



株式会社 CORE 技術研究所

# 持続可能な未来を築くコンクリート構 造物の非破壊検査・点検技術

真鍋 英規

# 本日の講演内容

---

1. PC構造物の調査
2. トモグラフィ計測調査
3. 橋梁のたわみ計測
4. 橋梁点検に関する支援技術
5. PC上部工解体時のモニタリング システム



# PC構造物の調査

# 1.1 PC構造物に特有な劣化

PC構造はRC構造とは異なる特性を有するため、PC構造に特有な劣化が生じることがある。

特徴1: プレストレスの導入

特徴2: PCグラウトの必要性(ポストテンション方式)

特徴3: 架設工法により特徴的な接合部・施工目地部の存在

PC構造に特有な劣化

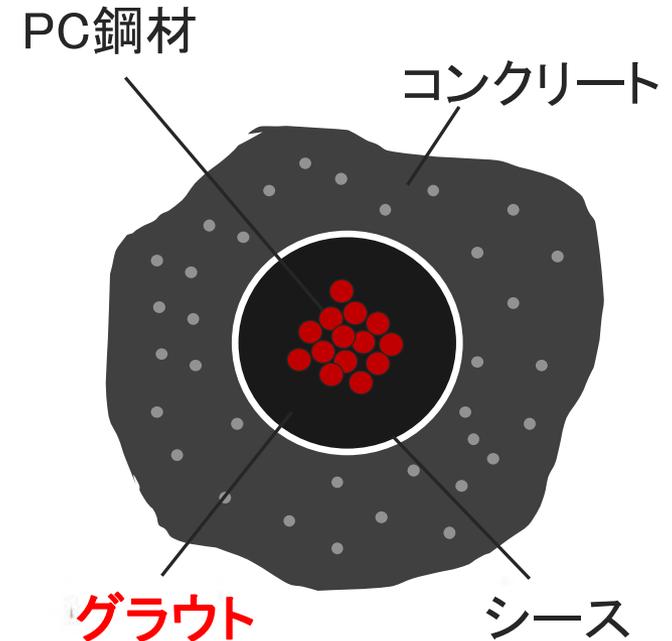
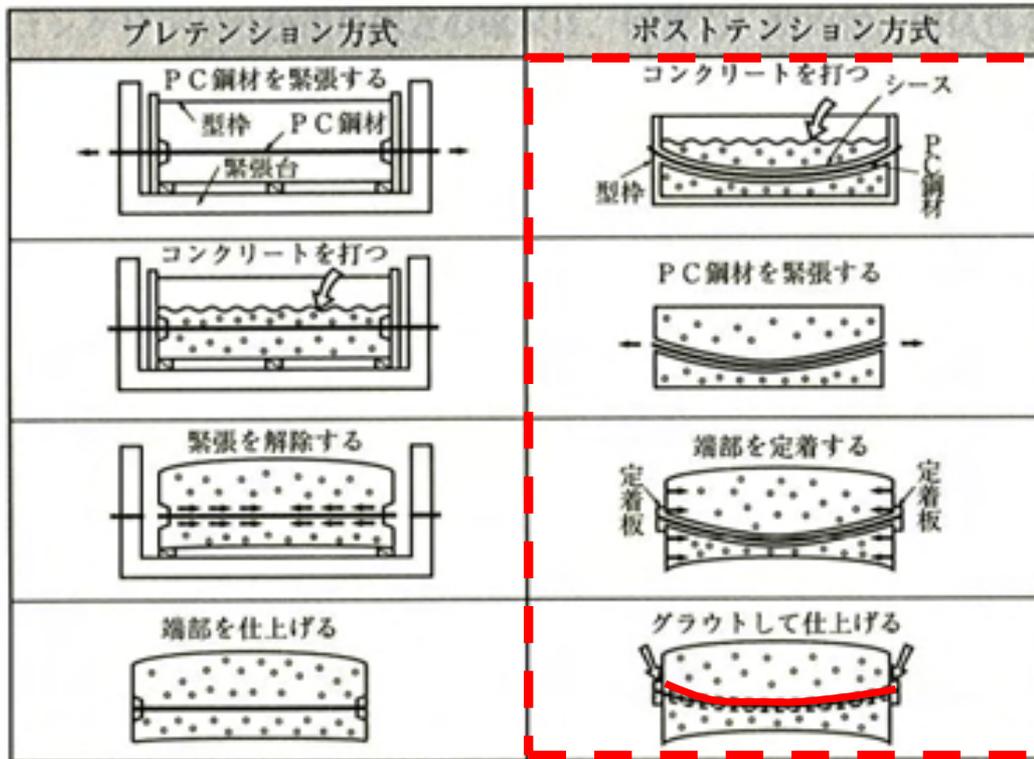
- ① PC鋼材と定着部および偏向部に関する劣化
- ② ポストテンション方式のPCグラウト充填不良等に  
伴うPC鋼材の劣化
- ③ 接合部・施工目地部を起点とした劣化

# 1.2 PCグラウト

**PCグラウト**とは、ポストテンション方式のPC部材にプレストレスを導入後、ダクト(シース)の空隙に注入するものであり、セメント、水、及び混和材料を構成材料とし。これらを練混ぜ混合したもの。

グラウトが充填されていないと、**PC鋼材の腐食**や**破断**を引き起こす可能性がある。

## プレストレスコンクリートの種類



# 1.2 PCグラウト

- PCグラウトの充填状況およびPC鋼材の腐食状況の把握が特に重要である

表 - 2 適用基準類の変遷に基づく鋼材変状の発生の危険性

要 因		PCグラウト充填不足及びPC鋼材腐食の発生危険性												背 景				
		1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010									
充 填 不 足	品質管理 (充填管理)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	1986年 PCグラウト記録 1996年 流量計, 講習会受講義務
	ブリーディング に起因する空隙	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	1996年 ハンブリーディングング推奨 1999年 ハンブリーディングング標準 2005年 鉛直管試験導入
	先流れ現象に 起因する空隙	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	1996年 粘性PCグラウトの記載 1999年 高粘性・低粘性型の使用
	シース径に 起因する 空隙	PC鋼線 PC鋼より線	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	PC鋼より線 12S12.7 1973年 60mm→65mm 1980年 65mm→70mm
PC鋼棒		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	PC鋼棒 φ 32mm 1994年 38mm→39.3mm 1998年 39.3mm→45mm	
鋼 材 腐 食	床板防水層の設置 に起因する腐食	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	1973年 必要に応じて防水層を設置 2002年 防水層の設置を原則 2007年 高性能対応の試験項目追加	
	グラウトホースの 処理に起因する腐食	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	1999年 深さ1cm以上のエポキシ樹脂であと埋め 2005年 あと埋め上に防水工を設置 2012年 グラウトホース間のあきを確保	
	PC鋼材の上縁定着 に起因する腐食	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	1980年 道路橋T桁支間28m以上は 端部定着 1994年 道路橋T桁はすべて端部定着	

注) 発生危険性 ■ : 対象とする要因に対して規定がない, もしくは対策に不備があった。

■ : 要因対策が実施されているが, 途中経過的な対策であった。

□ : 要因対策が完了しており, PCグラウト充填不足やPC鋼材腐食が発生する可能性が低い。

# 1.3 PCグラウト充填不良による変状

PC鋼材に沿ったひび割れやエフロレッセンス

PC鋼材の腐食～破断への危険性



グラウト充填不良により生じたPC鋼材に沿ったひび割れとエフロレッセンス



ポストテンション方式T桁の下フランジに生じたひび割れの事例

# 1.4 主ケーブルに沿ったひび割れ事例(ウェブ)

## 損傷状況

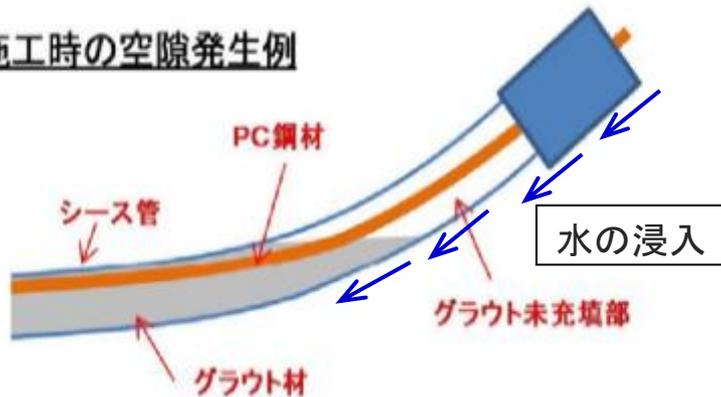


## はつり状況

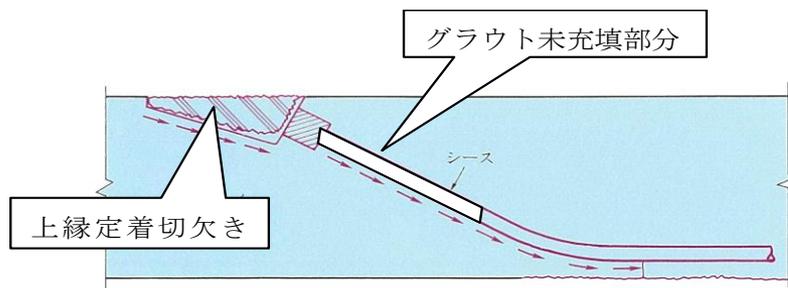
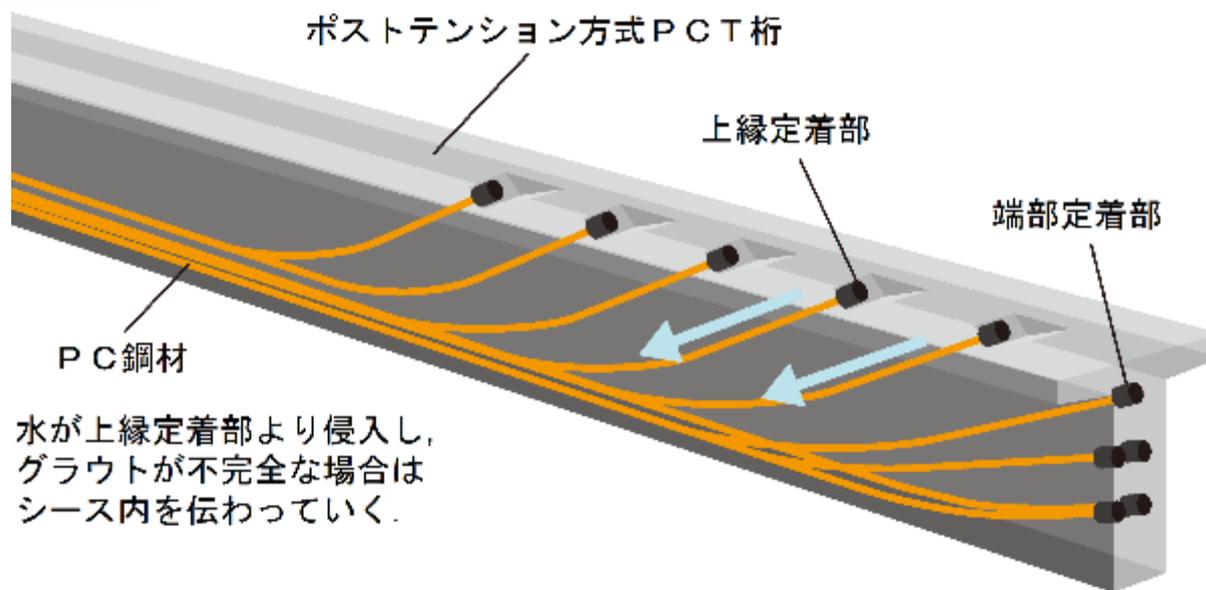


## 主な要因

### 施工時の空隙発生例



# 1.5 ポステンT桁の上縁切欠き部と水の浸入経路



PCT桁の上縁定着切欠き部と水の浸入経路

# 1.6 横締めケーブルの損傷事例

PC鋼棒



PC鋼棒



PC鋼棒



PC鋼より線



# 1.7 PC鋼材破断の影響

## ・安全性能

- ① 曲げ応力度
- ② 曲げ破壊耐力
- ③ せん断耐力 プレストレス鉛直分力の消失
- ④ ブロック目地部(鉄筋は不連続)
- ⑤ 横分配(横締め)

## ・使用性能

- ① たわみ
- ② 振動

## ・耐久性能

## ・第三者への影響

# 1.8 PCグラウト調査手法一覧

項目		削孔調査	衝撃弾性波法		X線法	超音波法
検査手法		削孔調査	衝撃弾性波法	インパクトエコー法	X線透過法	超音波法
確認方法		目視確認	応答波形による確認		目視確認	応答波形による確認
長所		確実性がある	検査が簡易に可能	検査が簡易に可能	・確認が容易	検査が比較的簡易
短所		・全調査に削孔が必要	・判断に技術力が伴う ・横締めPC鋼材しか適用できない	・判断に技術力が伴う ・PC鋼材の間隔により使用範囲が限定される	・調査時間が長い ・部材厚により使用範囲が限定される	・判断に技術力が伴う ・機器が大きい ・コストが高い
費用(万円/本)		約1.6	約1.7	約5	約10	約20
評価	主ケーブル	○	×	○	○	○
	横締め	○	○	△	△	△

削孔調査



X線撮影



超音波法



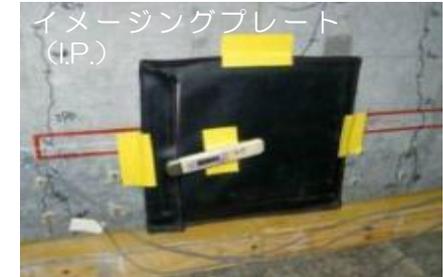
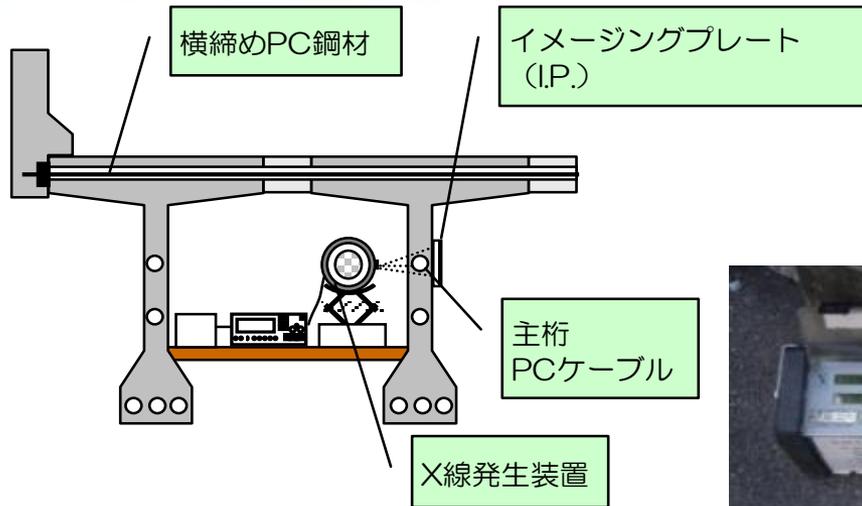
衝撃弾性波法



