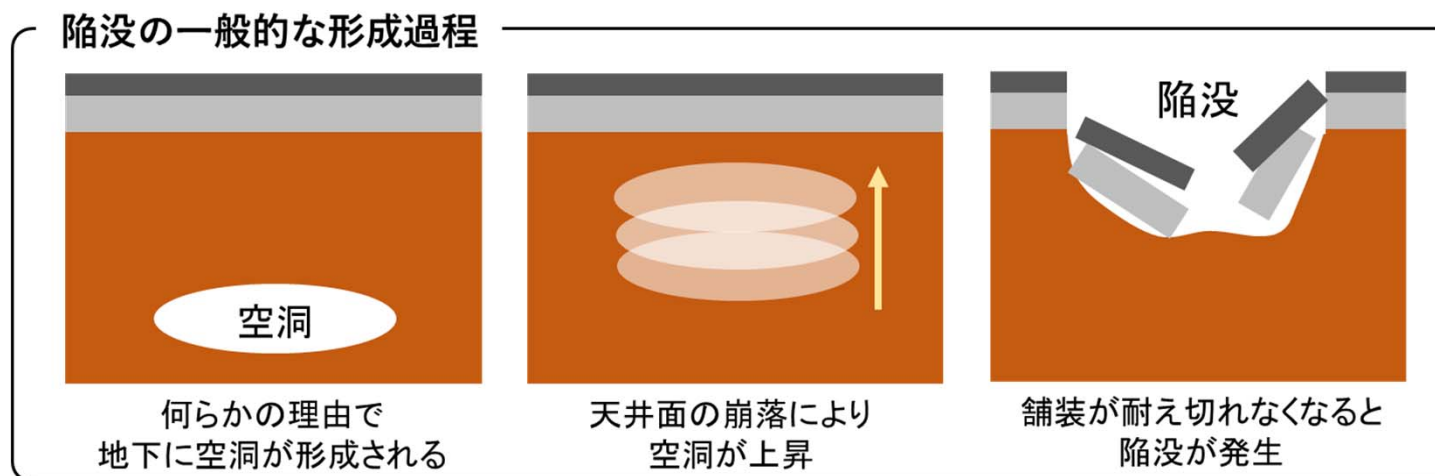
第2回 路面下空洞対策連絡会シンポジウム

実物大試験道路の紹介

2020年12月3日

埼玉大学 桑野二郎

道路陥没予防ソリューションの開発



現状の技術的課題：

- ① 地中の状態の把握が困難
- ② 空洞の成長速度や陥没危険が不明
- 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**

実用可能な道路陥没予防方法

空洞を作らない・拡大させない

実物大試験道路

- 長さ30m×幅6m、盛土形式
- 試験内容ごとに異なる舗装構成
- $\Phi 80\text{cm}$ または $80\times 40\text{cm}$ の人工空洞を設置
- 気象、路面温度、路面変状をモニタリング
- 2019年9月から現在までに、第一期・第二期・第三期の3試験体を一部改築により作製

着工前（起案時）：2018年4月

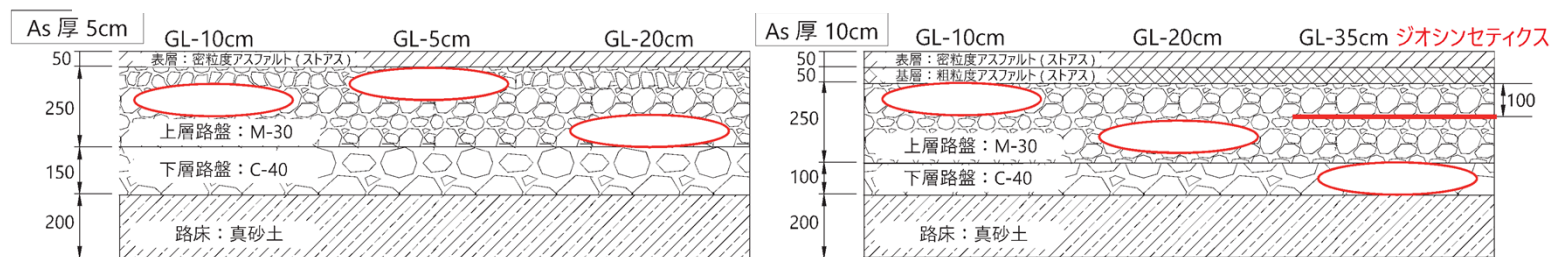


第三期：2020年11月

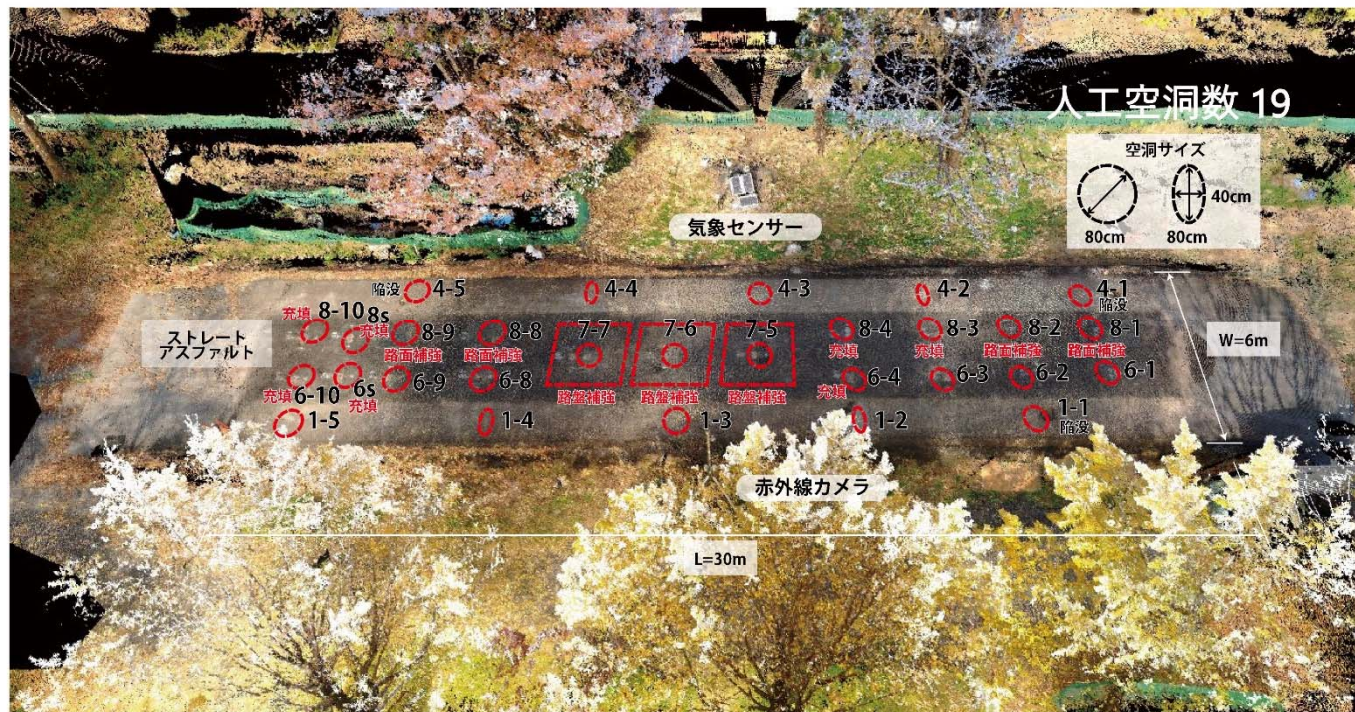


第三期(本日見学)の試験道路

試験内容にあった深さに人工空洞を設置



実物大試験道路 第三期 (2020/10-2020/12)



第三期(本日見学)の試験道路



試験道路を下から覗くとこのようになります



実物大試験道路構築の目的

①陥没危険度チャートの開発/更新[舗装]

FWD・平板載荷試験・路体3D計測・空洞規模

②陥没対策：空洞補修用充填材の開発

③陥没対策：舗装補強による陥没抑制方法の基礎検討

• 試験体内容

	期間	狙い	人工空洞数
第一期	2019/10 ～ 2020/2	①陥没危険度チャートの開発 ・空洞規模・深さと舗装構成 ・舗装構成：表層As種の効果	20
第二期	2020/2 2020/6 ～ 2020/10	①陥没危険度チャートの開発 ・舗装の挙動： 夏季 、 生活道路 ②③陥没対策： 路盤 補強, 路面 補強,空洞 充填	12
第三期	2020/10 ～ 2020/12	①陥没危険度チャートの開発 ・舗装構成：生活道路(As表層5cmのみ) ②③陥没対策：上記と同じ	19

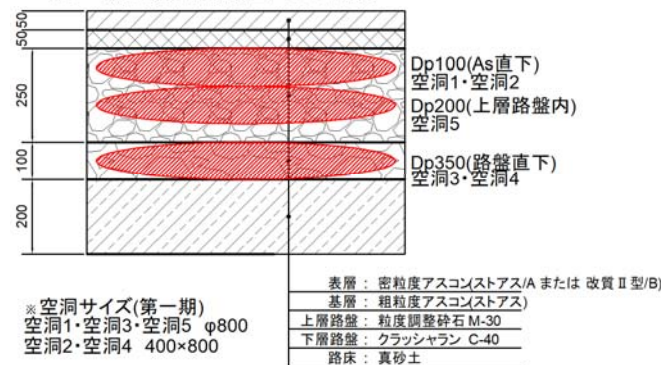
第一期・第二期試験道路の概要

実物大試験道路 第一期 (2019/10-2020/2)

- 空洞規模・深さと舗装構成
- 舗装構成：表層As種の効果

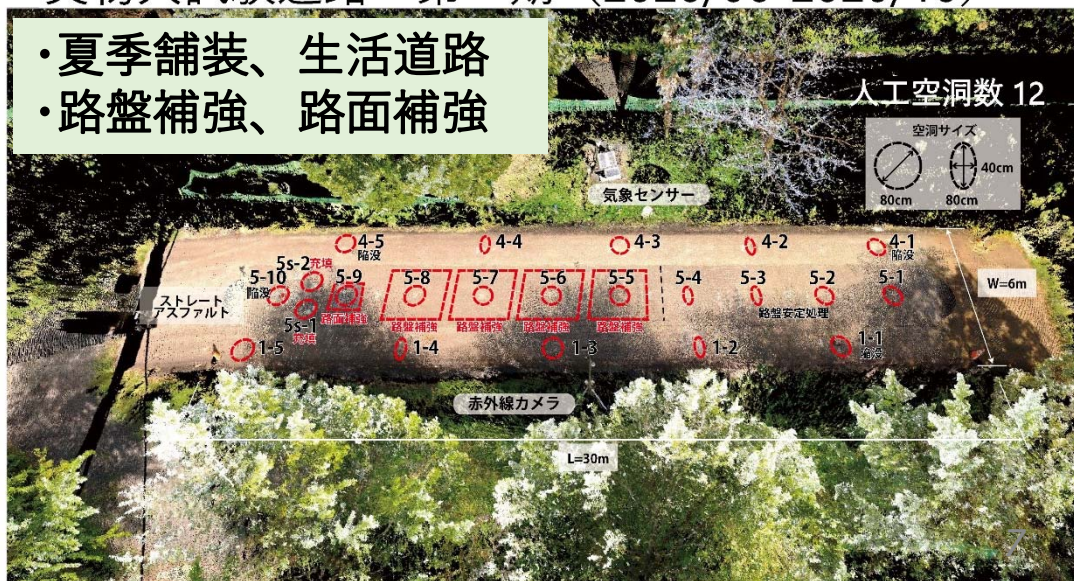


第一期試験舗装断面 A・B断面

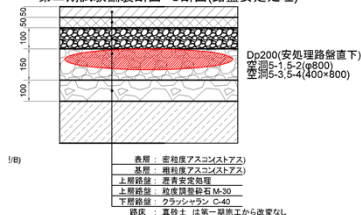


実物大試験道路 第二期 (2020/06-2020/10)

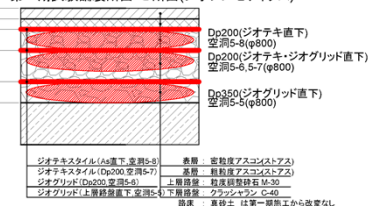
- 夏季舗装、生活道路
- 路盤補強、路面補強



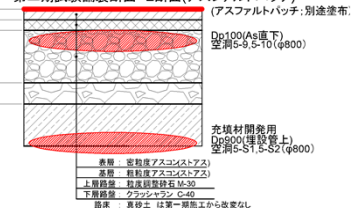
第二期試験舗装断面 C断面(路盤安定処理)



第二期試験舗装断面 D断面(ジオンセテックス)



第二期試験舗装断面 E断面(アスファルトパッチ)



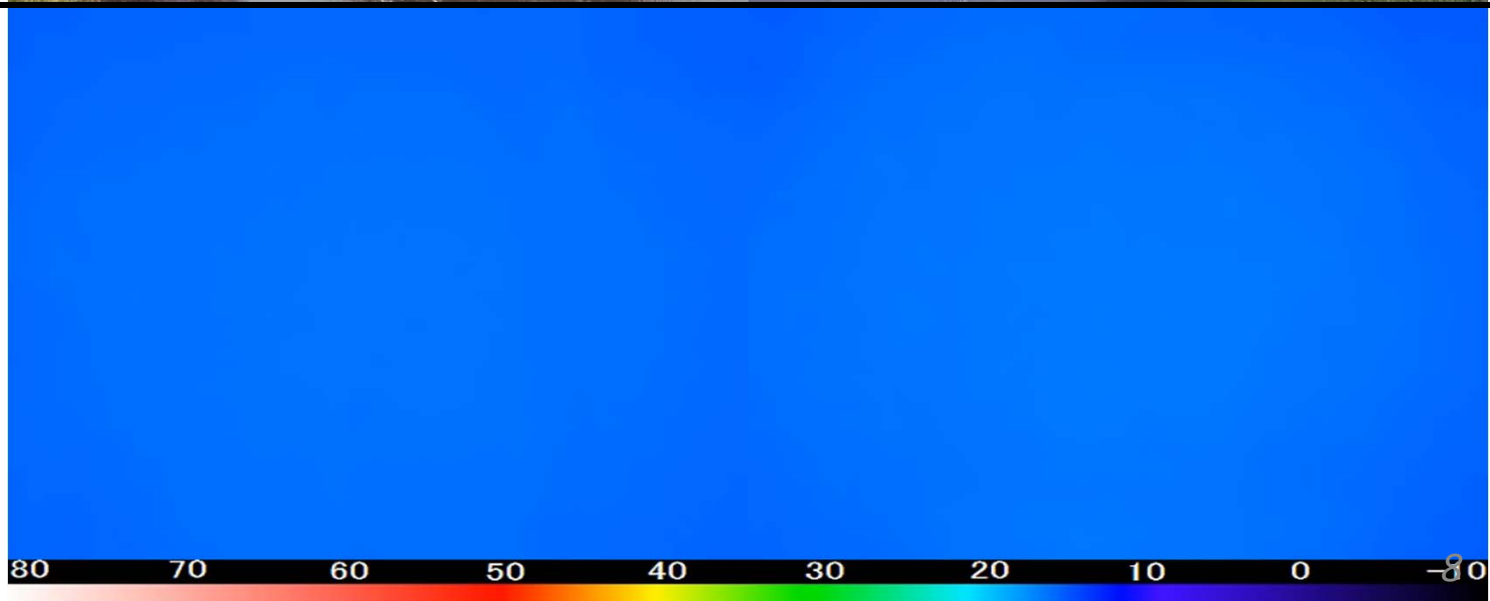
第三期試験体の構築(パラパラ動画)



上段
カメラ画像



下段
路面温度
(赤外線カメラ)



実物大試験道路建設の流れ



試験体の構築(品質管理・人工空洞作成)

品質：アスファルト混合物の温度管理・密度試験・出来形など
路床と下層路盤および上層路盤の現場密度試験



(路床：真砂土)



(下層路盤：C-40)



(上層路盤：M-30)

人工空洞の作成：埋設した袋から詰めた細礫を吸引

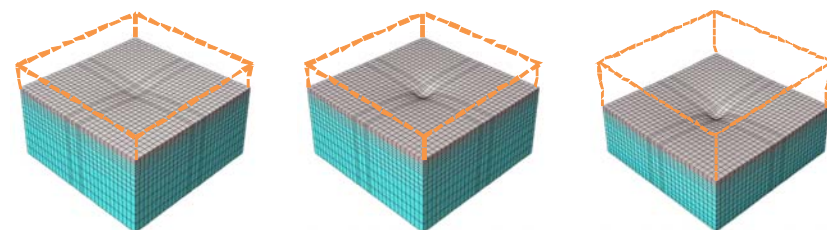
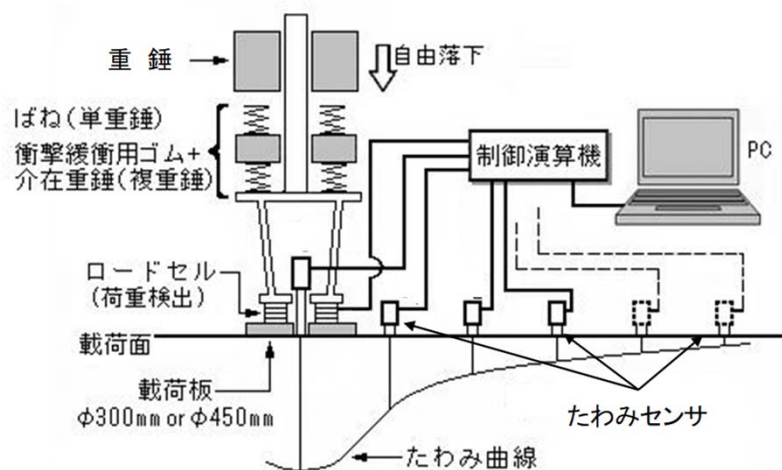


試験方法：FWD

- Falling Weight Deflectometer



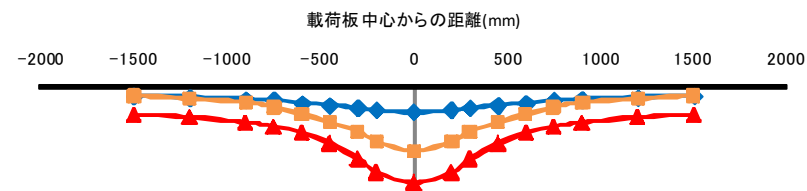
「重錘を載荷板に落下させることにより舗装表面に衝撃荷重を作用させ、そのとき生じる舗装表面のたわみを測定する機械」の一般名称である。⇒舗装の支持力を測定し評価する