インパクトエコー法

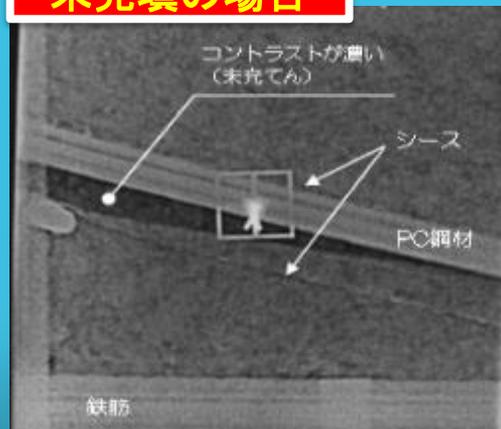


# 1.9 X線撮影(適用範囲:主ケーブル)



- 放射線(X線)は、物質を透過する性質および放射線がフィルムなどの感光材料に当たった時に感光させる性質をもっている。
- 感光材料に到達する放射線の強さは透過する試験体の厚さ、材質に大きく影響され、**鋼材は放射線を透過しにくく、空洞等の気体は放射線を透過しやすい。**

## 未充填の場合

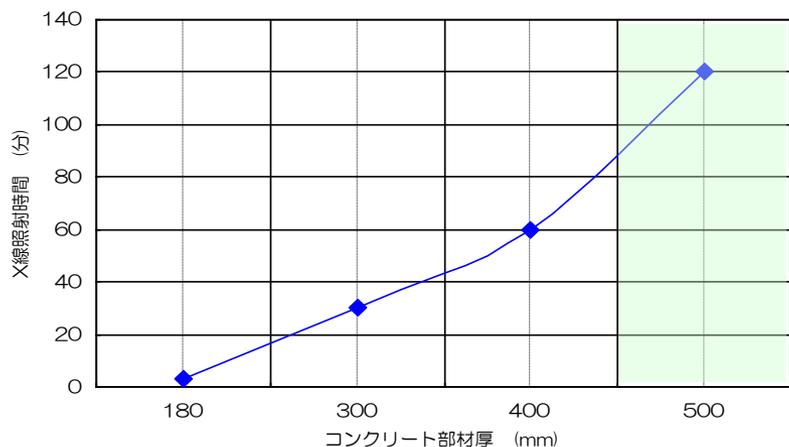


## 充填の場合

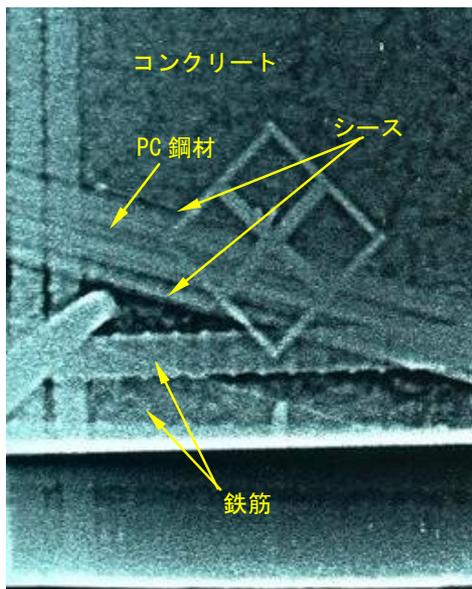


- コンクリート内の鋼材(鉄筋やPC鋼材等)は周囲に比べて白く写り、**空洞は黒く**写る。
- 撮影された画像のコントラストの違いによってグラウト充填状況を識別することができる。

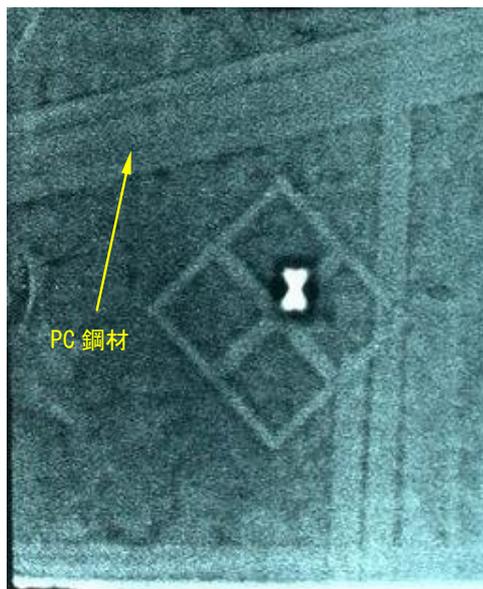
# 1.10 コンクリート部材厚とX線照射時間の関係



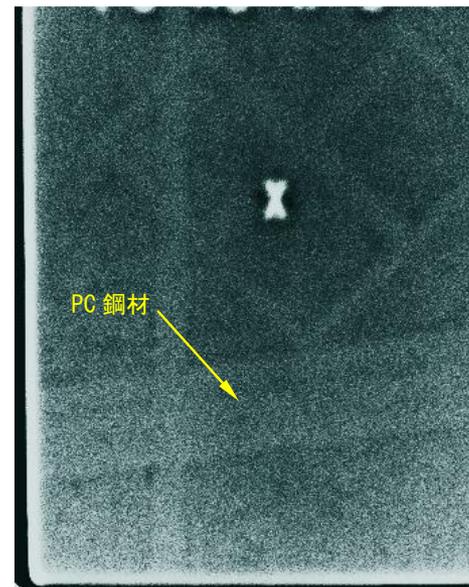
- ・ 部材厚によりX線照射時間は大きく異なり、一般にX線照射時間は、部材厚 200mm以下では5～10分程度、部材厚 500mmでは120分程度必要
- ・ グラウト評価は、**400mm程度が限界**



部材厚：300mm，照射時間：30分  
8～10枚/1日

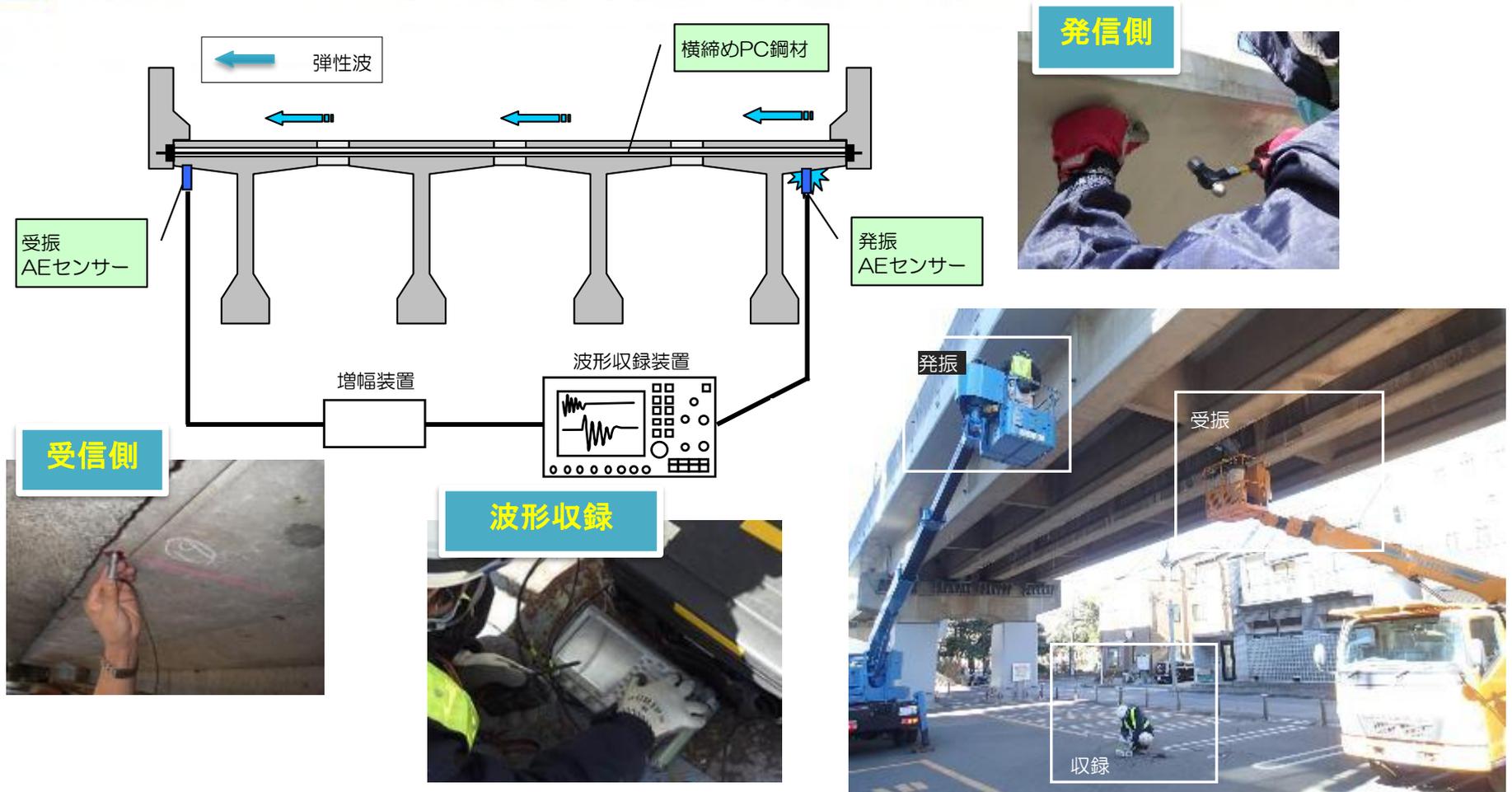


部材厚：400mm，照射時間：60分  
5～7枚/1日



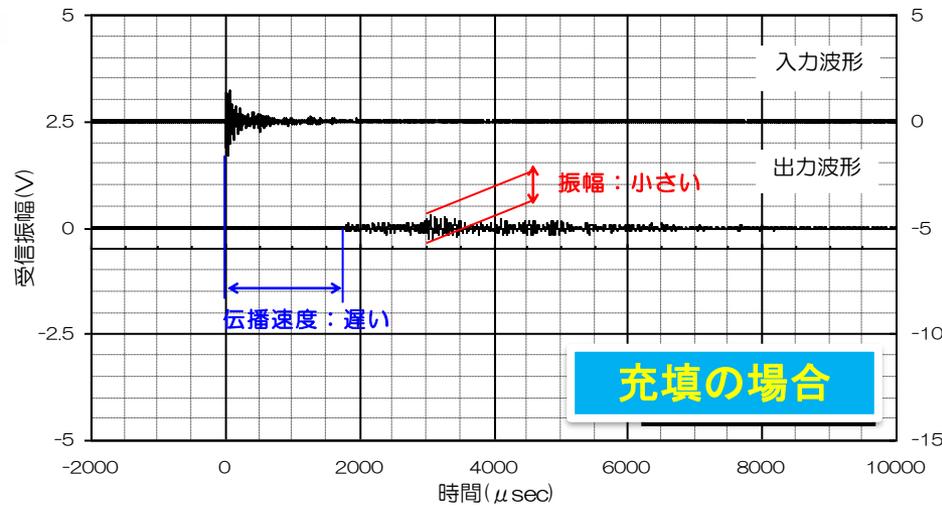
部材厚：500mm，照射時間：120分  
2～3枚/1日

# 1.11 衝撃弾性波(適用範囲:横締め)

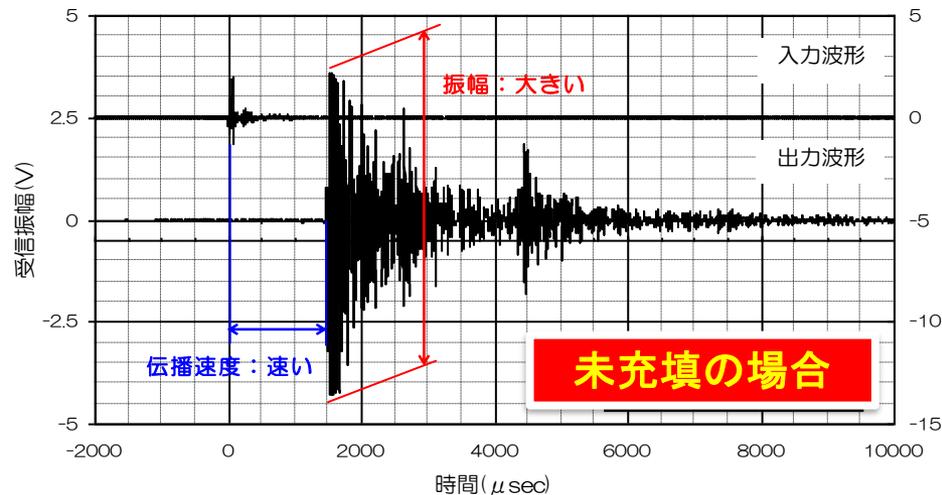


- ・床版や横桁に配置された**横締めPCケーブル**が対象
- ・横締めPCケーブル**1本全体**のグラウト充填度の判定を行う

# 1.12 衝撃弾性波法(評価方法)

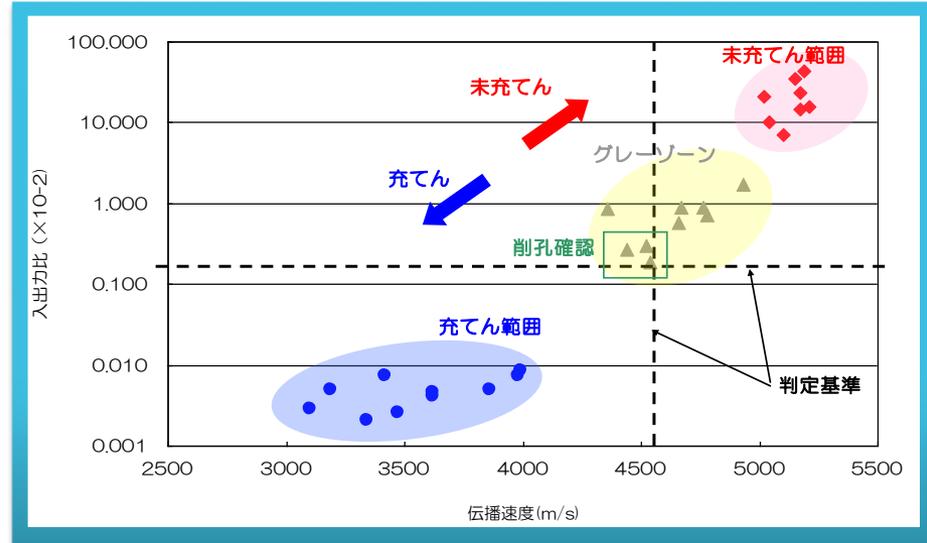


充填の場合



未充填の場合

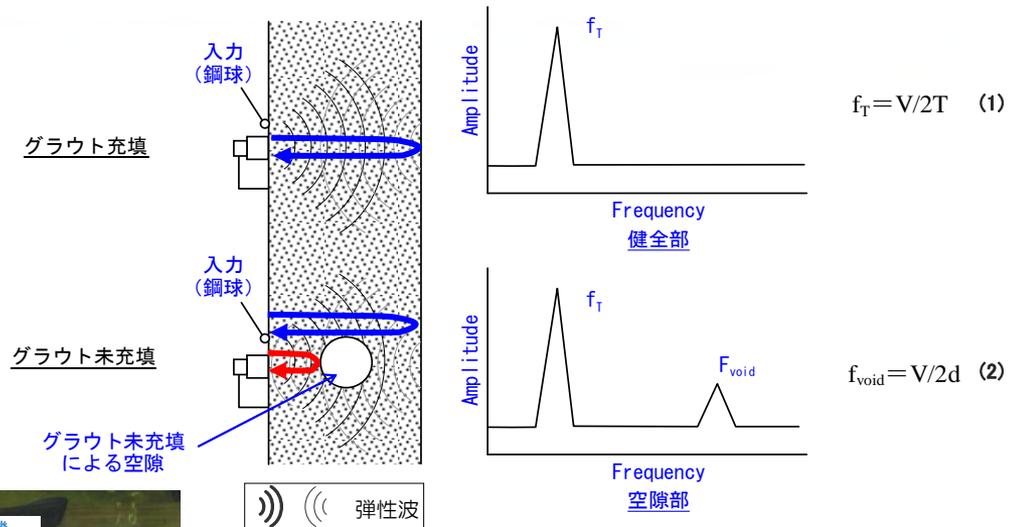
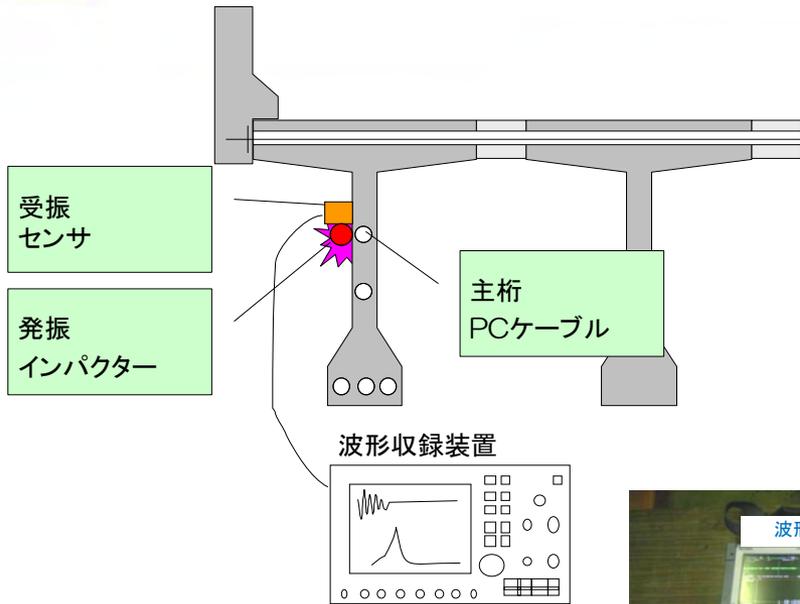
測定波形例



・PC鋼材を伝わった弾性波の**伝播速度**、および伝わった**エネルギー**(入出力比:[受信振幅/入力振幅])の2つの指標で評価

- グラウトが**充填**されている場合
  - グラウトの拘束によってPC鋼材を伝播するエネルギーが減衰するため出力波が**小**くなる。伝播速度は見掛け上遅くなる。
- グラウトが**未充填**の場合
  - 伝播エネルギーの減衰が小さくなるため、出力波が**大**くなる。伝播速度は見掛け上速くなる。

# 1.13 衝撃弾性波法(インパクトエコー法:主ケーブル)



グラウトの未充填部がある場合、シース管内部の空隙での反射によるピーク周波数 $f_{void}$ が出現する。これらのピーク周波数は、コンクリートの縦波伝播速度をVとすると、図中の式(1),(2)で表される。

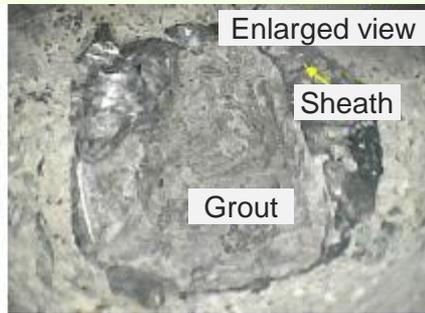
ここで、Tは部材の厚さ、dはシースまでのかぶり厚さ



- ・ **主桁**ウェブに配置されたPCケーブルが対象
- ・ 入力した衝撃弾性波をセンサで受信し、受信波の**周波数解析**結果からコンクリート内部の欠陥評価等を行う手法
- ・ **部分的な**グラウト充てん度の判定を行う

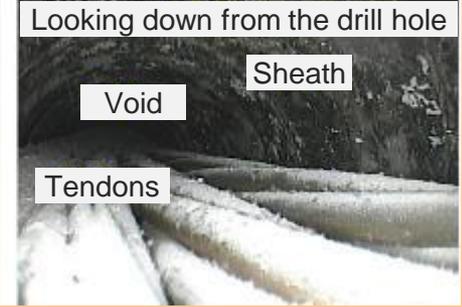
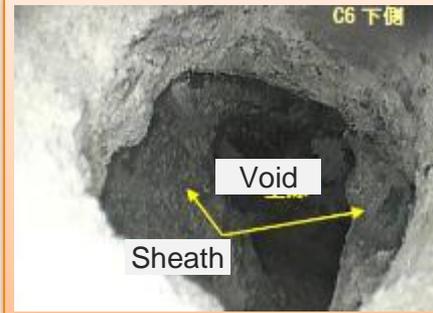
# 1.14 インパクトエコー法(評価方法)

## グラウト充填



削孔+CCD 充填確認

## グラウト充填不良



削孔+CCD 充填不良

卓越したピークが1つ認められる

卓越したピークが2つ認められる

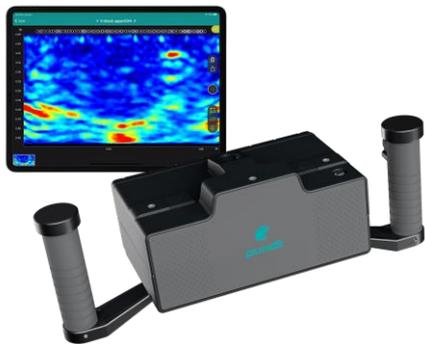
# 1.15 超音波パルスエコー法によるグラウト調査

## ・超音波パルスエコー法とは

・超音波試験機は、**横波の超音波**(音速1800~2500m/s)を用いて、コンクリートの反対面や内部欠陥からの反射エコーを測定することで、空隙や豆板、シース内のグラウト充填度を評価する非破壊検査手法である。

### 空隙・剥離調査

空洞や欠陥を検出が可能であり、トモグラフィ同様に視覚的に確認することができる



### グラウト調査

超音波パルスエコー法はグラウト欠陥を検出することが可能であり、現場評価がすることができる



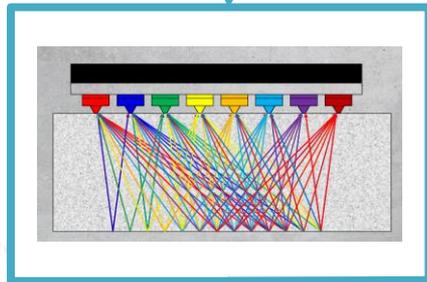
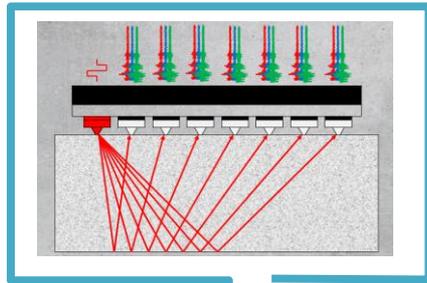
### 豆板調査

豆板を検出が可能であり、トモグラフィ同様に視覚的に確認することができる

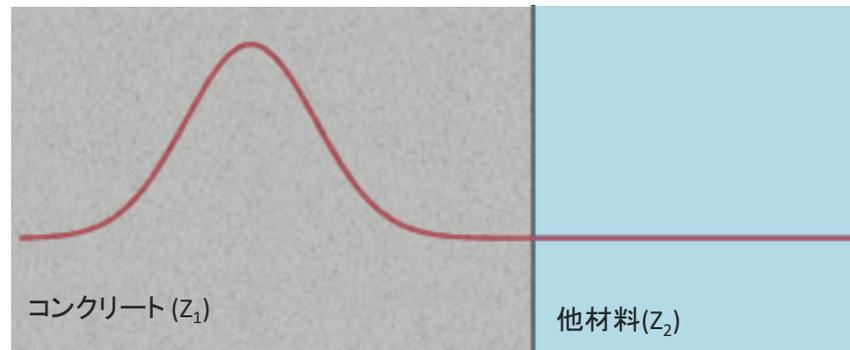


# 1.16 超音波パルスエコー法によるグラウト調査

## ・装置の概要



- ・パルスが1列目から順に発信し、残りのセンサで受信する
- ・内部の状態を、**多重反射(反射エコー)**で評価する
- ・音響インピーダンスが大きく異なる空洞部では、大きな反射が生じることになる
- ・背面側からも大きな反射が得られる



$$R = \frac{(z_2 - z_1)^2}{(z_2 + z_1)^2}$$

Rは反射されるエネルギーのパーセンテージ  
Z1は、コンクリートの音響インピーダンス  
Z2は、2番目の材料の音響インピーダンス

# 1.16 超音波パルスエコー法によるグラウト調査

## ・調査方法(計測手順)について

STEP

01



PC鋼材の位置出し  
測定範囲確定

測定したい位置に、専用のラインテープを直上に取り付ける  
(最大長さ1.5m)

STEP

02

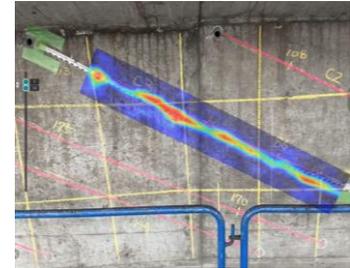


計測

3~5cm間隔程度で、ラインテープ上を順に押し当てていく

STEP

03

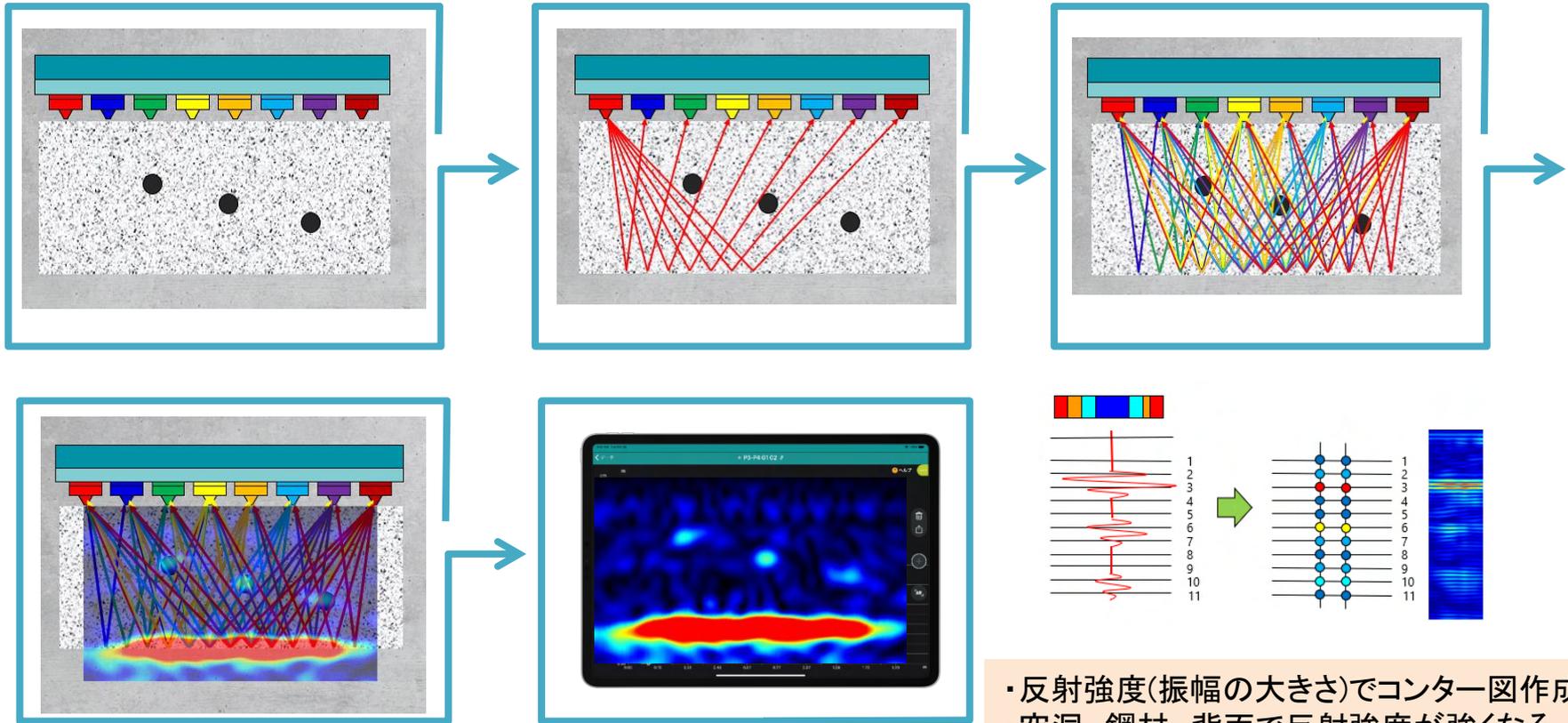


評価

評価方法はコンター図での評価となる。  
※ただし、更に精度よく評価するには、コンター図以外での検討が必要

# 1.17 超音波パルスエコー法によるグラウト調査

## ・評価方法(コンター図)について



# 1.18 超音波パルスエコー法によるグラウト調査

## ・グラウト調査の評価

グラウト充填

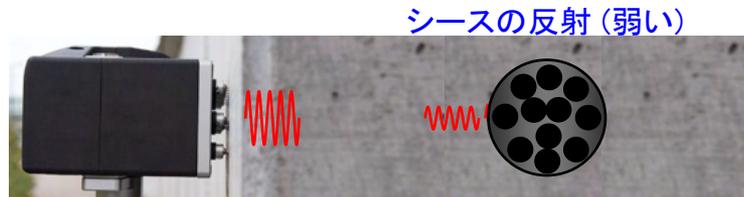


※鋼材なし

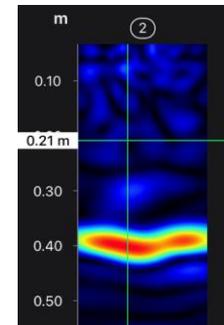
グラウト未充填



※鋼材なし

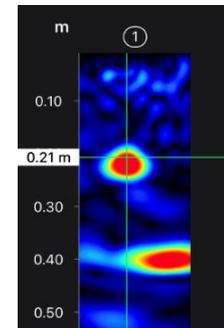


断面図



シース位置での反射  
(弱い)