(a) 表層と路床が硬い場合

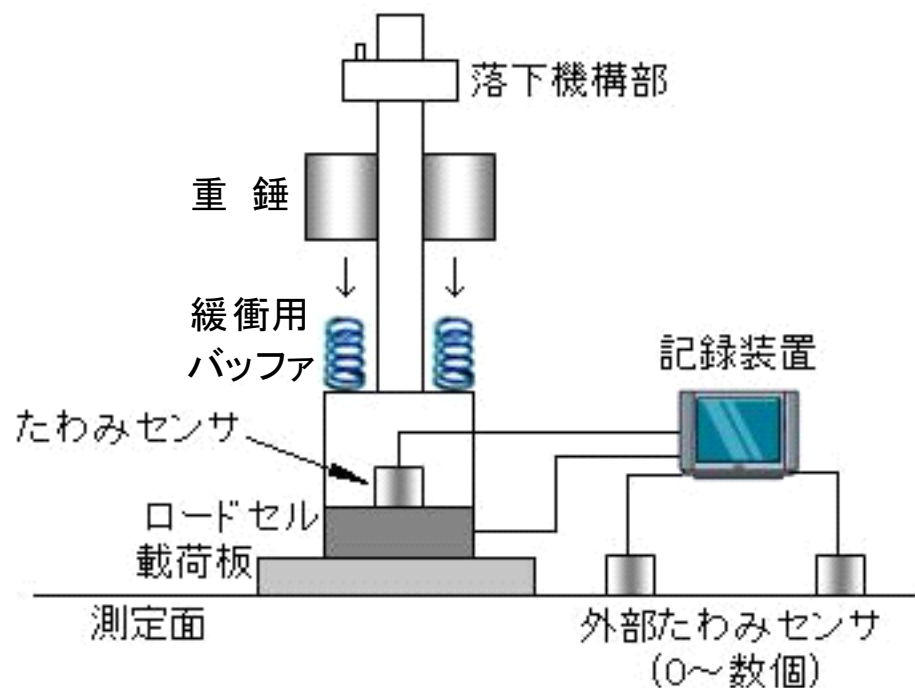
(b) 表層が柔らかく路床が硬い場合

(c) 表層と路床が柔らかい場合



試験方法：小型FWD

重錘を自由落下させ、このとき路面に作用する
衝撃荷重と路面のたわみ量を記録するもの



試験方法：平板載荷試験 [強制陥没]



Φ30cmの平板載荷試験装置で押し抜きせん断試験を実施



試験前後の空洞の変化計測

人工空洞作成後 - 試験前 - 試験後に実施

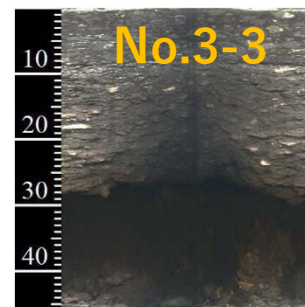
人工空洞 No.3-3の例



・ 地中レーダ
空洞位置,広がり,概略深度



・ スコープ
空洞深さ,厚さ

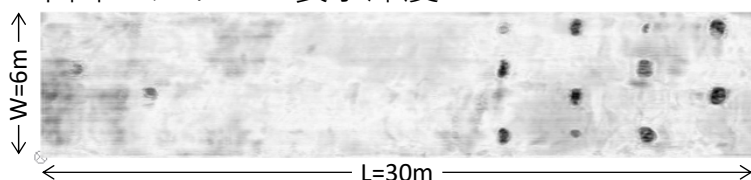


・ 内部カメラ
空洞内部状況



多配列レーダーシステム

平面スライス 表示深度: GL-0.1m~0.2m

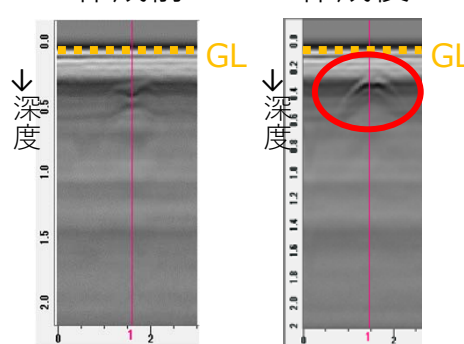


平面スライス 表示深度: GL-0.3m~0.4m



人工空洞No.3-3

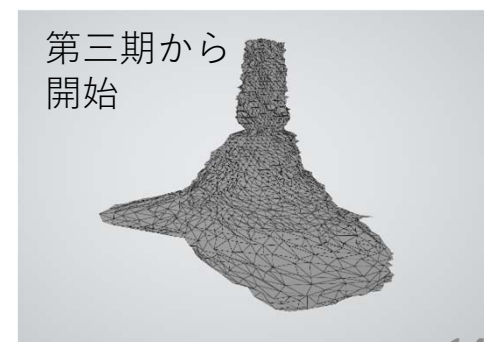
人工空洞No.3-3
作成前 作成後



→走査距離

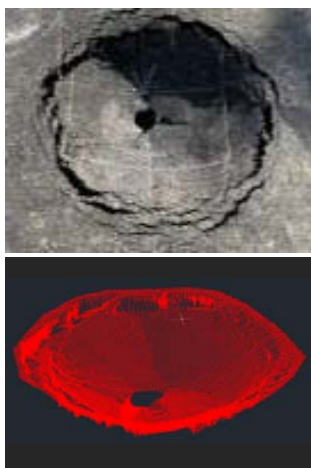
→走査距離

・ 空洞内点群観測
内空3次元形状

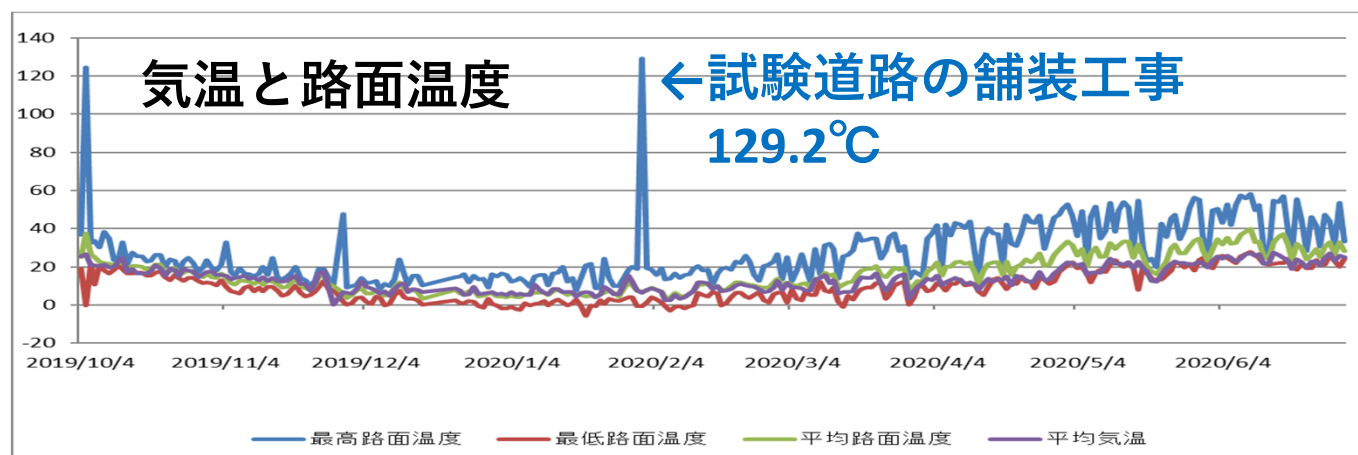


モニタリング計測

路面変状



気象観測（気温・降水等）

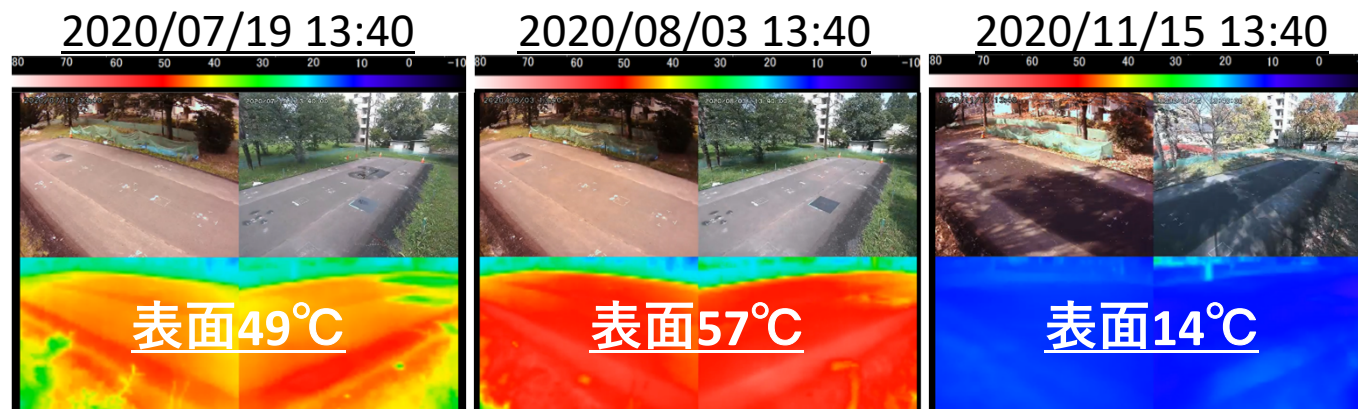


路面観察と路面温度

路面温度の記録
(2019/10/2-2020/12/1)

最高 62.0°C

最低 -5.9°C



陥没現象の観測

陥没現象の観測 [全箇所:無対策]

第一期と第二期の空洞32のうち8箇所が陥没

: As直下空洞9のうち5箇所・上層路盤内空洞4のうち2箇所が陥没

	人工空洞 No	施工期	空洞諸元		陥没日	空洞 寿命	トリガー
			広がり	深さ			
1	1-1	第一期	φ 50cm	Dp100/As直下	5/21	228日	(過去FWD?)
2	2-1		φ 60cm		10/9	3日	平板載荷試験
3	3-1		φ 55cm		10/8	2日	(自然陥没)
4	4-1		φ 60cm		3/2	147日	(過去FWD?)
5	4-2		30×60cm		10/9	3日	FWD
6	3-5		φ 60cm	Dp200/路盤内	10/14	7日	平板載荷試験
7	4-5		φ 50cm		9/3	332日	夏季FWD
8	5-10	第二期	φ 55cm	Dp100/As直下	9/4	73日	夏季FWD