背面の反射



シース位置での反射  
(強い)

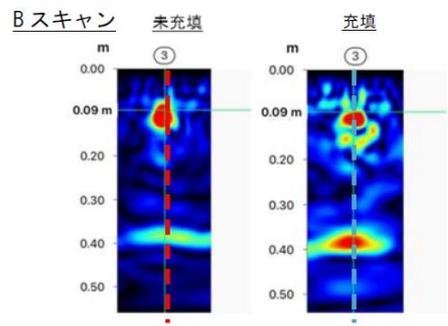
背面の反射

# 1.19 超音波パルスエコー法によるグラウト調査

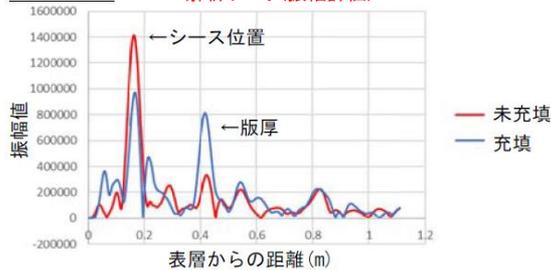
## ・最新の評価方法(振幅評価)

・実現場では、充填されていてもPC鋼材からの反射が発生するため、コンター図からの評価だけでは不十分  
 ⇒シース位置と版厚での卓越したピークの比率から定量的な充填度評価手法を開発。

現地収録データ(コンター図)



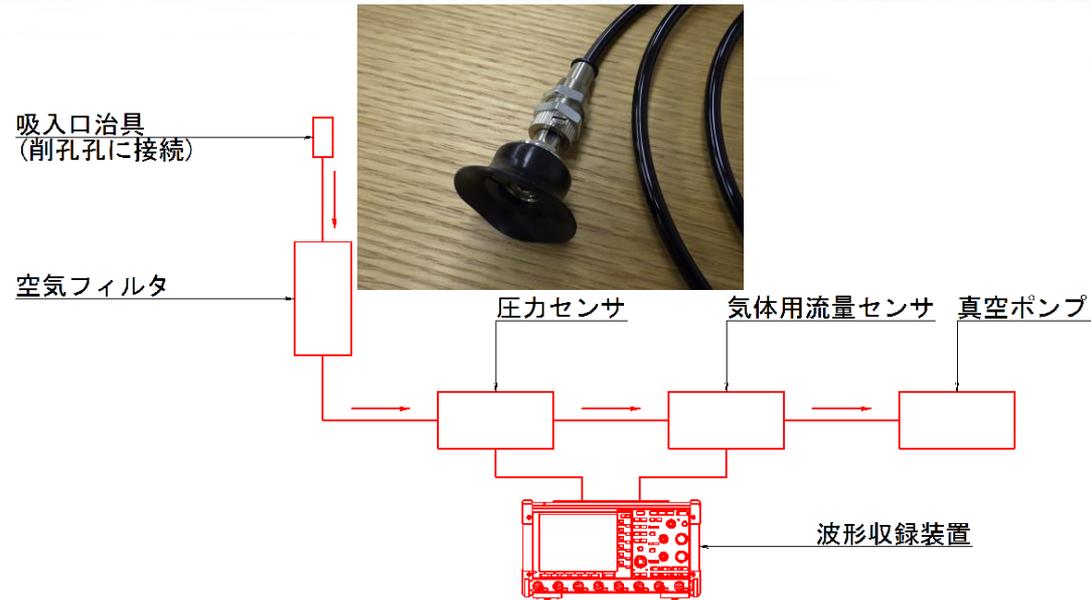
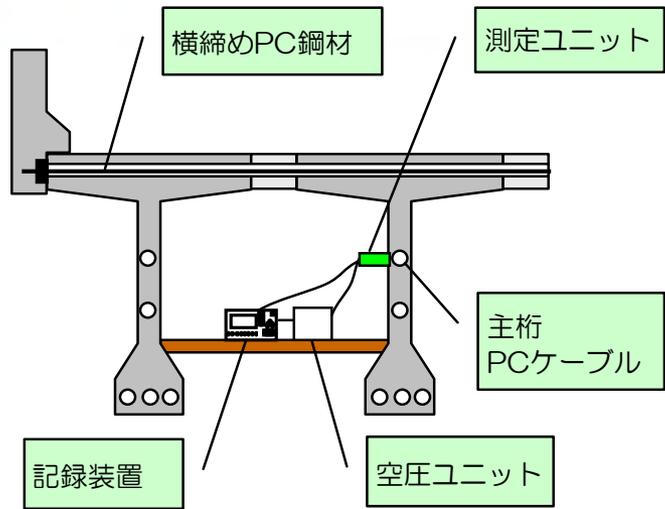
A スキャン 解析データ(振幅評価)



ケーブル	面	測点	かぶり(mm)		振幅のスペクトル						比率(シース/版厚)	
					充填前(シースのみ)		充填前(シース+鉄筋)		充填後(鉄筋有り)		充填前	充填後
			実測	Pundit	振幅(シース位置)	振幅(版厚)	振幅(シース位置)	振幅(版厚)	振幅(シース位置)	振幅(版厚)		
φ 68	背面	④	67	121	1,564,031	608,942	1,448,271	536,099	653,968	732,243	2.7	0.9
		③	94	143	2,063,267	503,462	1,769,156	549,975	1,370,673	861,240	3.2	1.6
		②	121	169	1,848,661	464,781	1,413,770	334,971	975,483	813,589	4.2	1.2
		①	148	189	1,207,741	389,267	1,187,745	483,601	844,157	864,540	2.5	1.0
	前面	①	183	228	819,647	456,559	934,798	339,065	797,578	439,442	2.8	1.8
		②	210	253	893,975	369,655	559,574	253,358	601,197	798,530	2.2	0.8
		③	237	277	771,547	473,886	619,216	354,612	600,019	598,793	1.7	1.0
		④	264	301	431,416	223,969	753,828	388,248	365,627	439,442	1.9	0.8

・シース位置/版厚での反射強度の閾値を1.5とした場合、  
 14/16箇所で充填度を正しく評価  
 (1.5以上: 充填不良、1.5未満: 充填)

# 1.20 真空法(適用範囲:主ケーブル,横締め) ※削孔調査の補助



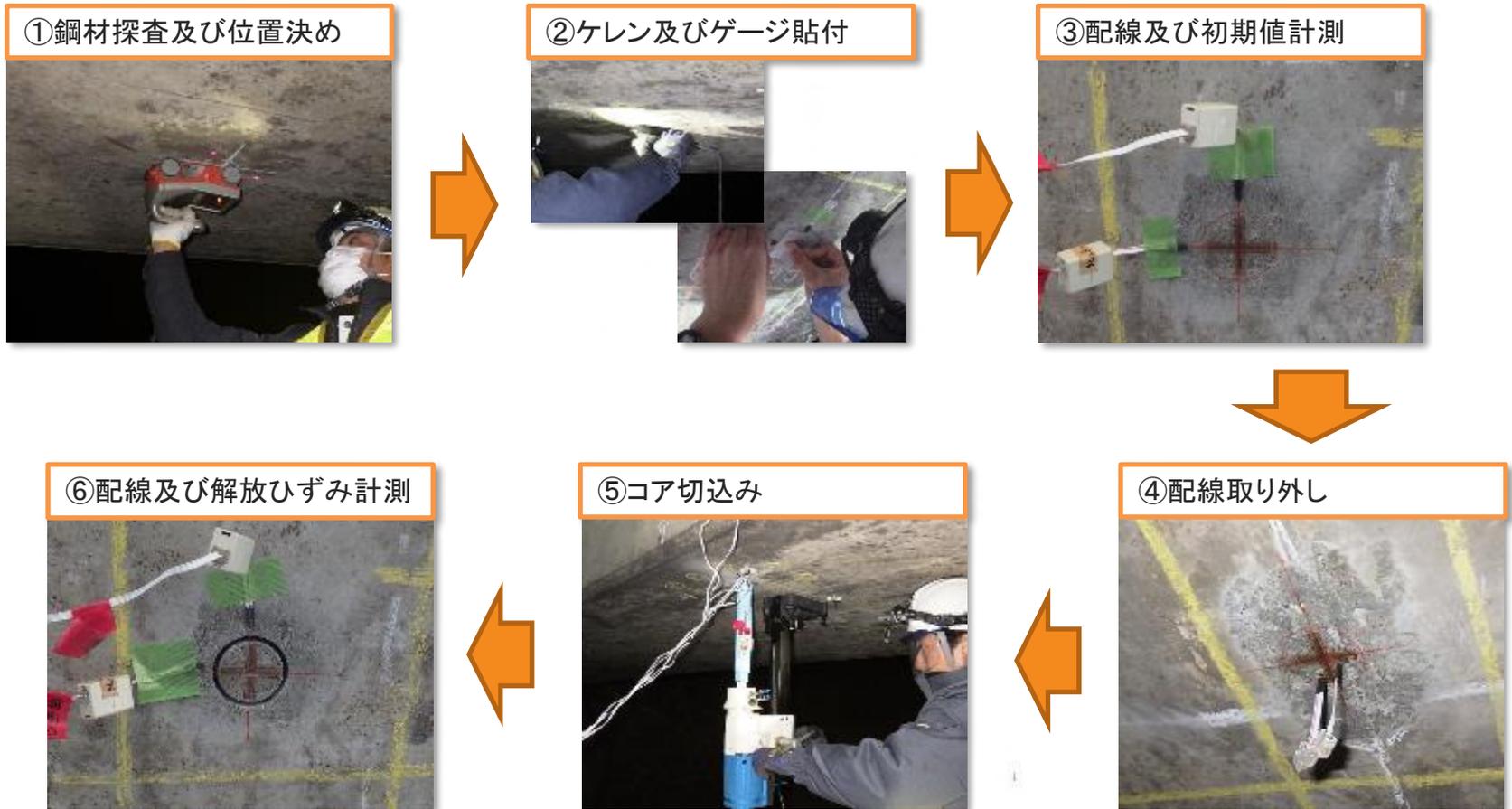
- ・ グラウト**充填不良**が確認されたPC鋼材が対象
- ・ 削孔調査などでシースに開けた孔(1箇所でも可)を利用し、真空ポンプを使ってシース内を真空にしていく。圧力センサおよび気体用流量センサで測定することで、**空隙の体積**を推測する調査方法である
- ・ シース内部の**未充填部分の長さ**(空隙体積)を推定する

# 1.21 有効プレストレスの推定

調査項目	調査手法の例		評価内容の例
プレストレス の状態	コア切込み法	2方向のひずみゲージを貼り付け、コアを切り込むことによって解放されるひずみを測定する。	調査位置における乾燥収縮、クリープひずみの影響を消去し、応力を推定する。
	スリット法	コンクリートを部分的に切削し、応力解放した際のひずみを光学的ひずみ計測装置により測定する。	撮影した範囲内の任意の位置・方向のひずみを画像解析し、応力を推定する。
	フラットジャッキ法	PC部材に切削した溝にフラットジャッキを挿入し、応力の開放によって生じた変形量を復元させるために要する圧力を測定する。	調査位置におけるプレストレスを直接的に評価する
	鉄筋解放ひずみ法	プレストレスが導入されている方向の鉄筋を切断した時のひずみを測定する。	調査位置における鉄筋解放ひずみを応力に換算してプレストレスを評価する。

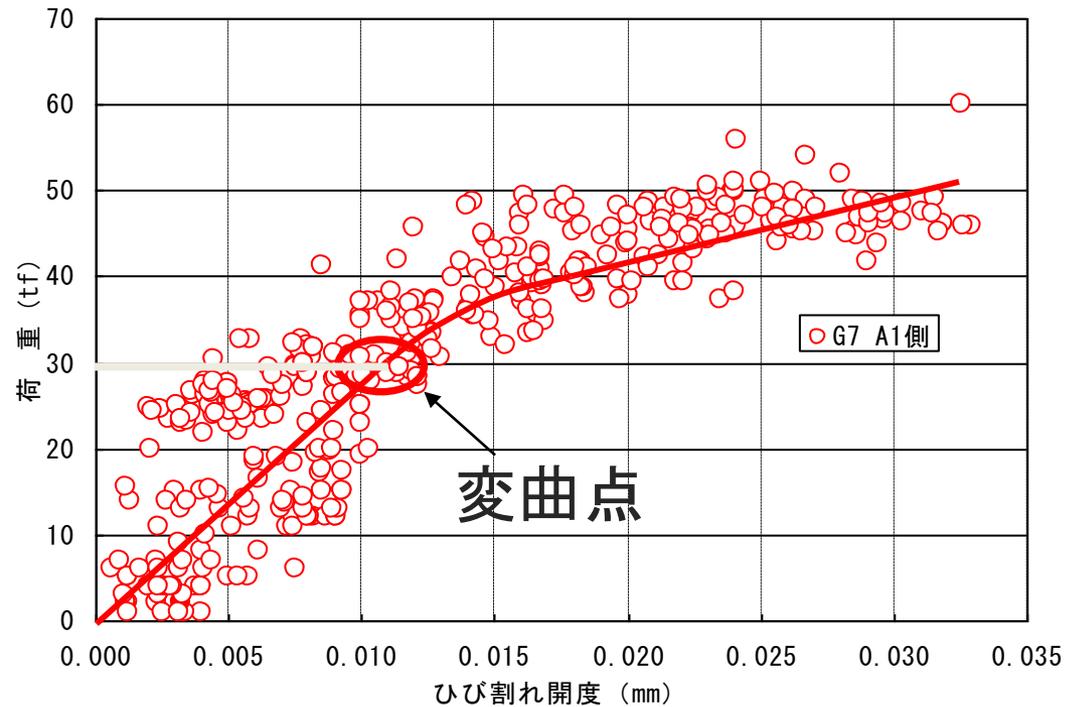
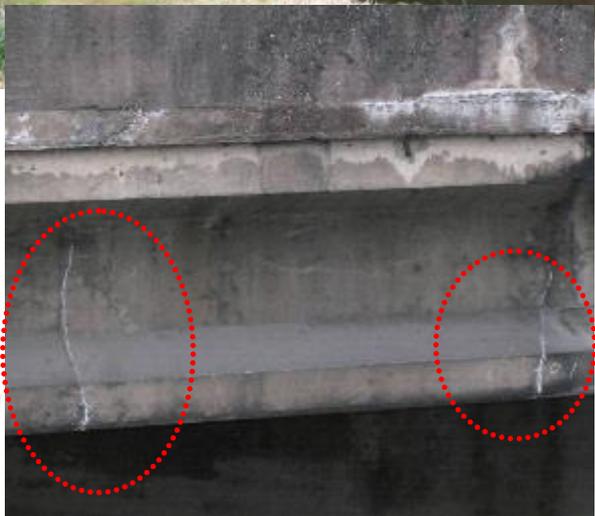
# 1.22 有効プレストレスの推定 コア切込み法