3-1空洞の陥没孔から



陥没現象の観測① 無載荷で陥没

人工空洞3-1 [第1期]

空洞サイズ約 ϕ 55cm 空洞深10cm(As直下)

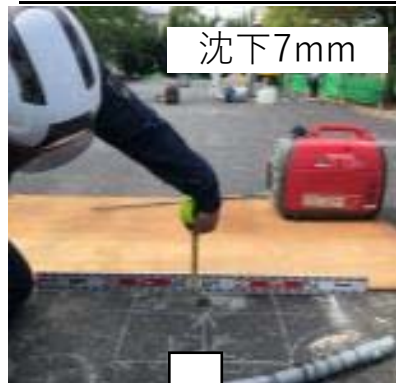
陥没日 2019/10/08(空洞2日目)

路面温度 約40°C

気温 20°C

晴 一時雨

空洞作成から1時間後

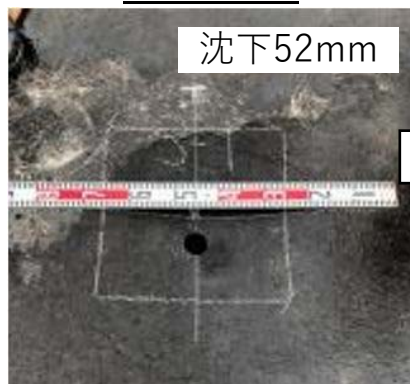


沈下7mm

推察される陥没過程

- ・アスコンの自重に耐えきれず曲げ破壊が基層に発生
- ・路面の沈下変形が大きくなり曲げ剛性の違いから剥離が発生
- ・その剥離によって急速に陥没へと進展

23時間後



沈下52mm

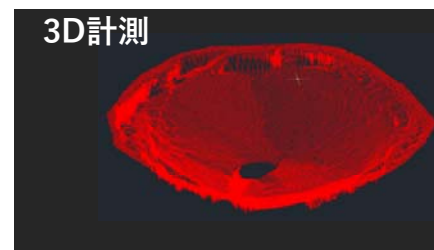
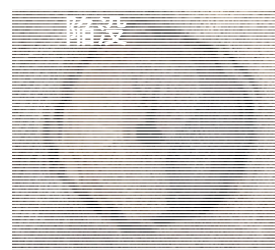
27時間後



沈下122mm

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



陥没現象の観測② 載荷試験で陥没

人工空洞2-1 [第1期]

空洞サイズ約φ60cm 空洞深10cm(As直下)

人工空洞4-2 [第1期]

空洞サイズ約30×60cm 空洞深10cm(As直下)

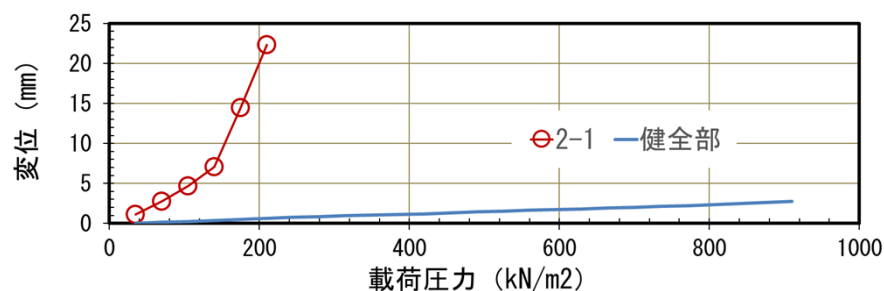
陥没日 2019/10/9 (空洞3日目)

路面温度 約25°C

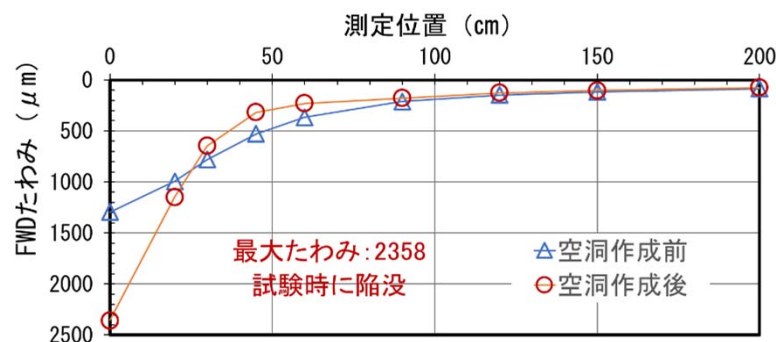
気温 25°C

晴

空洞2-1 平板載荷試験で陥没



空洞4-2 FWD中に陥没



陥没現象の観測③ 載荷試験後に陥没

人工空洞3-5 [第1期]	空洞サイズ約φ60cm 空洞深20cm(路盤内)		
陥没日 2019/10/14 (空洞7日目)	路面温度 約20°C	気温 14~25°C	雨

載荷試験の5日後に陥没

FWD 平板載荷試験

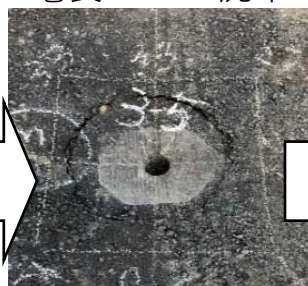
読み値17kNで頭打ち

2 mm 沈下



試験後

亀裂・7mm沈下



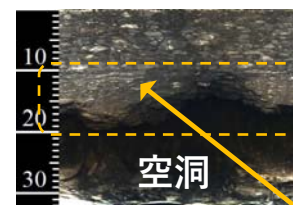
5日後

陥没(深さ5cm)

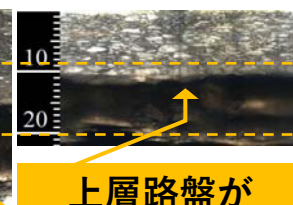


舗装構成写真 (スコープ)

試験前

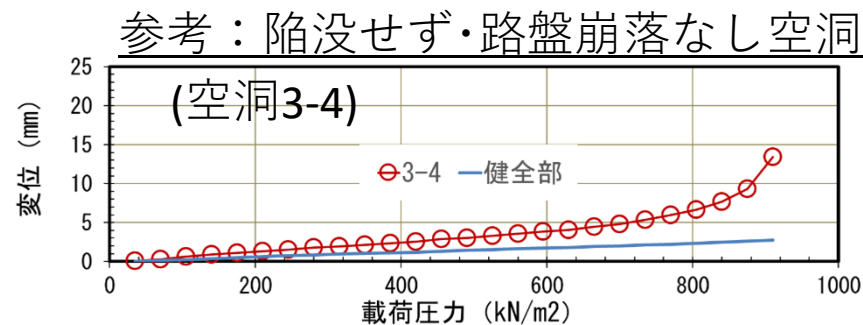
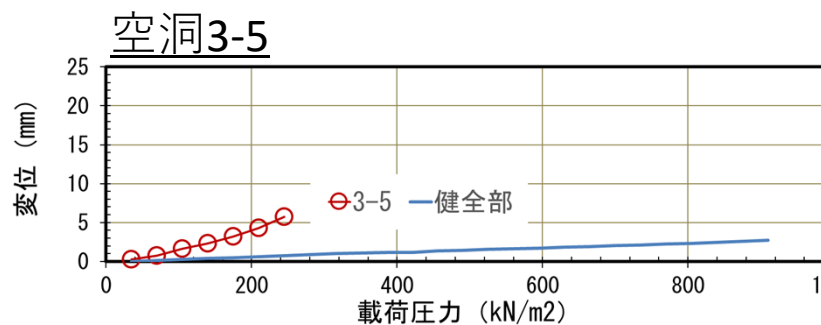


試験後


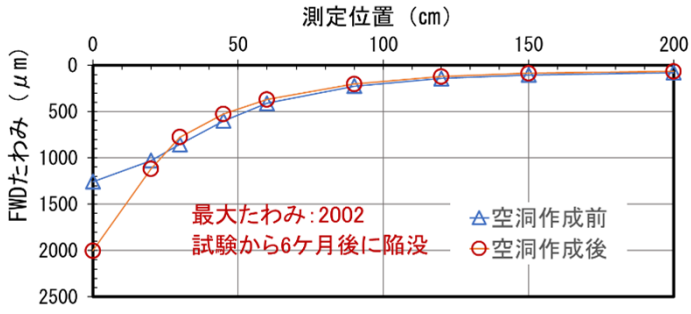
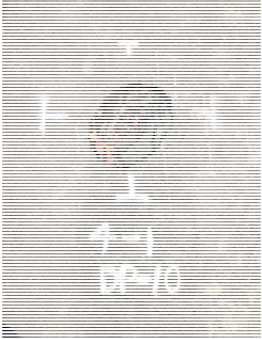
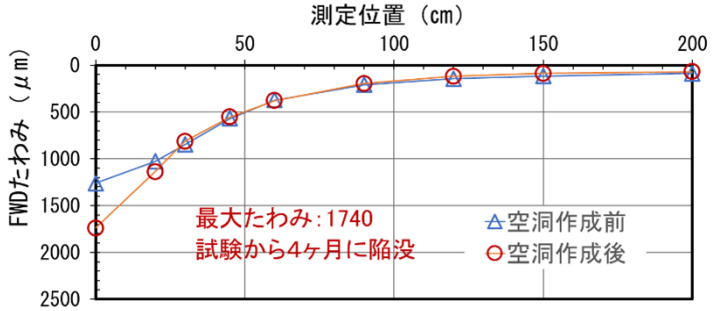


上層路盤が崩落


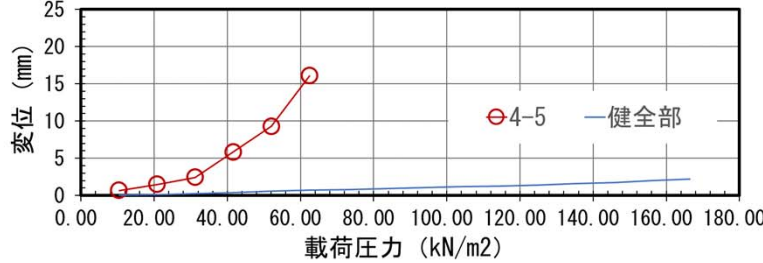
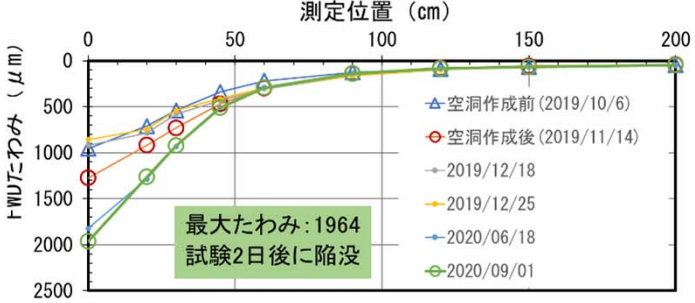

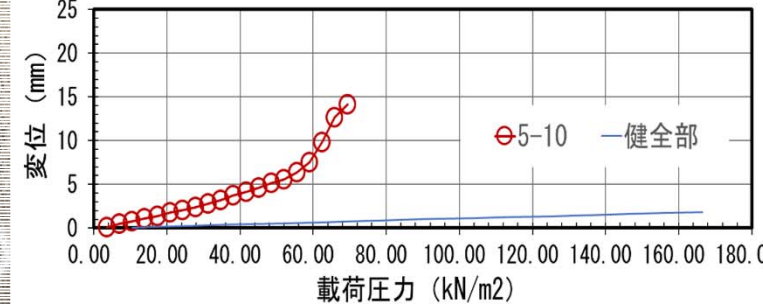
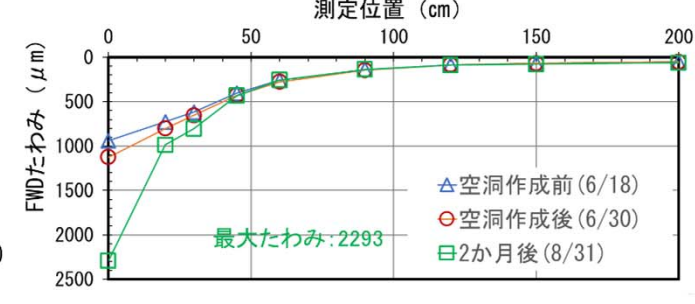
平板載荷試験の荷重-変位関係



陥没現象の観測④⑤ 载荷試験後数ヶ月で陥没

<h2>人工空洞1-1 [第1期]</h2>	空洞サイズ約φ50cm 空洞深10cm(As直下)		
陥没日 2020/05/21 (226日目)	路面温度 約19℃	気温 10~16℃	雨のあと陥没
昨年度見学会FWDデモ(11/14)から約6ヶ月後 (改質II型)			
	 <p>測定位置 (cm)</p> <p>FWDたわみ (μm)</p> <p>最大たわみ: 2002 試験から6ヶ月後に陥没</p> <p>△ 空洞作成前 ○ 空洞作成後</p>		
<h2>人工空洞4-1 [第1期]</h2>	空洞サイズ約φ60cm 空洞深10cm(As直下)		
陥没日 2020/03/02 (146日目)	路面温度 約10℃	気温 5~19℃	雨のあと陥没
昨年度見学会FWDデモ(11/14)から約4ヶ月後 (ストアス)			
	 <p>測定位置 (cm)</p> <p>FWDたわみ (μm)</p> <p>最大たわみ: 1740 試験から4ヶ月に陥没</p> <p>△ 空洞作成前 ○ 空洞作成後</p>		

陥没現象の観測 夏季に陥没

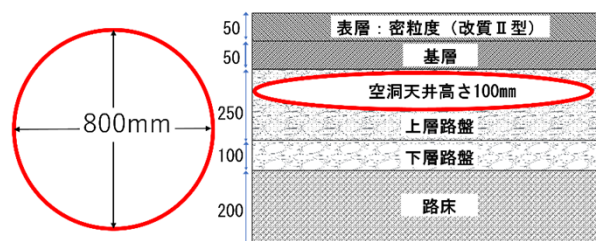
人工空洞4-5 [第1期]	空洞サイズ約φ55cm 空洞深20cm(路盤内)		
陥没日 2020/09/03 (331日目)	路面温度 約49°C	気温 26~34°C	晴
空洞作成(2019/10/9)以降、FWD 5回目から2日後		夏季からたわみ量が増大	
			
人工空洞5-10 [第2期]	空洞サイズ約φ55cm 空洞深10cm(As直下)		
陥没日 2020/09/04 (72日目)	路面温度 約53°C	気温 26~38°C	晴
空洞作成(2020/06/23)以降、FWD2回・平板载荷試験から3日後			
			