目的：既存PC構造物の応力状態を推定する



# 1.23 有効プレストレスの推定 挙動測定

実橋梁における調査 実車輦走行時の挙動測定  
荷重-ひび割れ開閉量



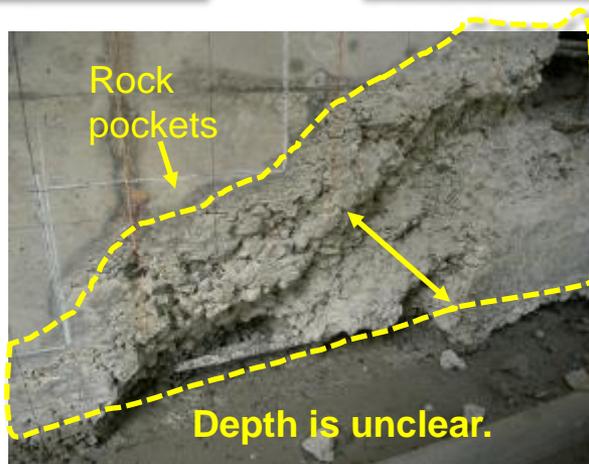
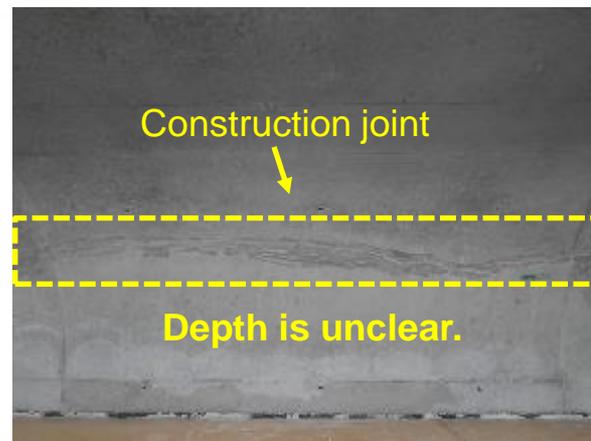
※車両重量はBWIMシステムを用いて計測した



## トモグラフィ計測調査



## 2.1 コンクリート内部欠陥の調査



内部欠陥を非破壊検査で調査する必要がある  
⇒ 超音波透過法により内部欠陥を評価する【可視化する】

## 2.2 コンクリート内部欠陥の調査

### 非破壊検査技術によるコンクリート内部欠陥の調査



#### ■ トモグラフィ法

構造物表面に複数個のセンサを設置し、構造物表面から打撃等により励起させた弾性波が各センサに伝わる到達時間差を利用して、構造物内部のひび割れや豆板などの位置を測定する

#### 短所

構造物の条件によって、使用する周波数帯を選択する必要がある



#### ■ 超音波パルスエコー法

横波の超音波(音速1800~2500m/s)を用いて、シース内のグラウト充填状況やコンクリートの内部欠陥(豆板・水平ひびわれ等)を確認する非破壊検査手法

#### 短所

緻密な配筋が施工されている場合には、明確に空隙等を判断することは難しい



#### ■ 電磁波レーダー法

地中内の鉄筋ならびに空隙(浮き・豆板・土砂化等)を確認する非破壊検査手法

#### 短所

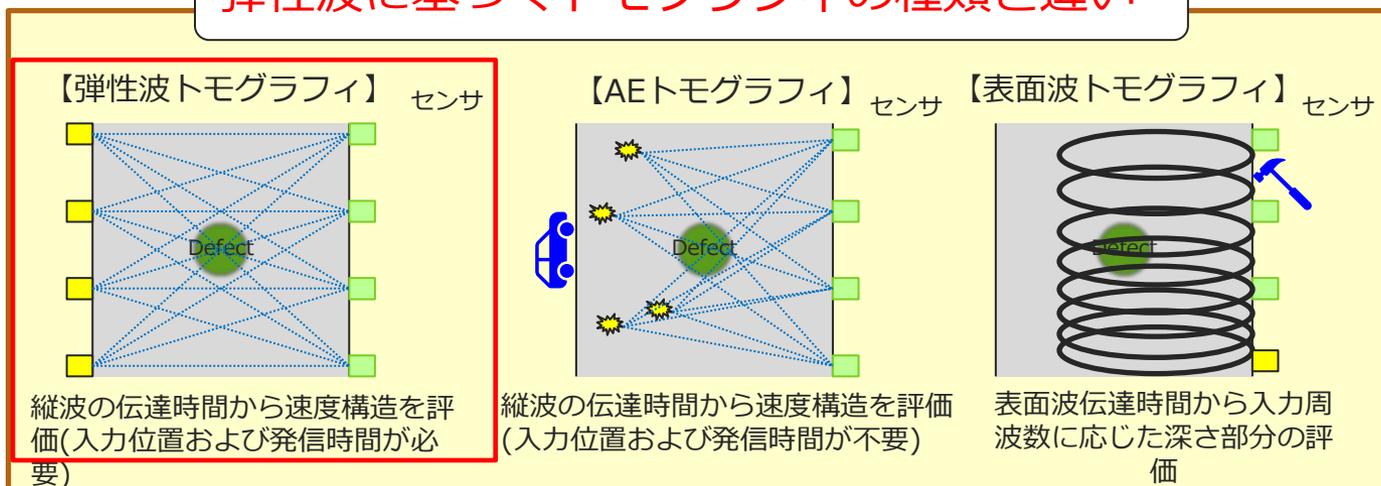
コンクリートの含水率によっては判断が困難である  
交通規制や通行止め等が必要

コンクリート構造物の条件,目的に合わせて**適切な調査方法**を選定する必要がある

## 2.3 トモグラフィ調査

### トモグラフィの種類

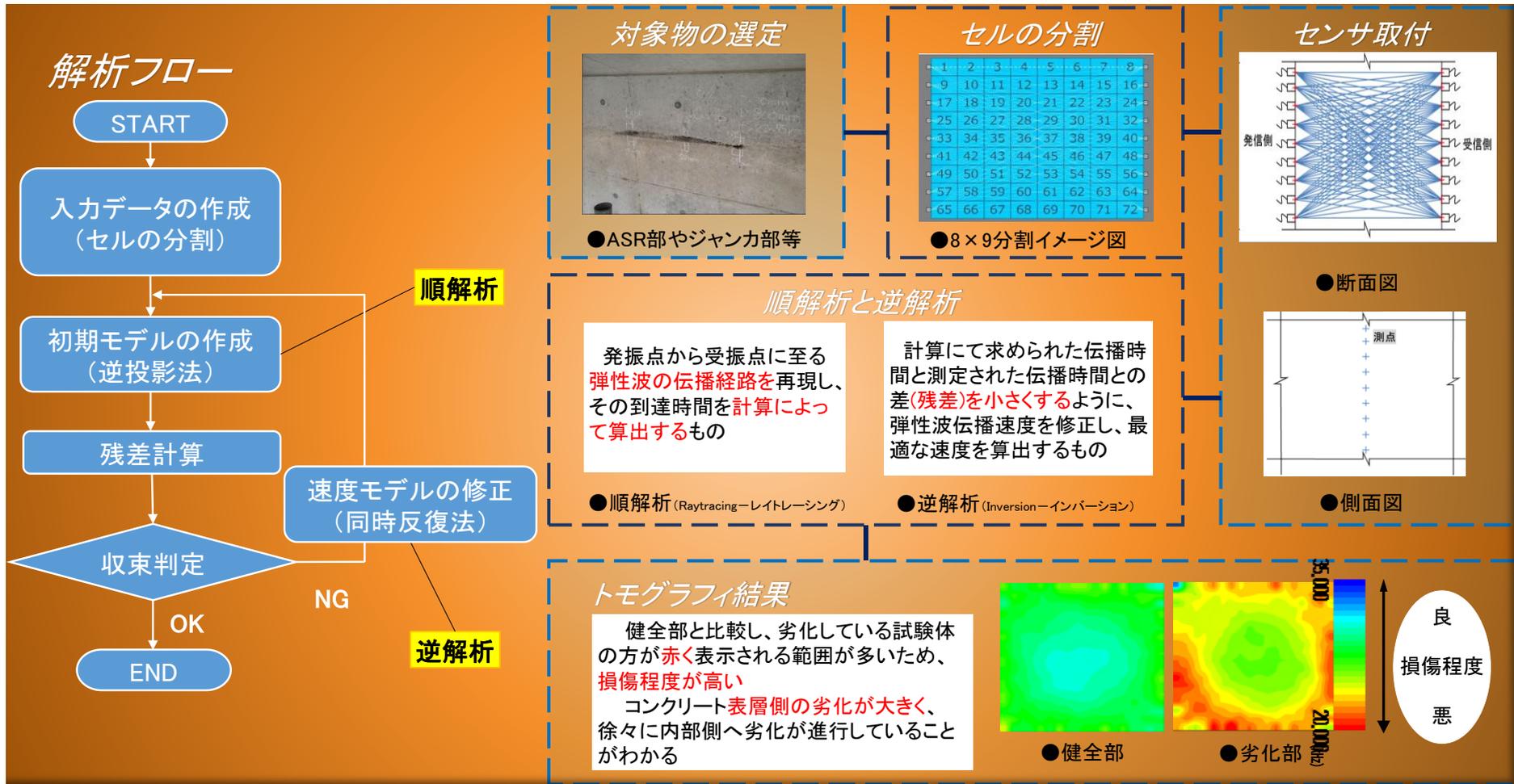
#### 弾性波に基づくトモグラフィの種類と違い



- ◆ トモグラフィ手法として、弾性波の励起(発信)により3種類がある
- ◆ トモグラフィ法の特徴として、空隙や劣化、損傷等の影響を受けると、弾性波の到達時間が健全時より遅くなることを利用して評価している
- ◆ 弾性波の時間だけでなく、エネルギーの減衰を利用したりと他のパラメータを用いることもある

# 2.3 トモグラフィとは

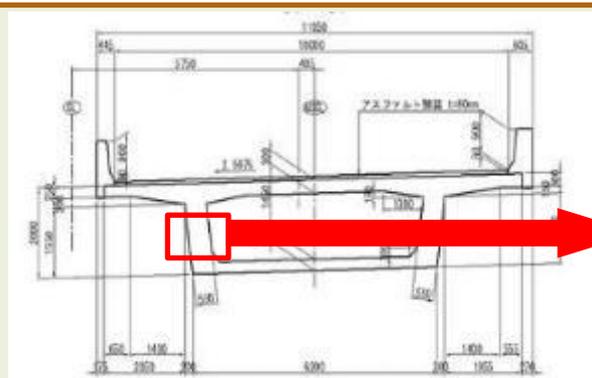
コンクリートの**内部品質**を評価する非破壊試験技術の1つであり、コンクリート構造物で測定した**伝播速度**を用いて解析し、内部の欠陥位置を可視化、推定する手法



# 2.4 トモグラフィ調査

## 透過によるトモグラフィ法 -調査事例-

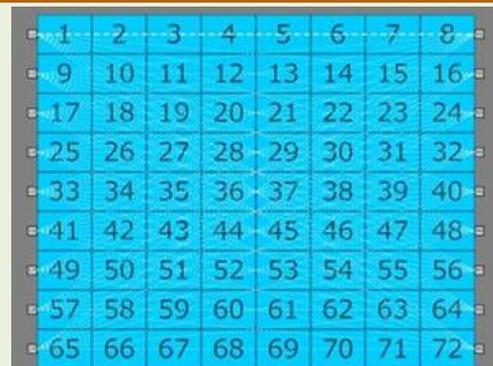
箱桁ウェブ側面に生じた変状(ジャンカ部)に対し、**部材を透過**するようにセンサを設置  
伝播速度の計測を行い**トモグラフィ解析**から**内部の状況を確認**した



対象構造物



変状(ジャンカ部)



発信側

メッシュ分割

受信側

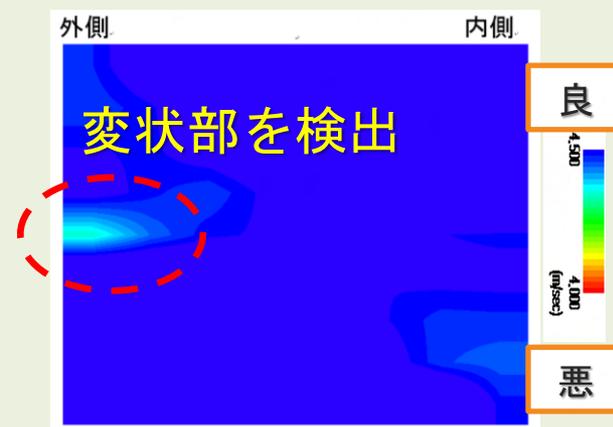


発信側



受信側

調査状況



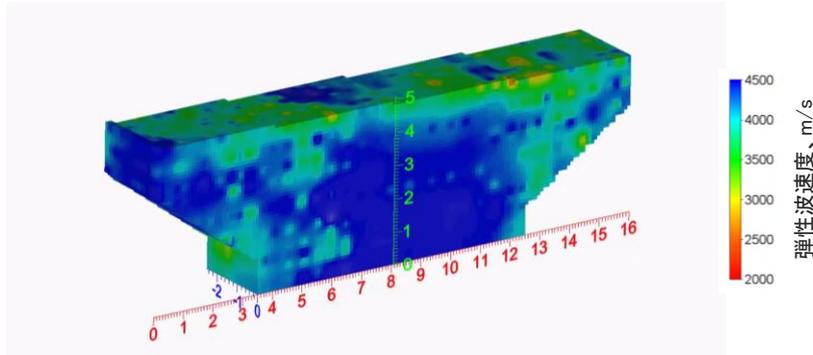
解析結果

## 2.5 弾性波トモグラフィの適用事例

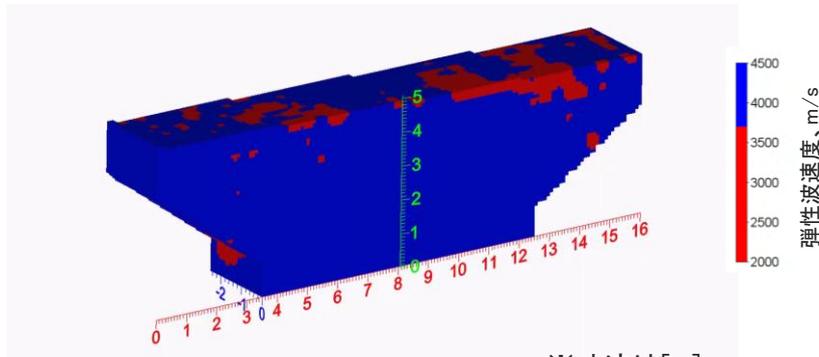
### 弾性波トモグラフィによる施工不良の深さ、範囲の結果(応用)