陥没危険度評価 -空洞上舗装への載荷実験

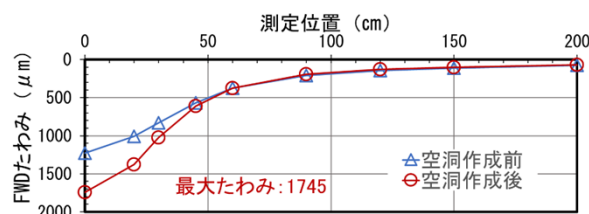
空洞広がり一変状の違い（浅）

比較：FWDたわみ量と平板载荷試験による挙動
双方とも広がりが大＝変状も大

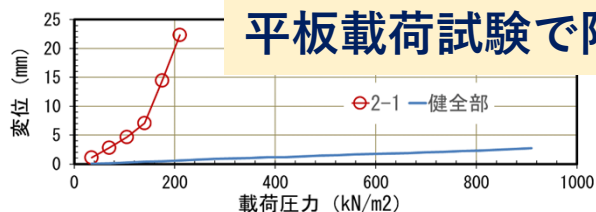
• 空洞2-1 平板载荷試験で陥没



模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面

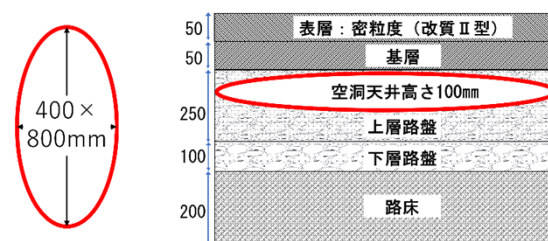


FWDたわみ

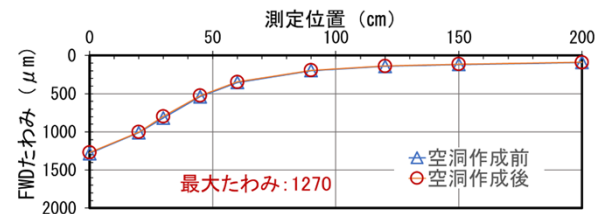


平板载荷試験の荷重-変位関係

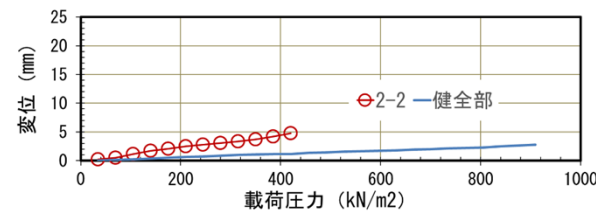
• 空洞2-2



模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面



FWDたわみ

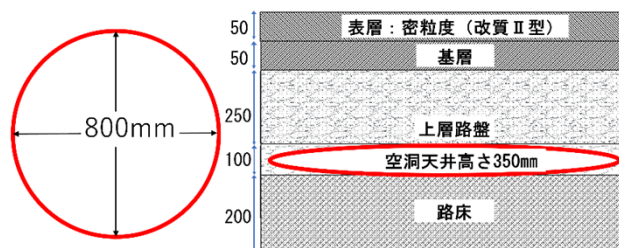


平板载荷試験の荷重-変位関係

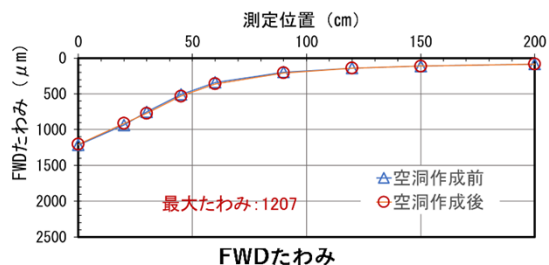
空洞広がり一変状の違い（深）

比較：FWDたわみ量と平板载荷試験による挙動
双方とも大きな相違はみられない

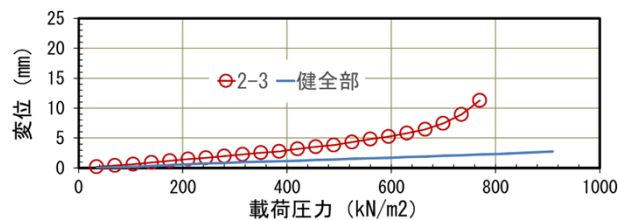
• 空洞2-3



模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面

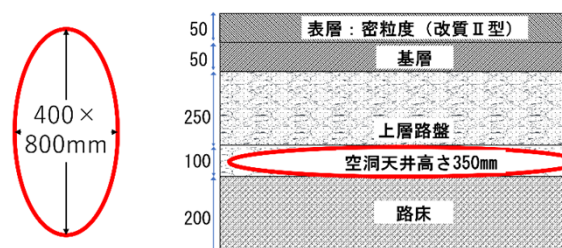


FWDたわみ

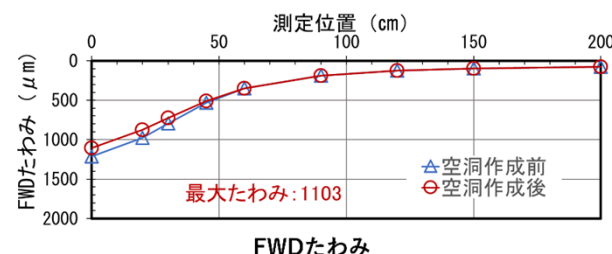


平板载荷試験の荷重-変位関係

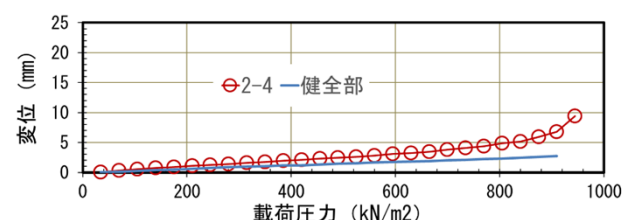
• 空洞2-4



模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面



FWDたわみ



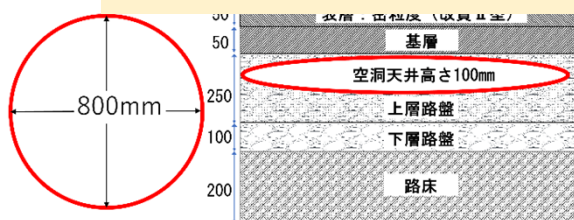
平板载荷試験の荷重-変位関係

空洞深さ一変状の違い

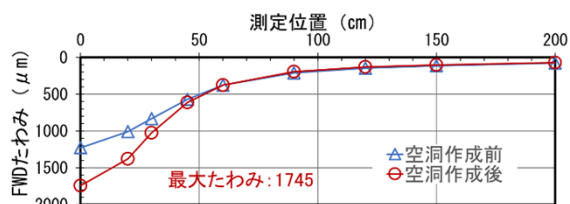
比較：FWDたわみ量と平板载荷試験による挙動
双方とも浅さに比例して変状も大きい

• 空洞2-1(As直下)

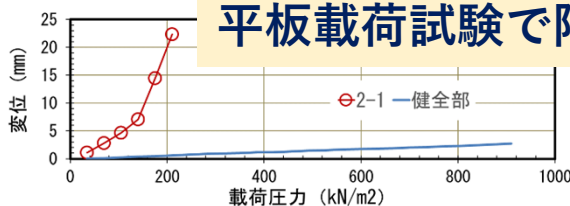
平板载荷試験で陥没



模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面

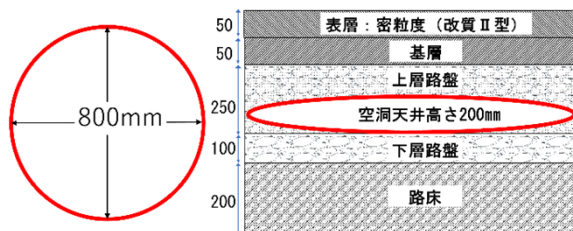


FWDたわみ

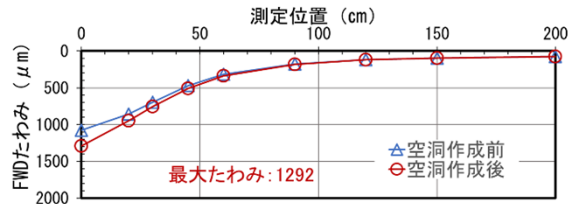


平板载荷試験の荷重-変位関係

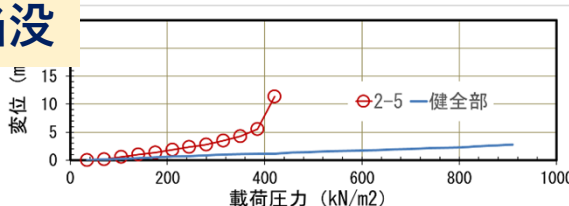
• 空洞2-5 (路盤内)



模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面

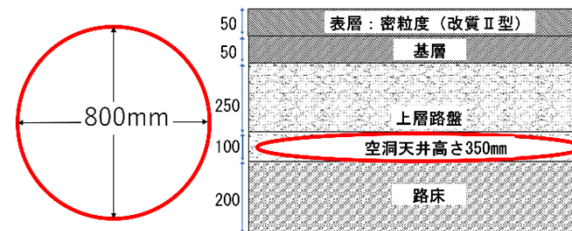


FWDたわみ

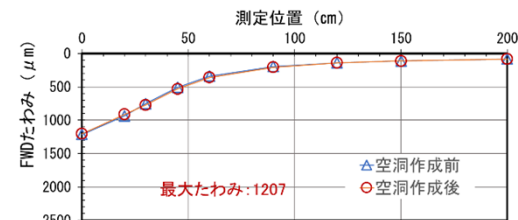


平板载荷試験の荷重-変位関係

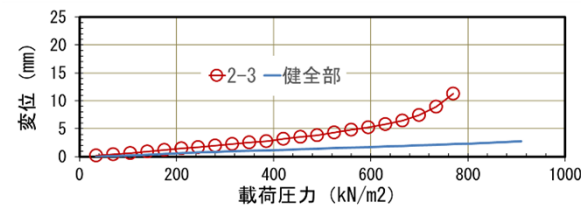
• 空洞2-3 (路盤下)



模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面



FWDたわみ

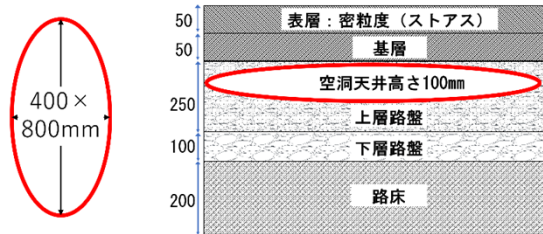


平板载荷試験の荷重-変位関係

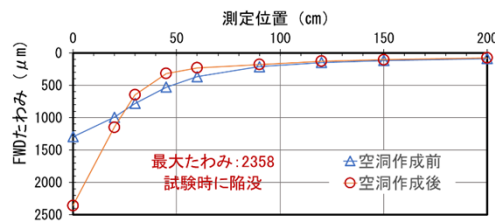
表層As種類一変状の違い（浅）

比較：FWDたわみ量と平板載荷試験による挙動
 FWDたわみ量は陥没したケースもあるが他ケースは大きな違いはみられない。平板載荷試験は改質II型の変位が小さい。

● 空洞4-2(ストアス)



模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面

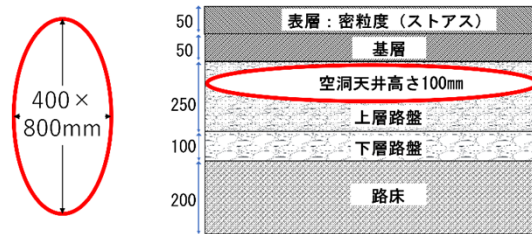


FWDたわみ

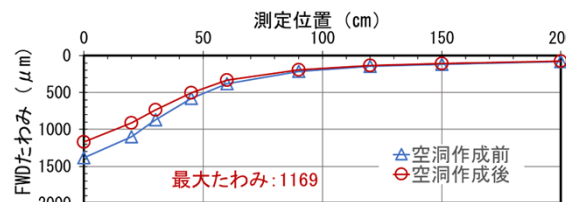
FWD実施時に陥没



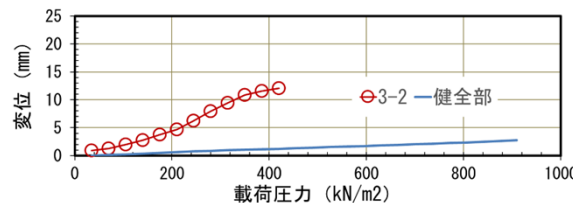
● 空洞3-2(ストアス)



模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面

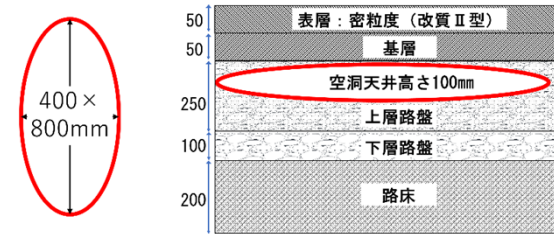


FWDたわみ

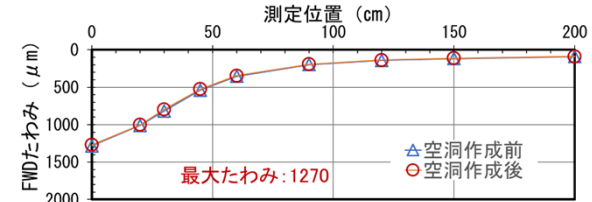


平板載荷試験の荷重-変位関係

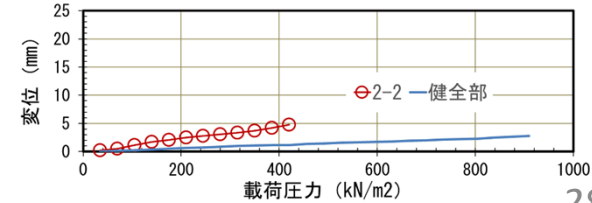
● 空洞2-2(改質II型)