三次元弾性波トモグラフィ法

調査結果



調査結果  
(二値化)



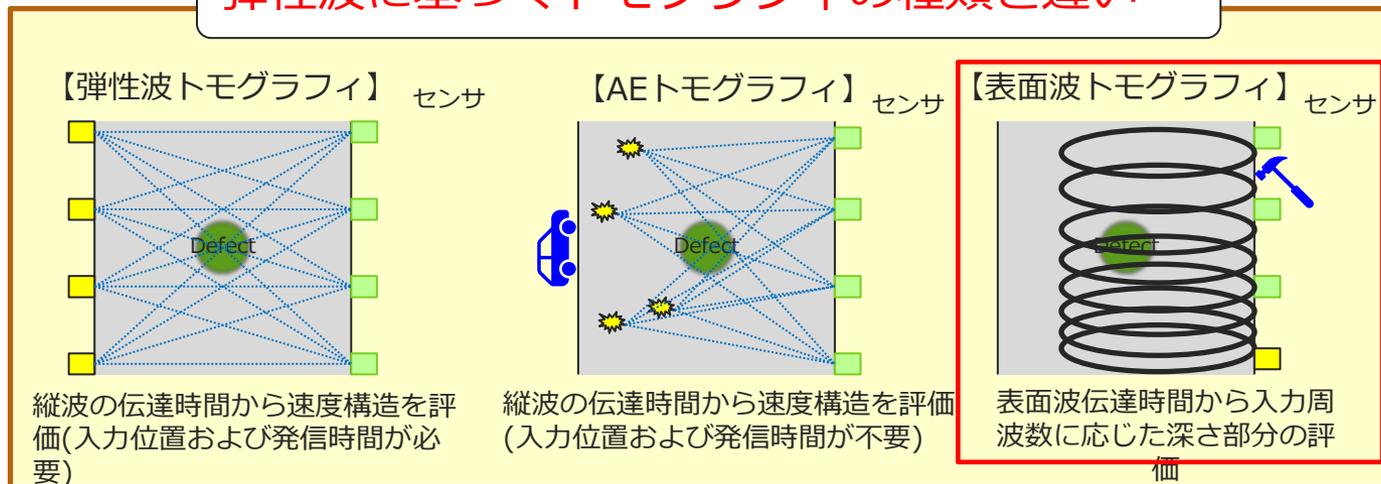
※寸法は[m]



## 2.6 トモグラフィの種類

### 3種類のトモグラフィ

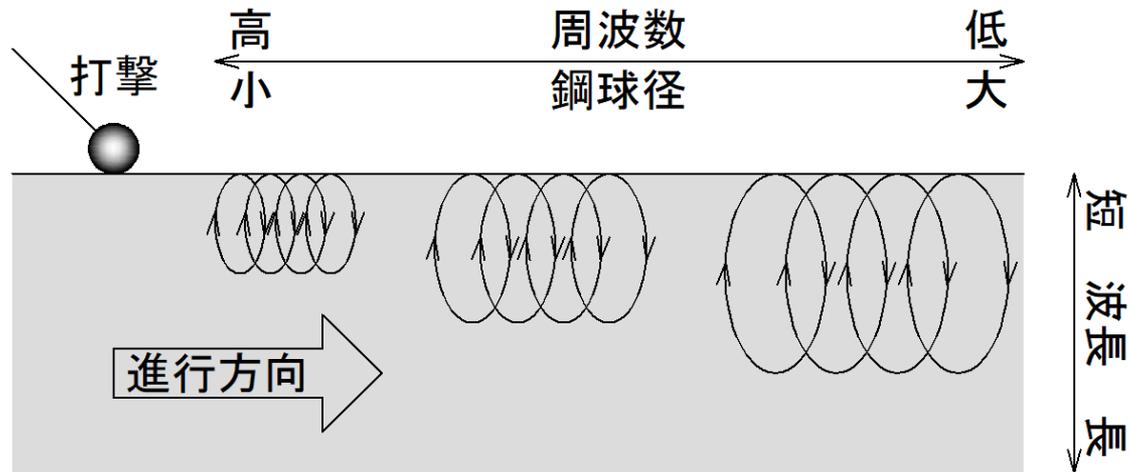
#### 弾性波に基づくトモグラフィの種類と違い



- ◆ トモグラフィ手法として、弾性波の励起(発信)により3種類がある
- ◆ トモグラフィ法の特徴として、空隙や劣化、損傷等の影響を受けると、弾性波の到達時間が健全時より遅くなることを利用して評価している
- ◆ 弾性波の時間だけでなく、エネルギーの減衰を利用したりと他のパラメータを用いることもある

## 2.7 表面波トモグラフィ調査

### 表面波トモグラフィの概要



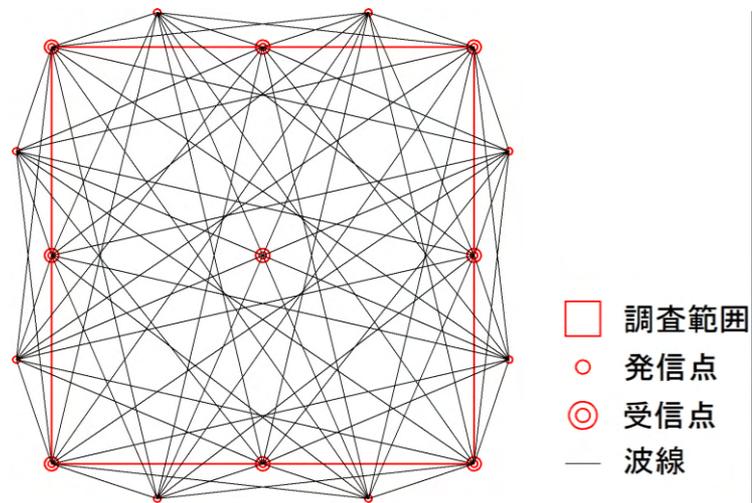
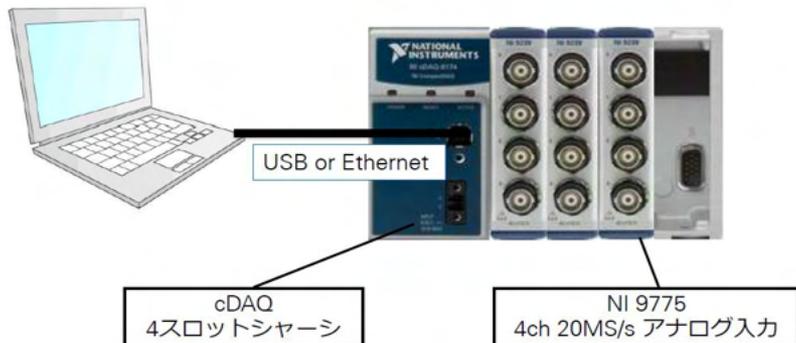
- ◆ 弾性波の成分のなかで表面を伝播するレイリー波に着目
- ◆ レイリー波は縦波と横波の混合波で、粒子の振動は進行する面に対して直角方向に楕円状を描きながら伝播することが知られている

## 2.8 表面波トモグラフィの計測

### 表面波トモグラフィの計測概要

#### 計測装置-収録装置

- BNC接続
- SN比68 dBで最大20 MS/秒/chの分解能計測  
(サンプリング間隔：50nsec)
- SN比74 dBで最大5 MS/秒/chの分解能計測
- 14ビットの分解能
- アナログ基準トリガを内蔵



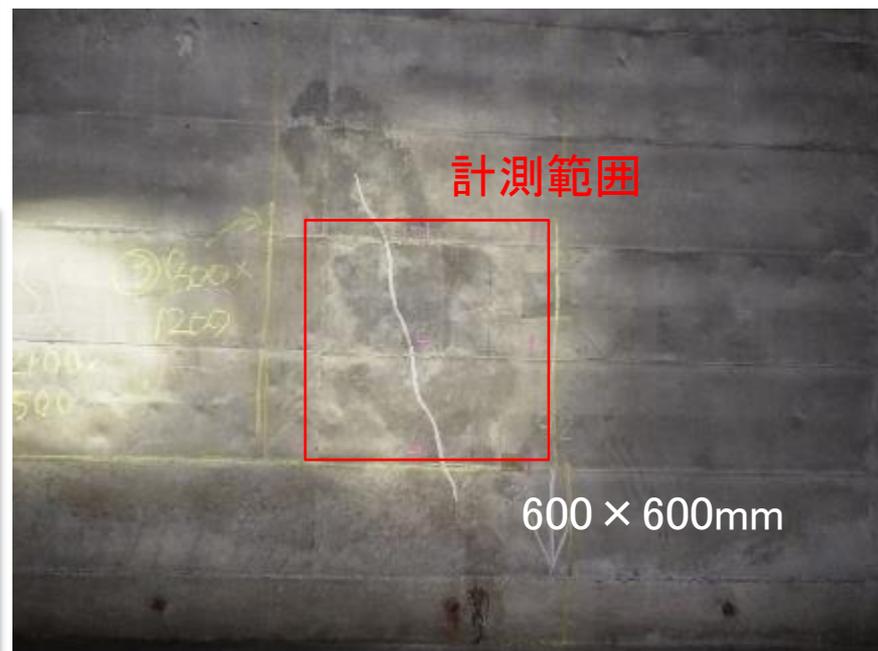
## 2.9 表面波トモグラフィの適用事例

### 地下構造物でのトモグラフィ計測

計測場所は、ボックスカルバートの側壁600x600mmで、鉛直方向に0.2mm程度のひび割れが生じているが、漏水は発生していない。

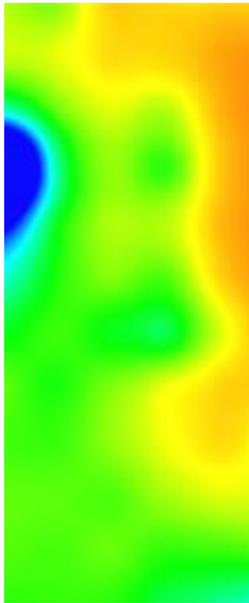


調査箇所



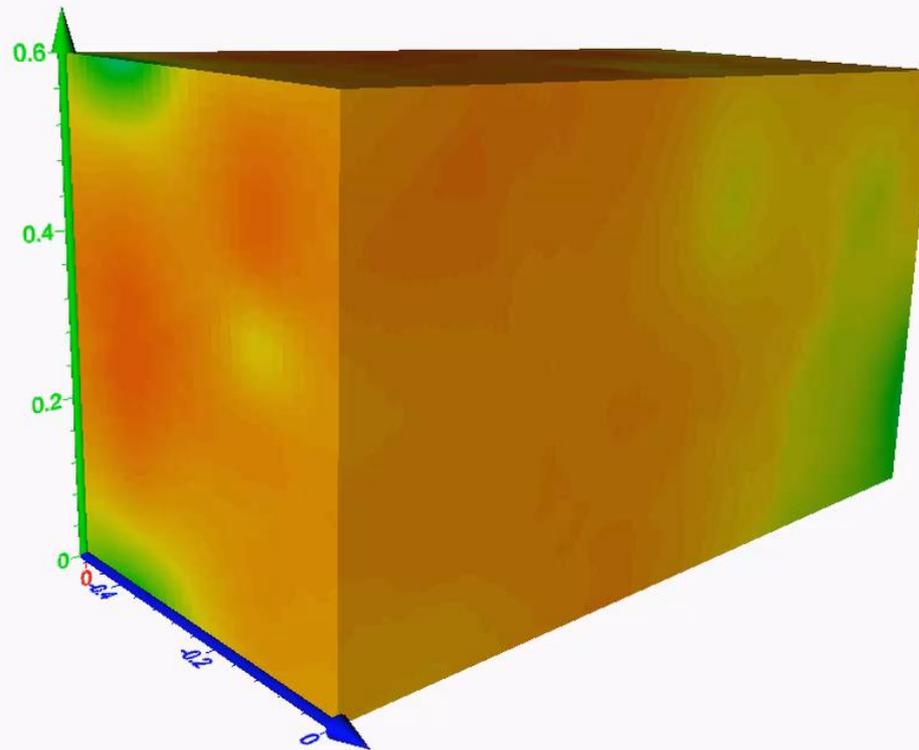
- 調査範囲
- ひび割れ

## 2.10 表面波トモグラフィの調査結果



C/

影響を



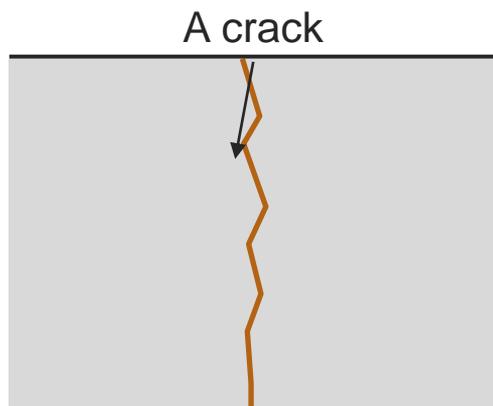
0.06mm

鋼球を分

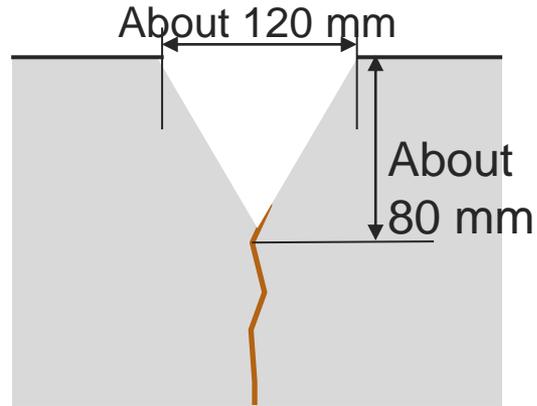
今回の結果では、ひび割れは閉塞している可能性が高い。

## 2.11 表面波トモグラフィの適用事例

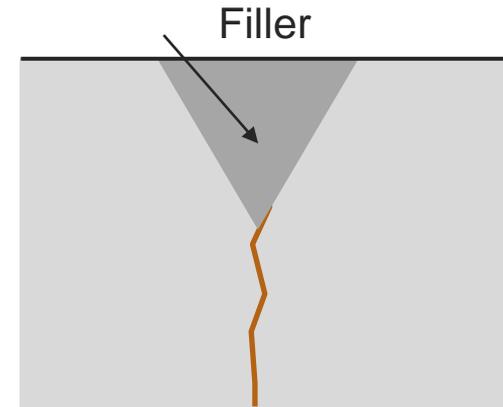
Surface wave tomography is another option to observe the repaired efficiency of leakage. Visual observation is performed by surface wave tomography instead of conventional visual inspection.