模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面



FWDたわみ

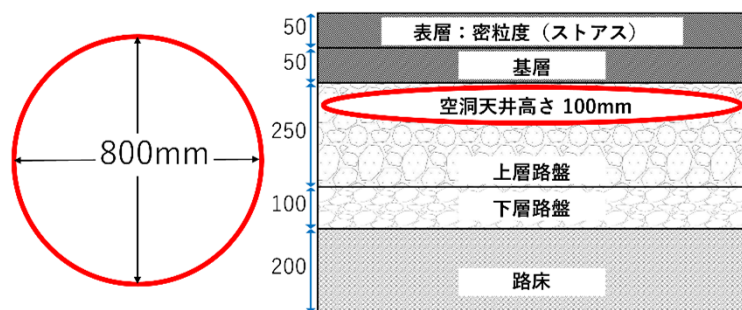


平板載荷試験の荷重-変位関係

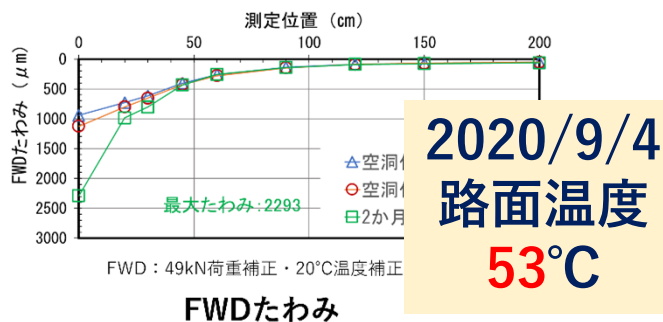
夏季(日射・路面温度)の影響

比較：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

空洞5-10 FWD後 3日 で陥没

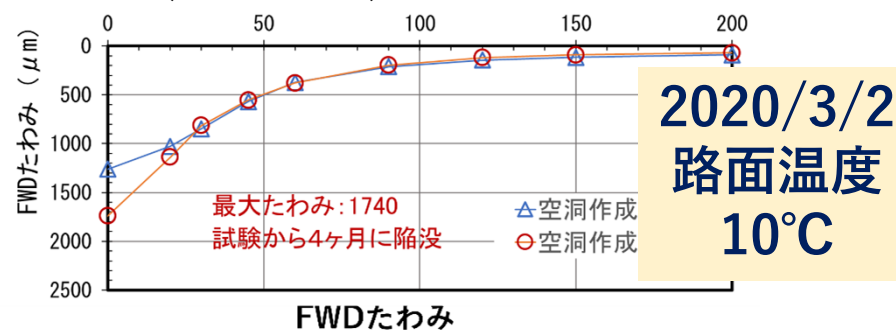


人工空洞の形状・深さと舗装構成断面

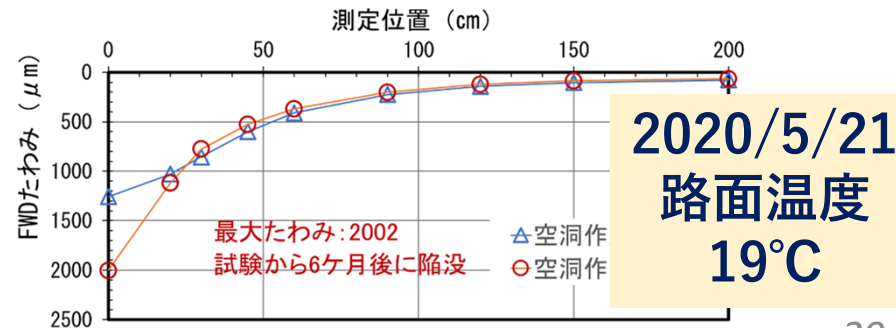


同じ諸元の空洞

空洞4-1 (ストアス) FWD後 4ヶ月 で陥没



空洞1-1 (改質II型) FWD後 6ヶ月 で陥没



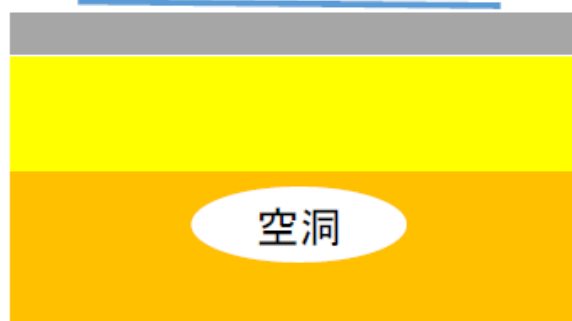
实用可能な道路陥没予防方法 にむけて

陥没予防策：路面補強

開削補修、注入工法に加わる第3の選択肢について 研究中



強化膜(応急対応)



テーピング・絆創膏
のような
簡易で安価な処置



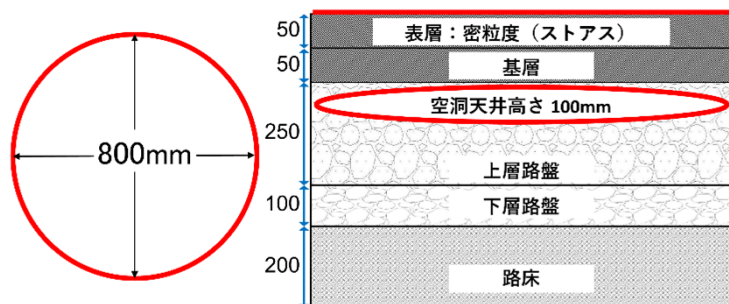
【陥没対策の合理化】

- ①補修工事までの安全確保
- ②他工事と併せての補修
- ③モニタリング調査で拡大性が確認された後に補修

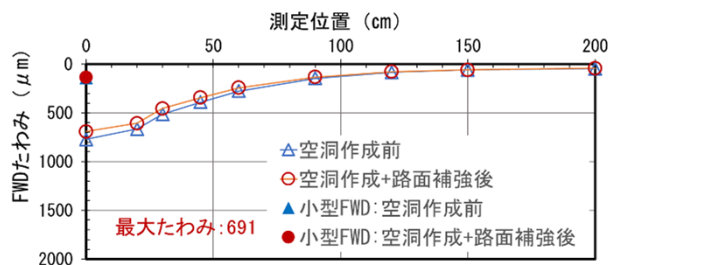
陥没予防効果：路面補強

これから平板載荷試験を実施し、効果の確認など検討を進めていきます

• 空洞8-9(路面補強)



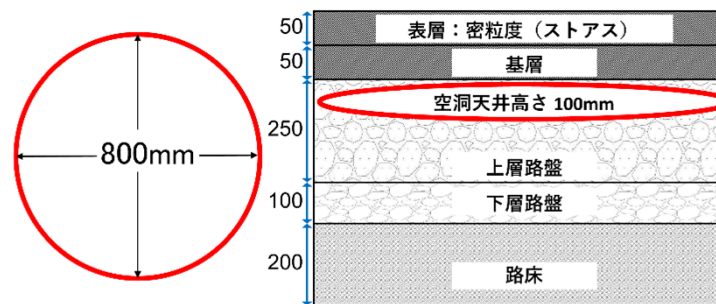
人工空洞の形状・深さと舗装構成断面



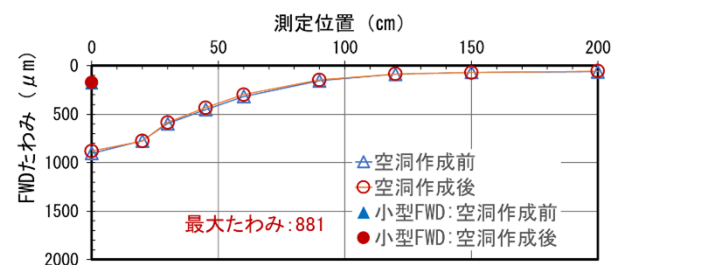
FWD：49kN荷重補正・20℃温度補正、小型FWD：9.8kN荷重補正

FWDたわみ

• 空洞6-9(無対策)



人工空洞の形状・深さと舗装構成断面



FWD：49kN荷重補正・20℃温度補正、小型FWD：9.8kN荷重補正

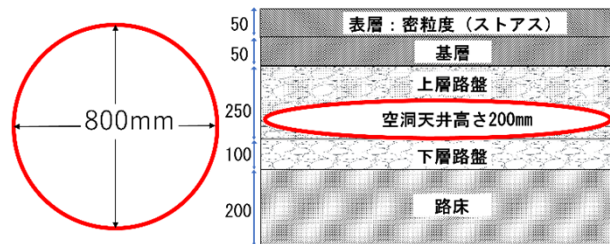
FWDたわみ

路盤補強 ①安定処理路盤

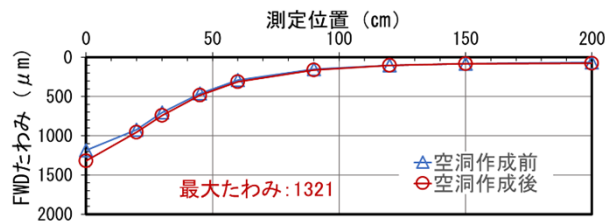
比較：FWDたわみ量と平板载荷試験による挙動

安定処理路盤の効果：夏季もFWDたわみ小、平板試験後無陥没

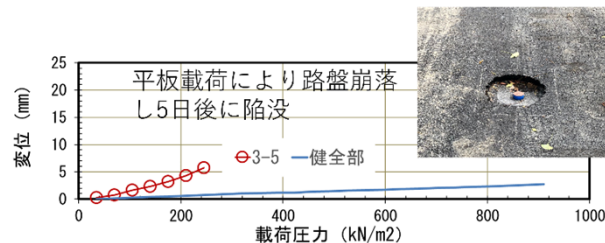
• 空洞3-5(無対策)