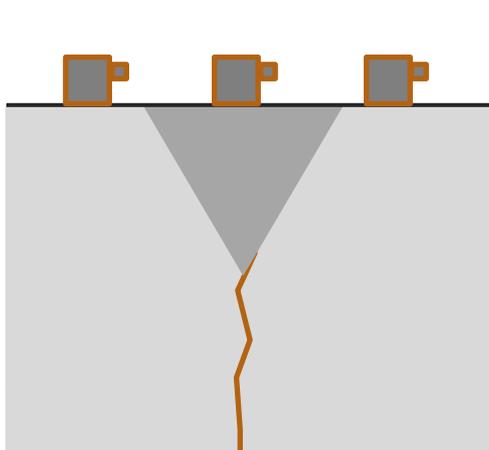
(a) A crack was found.



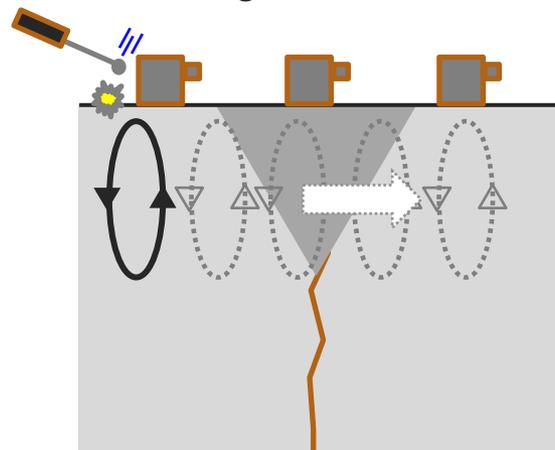
(b) Remove the crack by using a breaker.



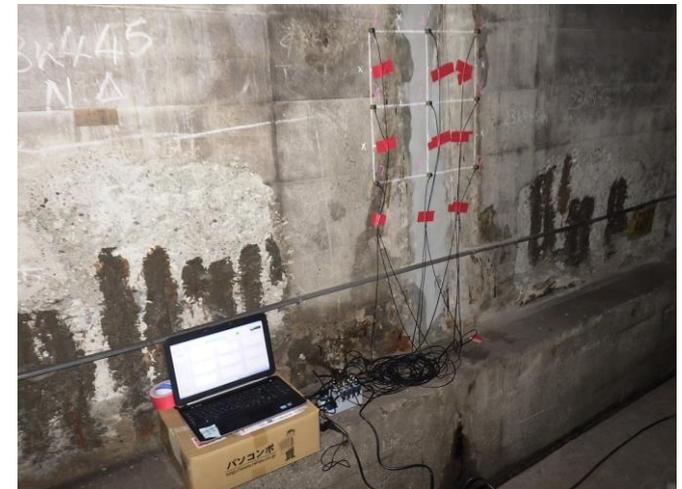
(c) Seal the crack with filler.



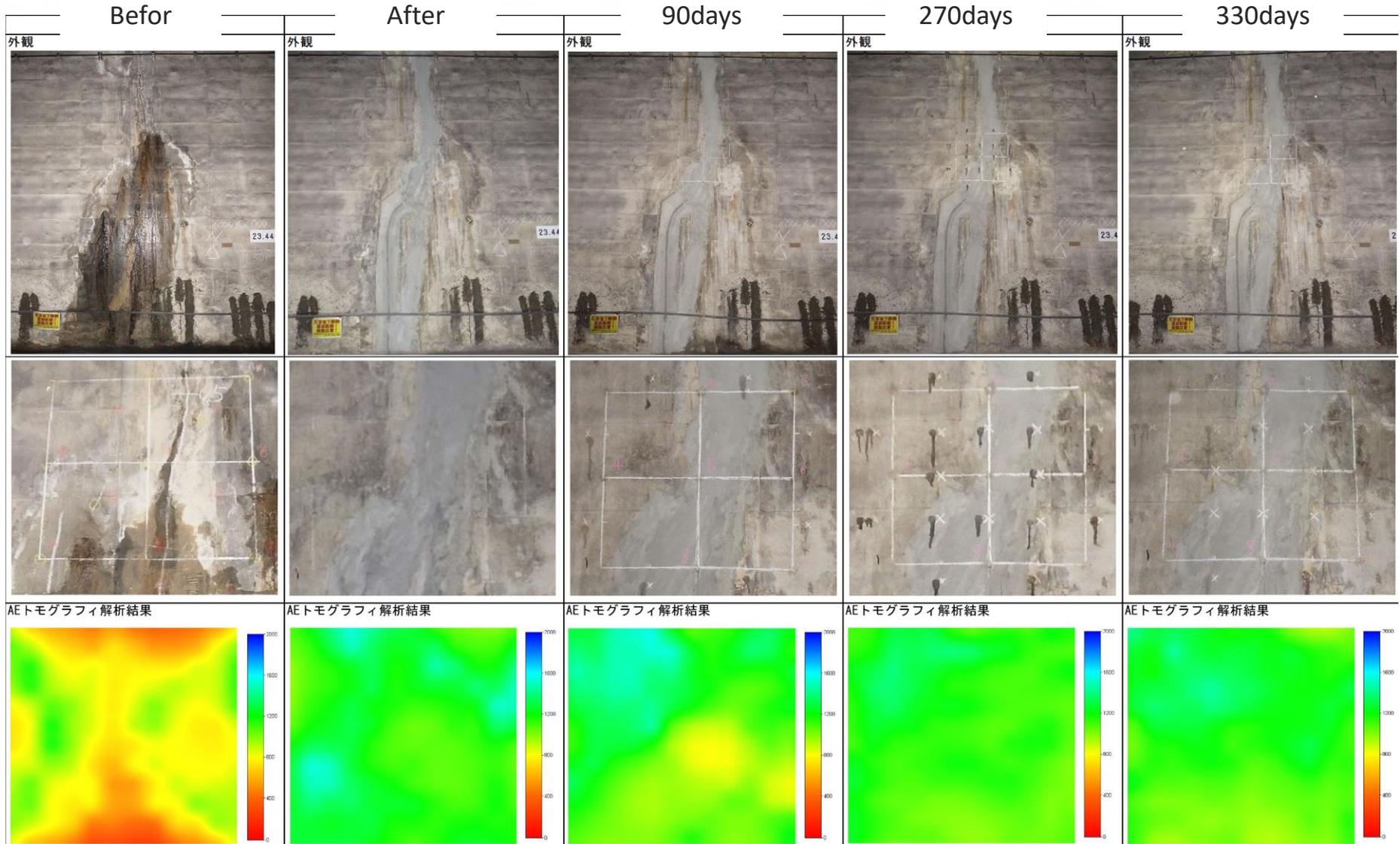
(d) Install AE sensors on the concrete surface.



(e) Impact the surface



# 2.14 ひび割れ補修後のトモグラフィによる健全度評価





# 橋梁のたわみ計測

各種非破壊による調査事例

# 3.1 ドローン空撮による橋梁のたわみ計測

## 産官学による協同研究



京都大学  
KYOTO UNIVERSITY



株式会社 CORE 技術研究所

### 「橋梁の点検支援技術」申請書

令和 4 年 10 月 11 日

応募者名: 株式会社CORE技術研究所  
(応募者が複数の場合は、以下同様に列記する。)

下記の技術を「橋梁の点検支援技術」として応募します。

記

1. 技術名称: ふりがな ドローンくさつによるきょうりょうのたわみけいそく  
ドローン空撮による橋梁のたわみ計測

2. 応募者の窓口担当者 (選定結果通知先等)

法人名: 株式会社 CORE技術研究所

所属: 東京支店 技術部

役職: 次長

氏名: 小椋紀彦

〒111-0053

所在地: 東京都台東区浅草橋3丁目8番5号 VORT浅草橋8F

電話: 03-5825-9166

E-Mail: [ogura.nori@coreit.co.jp](mailto:ogura.nori@coreit.co.jp)

(応募者が複数の場合は、応募者毎に窓口担当者1名を以下同様に列記する。その場合、最初に記載した窓口担当者を代表窓口担当者 (選定結果通知先) とし、応募者が複数の場合でも、選定結果の通知は、代表窓口担当者宛に送付する。)

3. 共同開発者

共同開発者名: 国立研究開発法人産業技術総合研究所

部署: 分析計測標準研究部門

役職: 上級主任研究員 主任研究員 室長

氏名: 李 志遠 叶 嘉星 遠山 暢之

共同開発者名: 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 インフラ先端技術産学共同講座

部署:

役職: 特定教授

氏名: 塩谷智基



株式会社 CORE 技術研究所

## 3.2 ドローン空撮によるたわみ計測

### ・たわみの計測種類について

計測方法	変位計	レーザードップラー	ドローン空撮
概要	計測対象にアンカー等でワイヤーを固定して垂らし、桁下に設置した変位計と接続して垂直方向の変位を計測する	非接触測定センサを用いて、1～数10m離れた構造物の変位を計測する	ドローンに搭載したカメラを用いて橋梁を撮影し、構造物のたわみを計測する
計測条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測対象(対象部材)への近接</li> <li>桁下直下へのアクセスが必要</li> <li>ケーブル配線が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測対象(対象部材)への近接</li> <li>レーザードップラー変位計を設置する箇所(陸地)が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測対象(対象部材)への近接</li> <li>ドローンの飛行およびマーカの撮影が可能であることが必要</li> </ul>
イメージ	<p>ワイヤー (アンカー等で固定)</p> <p>高感度変位計</p>	<p>反射板</p> <p>レーザー光</p> <p>計測対象の直下でなくても計測可</p>	<p>マーカ</p> <p>ドローン撮影</p>

### 3.3 ドローン空撮による橋梁のたわみ計測

#### ドローン空撮での適用範囲(メリット)

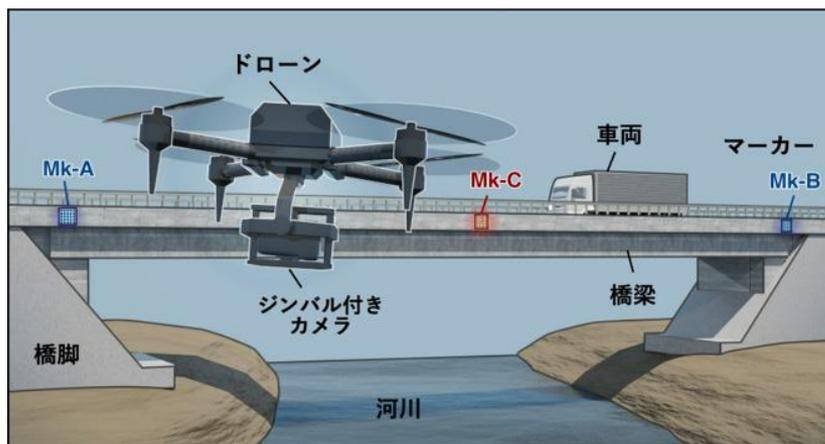


## 3.4 ドローン空撮によるたわみ計測

### ・ドローン空撮によるたわみ計測とは

#### 技術概要

・橋梁の健全性を評価する一手法として、たわみ計測がある。本技術は設置に手間がかかる従来の変位センサに代わり、ドローンカメラを用いて計測が可能である技術である。



#### 海洋・山間部で使用

地上で撮影する必要がない  
→海洋や山間部に架けられた橋梁で  
たわみ計測が可能



#### 補修前後の効果確認

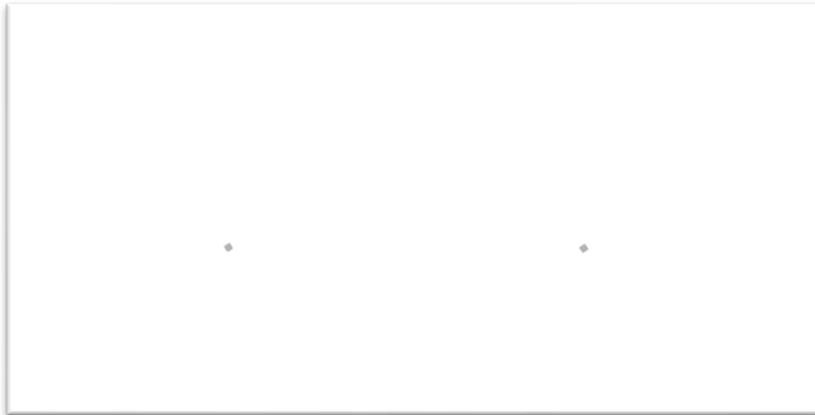
定期的な対象物の状態把握や  
補修後の効果確認などに利用



## 3.5 ドローン空撮による橋梁のたわみ計測SM法

### モアレを利用した変位分布計測（サンプリングモアレ法）

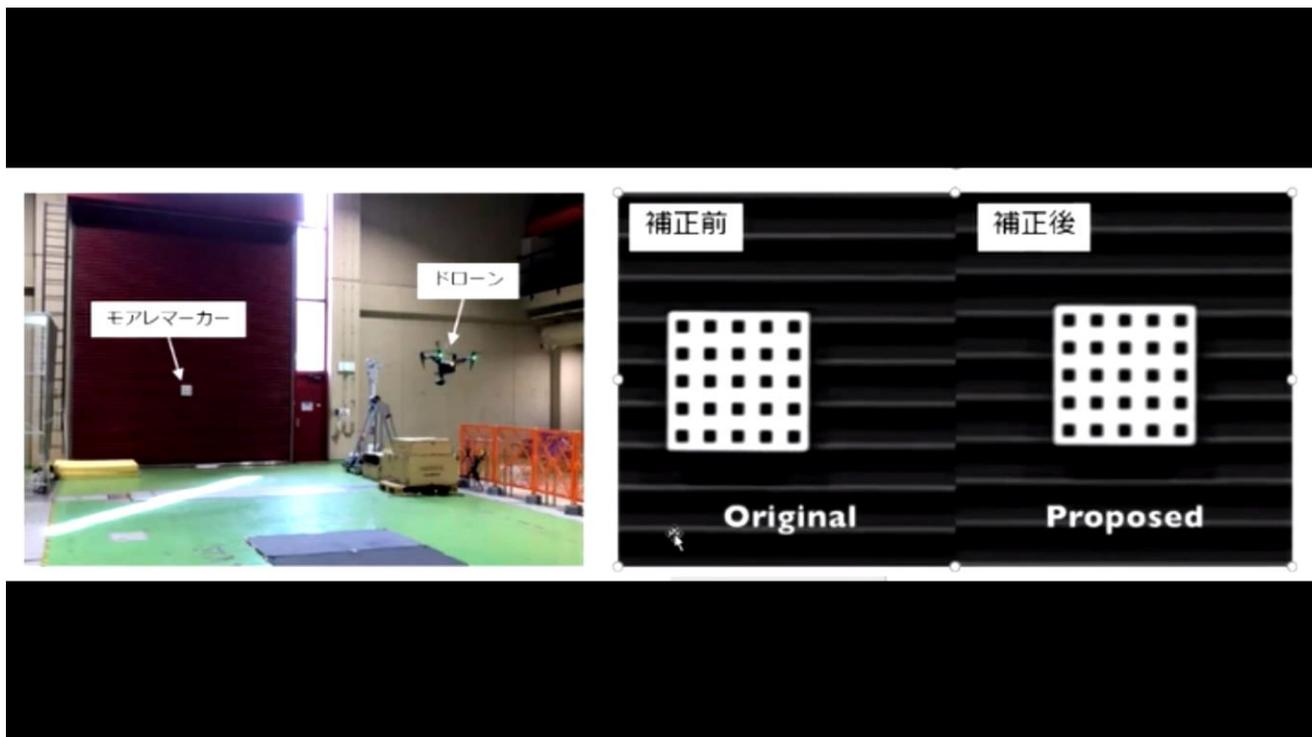
- ・規則正しい繰り返し模様を重ね合わせた際に発生するモアレを活用した、構造物の変形量を定量的に評価する方法
- ・ひずみゲージは複数のセンサを取り付ける必要があり、ひずみが大きすぎるとセンサが外れたりするが、サンプリングモアレ法だと数枚の格子パターン画像を張り付けて撮影するだけで精度よく動的な変位やたわみ角が計測できる