模擬空洞の形状・深さと舗装構成断面

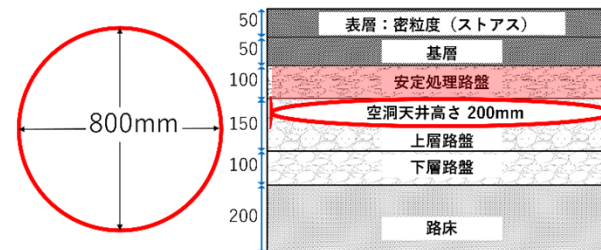


FWDたわみ



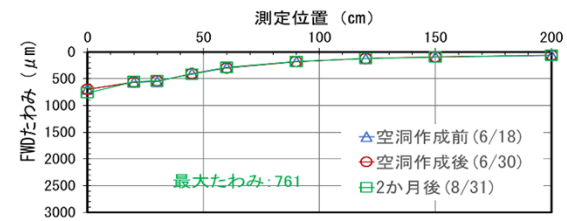
平板载荷試験の荷重-変位関係

• 空洞5-1(安定処理路盤)



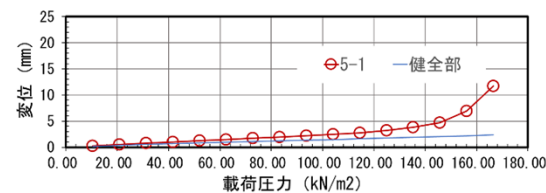
路盤補強

人工空洞の形状・深さと舗装構成断面



FWD: 49kN荷重補正・20°C温度補正、小型FWD: 9.8kN荷重補正

FWDたわみ

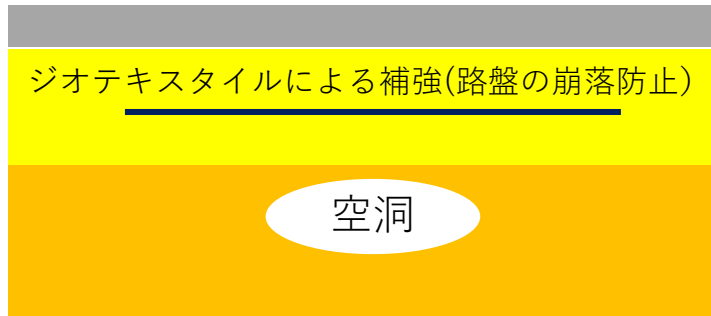


平板载荷試験の荷重-変位関係

路盤補強 ② ジオセンシティブクス

路盤内または路盤上に補強材を敷設

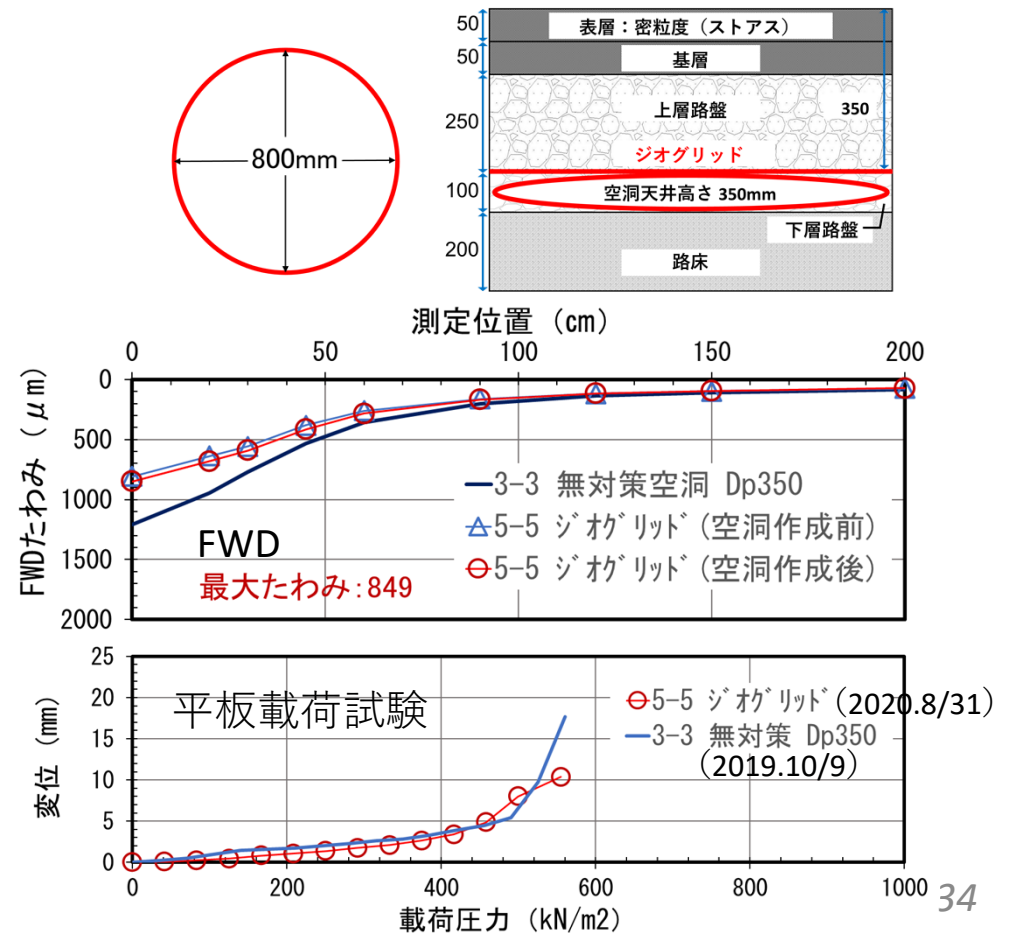
空洞上に地盤（路盤）が残ればアーチ効果が期待できると陥没は起こりにくい。補強材を用いて路盤の崩落を防止する。



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

路盤補強の有無による効果の例

路盤補強有の場合、平板载荷試験で比較的大きい変位が出ててもその後陥没しない。



陥没防止（空洞補修）：空洞充填

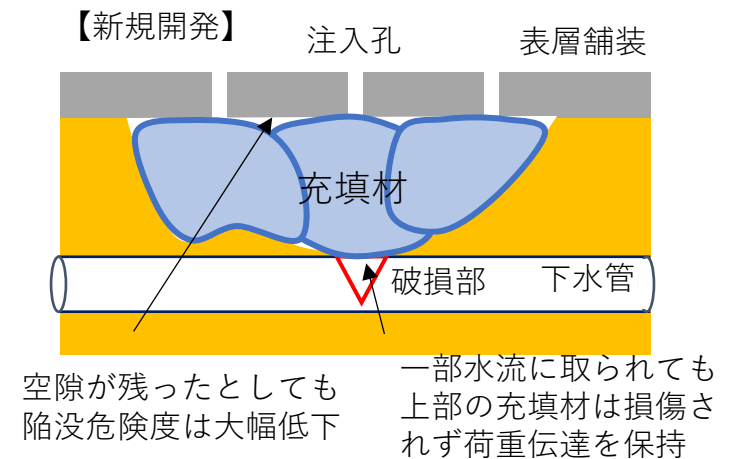
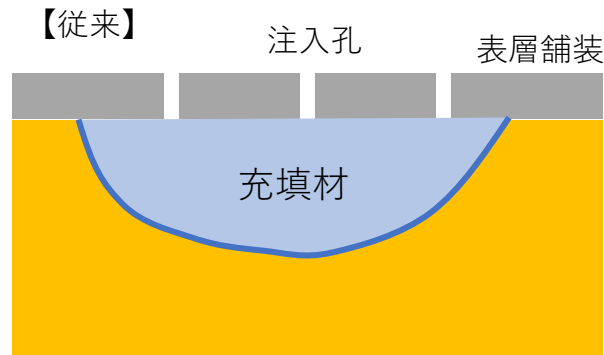
- 既存の充填材の課題を整理し、要求性能や開発目標を設定
- 充填材の土中への浸透の確認実験
- モニタリング路線内の空洞充填の試行

↓ 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



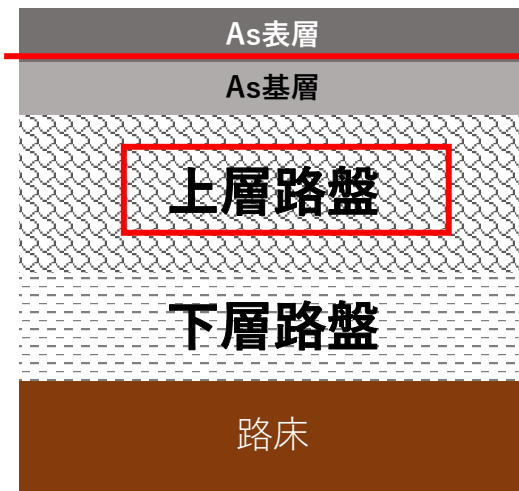
再掘削の効率、および路面の十分な支持力を考慮した
強度設定に関する検討
可塑性充填材の充填方法の検討



住友大阪セメント 空洞充填
2倍速



まとめ：実用可能な道路陥没予防方法



陥没前に確認された舗装の破壊現象

- ・ 上層路盤の崩落
- ・ As表層と基層の剥離
- ・ たわみ量が2mmを超えると空洞を含めた舗装内部に何らかの変状が発生
- ・ 路盤層が10cm以上残った空洞上舗装は、基層As直下の空洞の4倍程度の支持力



陥没予防の着眼点(舗装の支持性能)

- ①路盤：健全性評価と機能確保および補強
- ②路面の補強（応急的も可）

まとめ：実用可能な道路陥没予防方法

実物大試験道路での活動