ドローンによる格子画像の撮影

## 3.6 ドローン空撮による橋梁のたわみ計測 機体補正

### 機体のブレ補正



引用:産総研サステナブルインフラ研究ラボHP、産総研技術資料

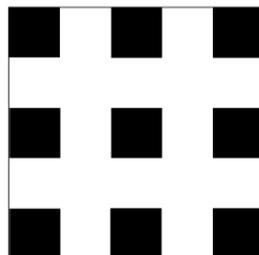
## 3.7 ドローン空撮によるたわみ計測

### ・計測方法(計測手順)について



#### STEP 01

- ・ マーカーを設置する



格子マーカ



マーカー設置例



#### STEP 02

- ・ 載荷試験
- ・ ドローン空撮



載荷試験



#### STEP 03

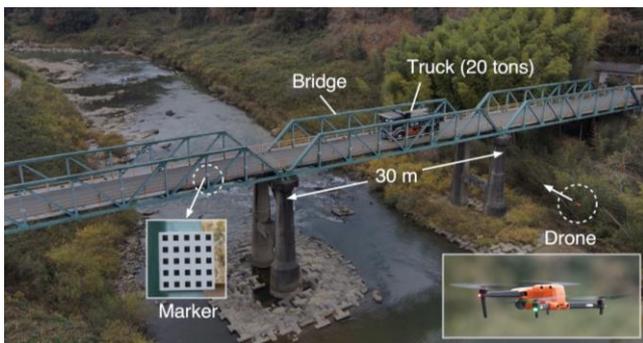
- ・ データ処理

#### 【留意点】

- ・ 計測対象への近接(格子マーカを設置)が可能なこと
- ・ ドローンを飛行させることが可能なこと
- ・ 格子マーカを撮影することが可能なこと  
(陽炎や霧が激しい場合は、測定結果のばらつきが大きくなる)

## 3.8 ドローン空撮による橋梁のたわみ計測

### 実現場での計測例



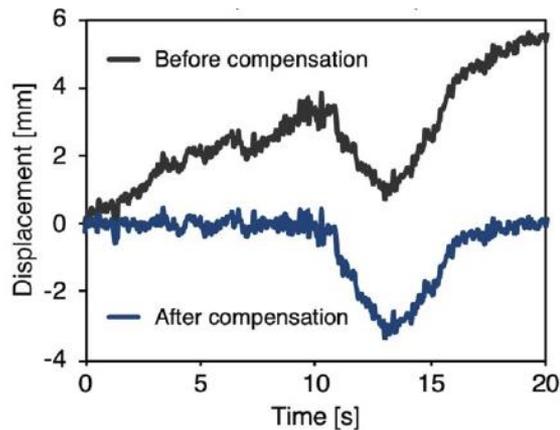
#### 【条件】

- ・トラス橋 桁間30m
- ・各斜材に格子シート画像貼付け
- ・載荷重量20t

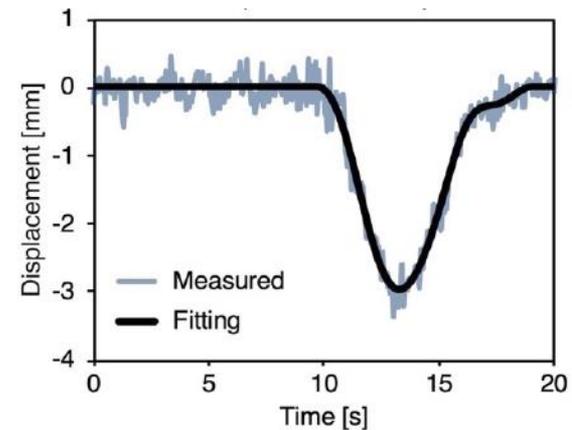


# 3.9 ドローン空撮による橋梁のたわみ計測

## 計測結果



(i) ドローンのチルト角度の補正



(ii) ノイズ除去

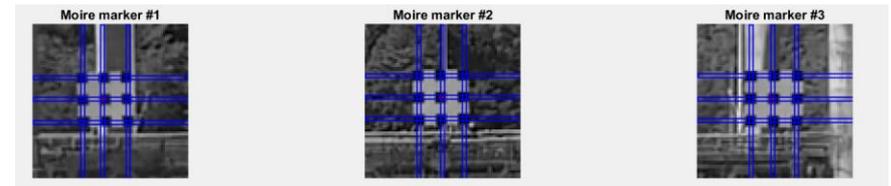
## 3.10 ドローン空撮によるたわみ計測

### ・実際の測定状況

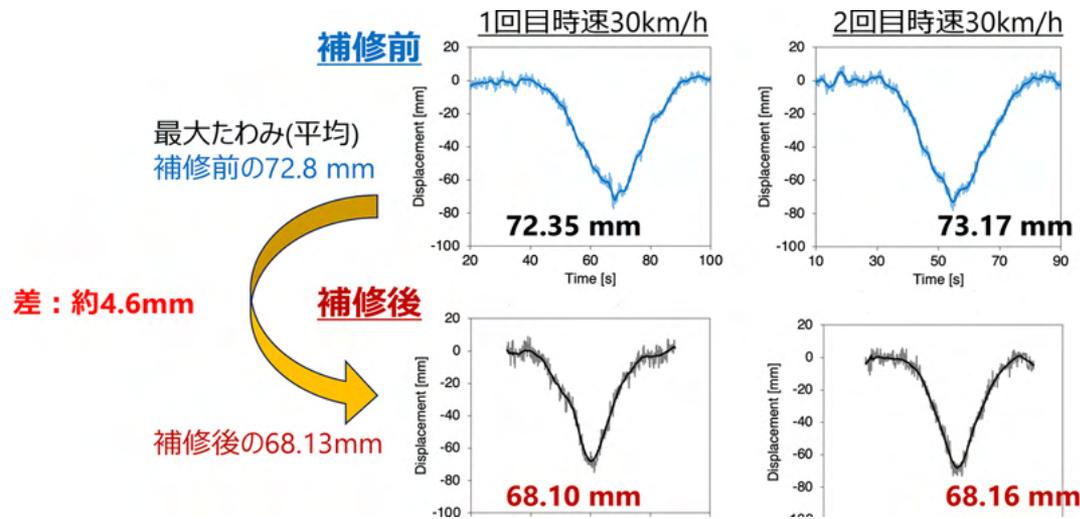


# 3.11 ドローン空撮によるたわみ計測

## ・解析結果



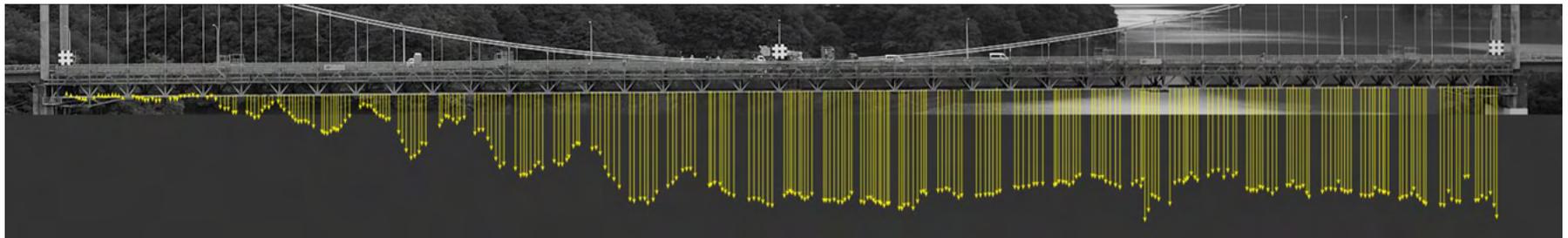
マーク確認



## 3.12 ドローン空撮によるたわみ計測

- ・さらに改良した技術の開発

トラス構造をマーカに見立てて解析が可能



各接合点でのたわみ値の計測が可能  
(トラック中央通過時)

⇒ **鋼橋でのたわみ計測**に非常に有効



# 橋梁点検に関する支援技術



## 4.1 ドローンを用いた点検・調査



- 近接目視と同等の評価・判定が可能
- 点検が困難な箇所で詳細な撮影が可能  
構造物へ0.5mまで接近可能 全方向撮影可能
- 3次元データを活用するため、非GPS環境で航空が可能
- 障害物探知機能により衝突回避機能が向上
- 容易な操作性: 画面タップのみで調査箇所に接近が可能

狭あい部、高所部など近接目視が困難な場所を交通規制なしで素早く視認・撮影。  
詳細点検前のスクリーニングなど、幅広く活用可能。

## 4.2 ドローンを用いた3Dモデル作成

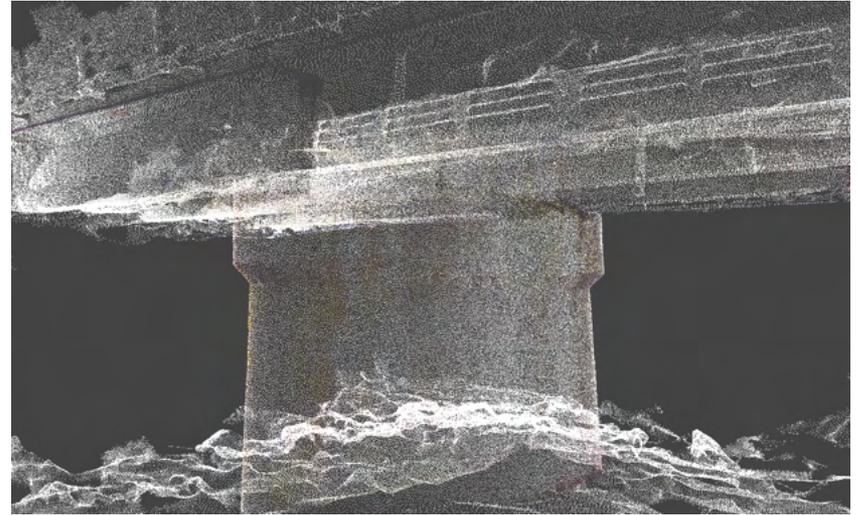
### ■撮影状況(動画)



### ■撮影データ(抜粋)



### ■点群データ化



### ■テクスチャ



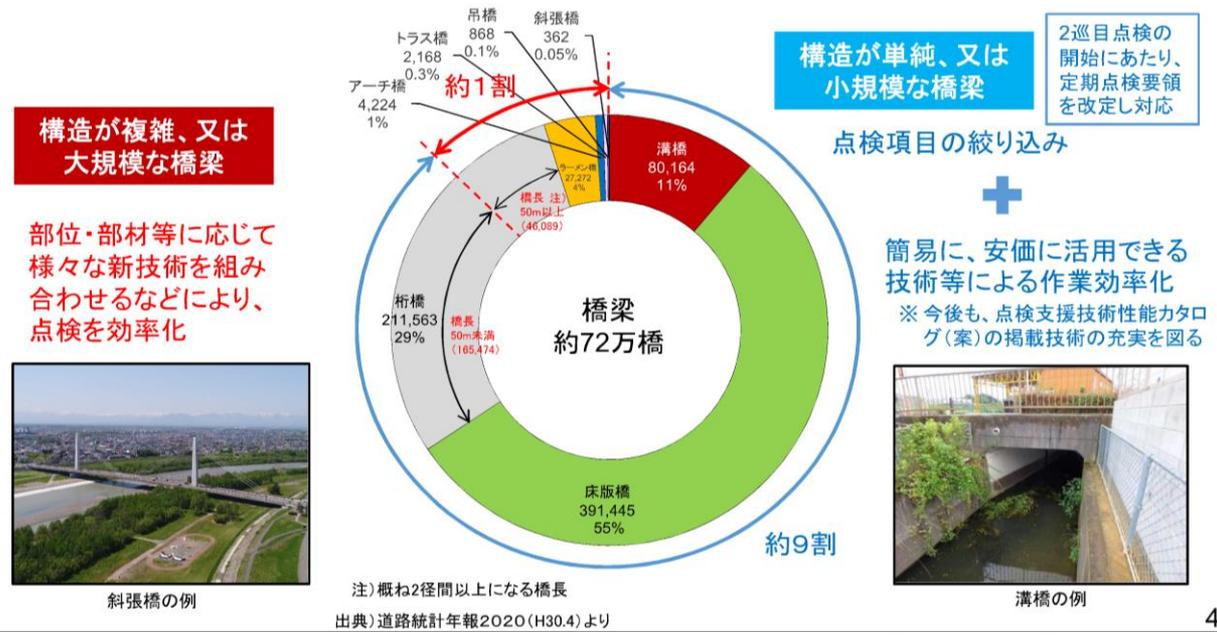
## 4.3 ドローンを用いた3Dモデル作成



# 4.4 360度カメラ撮影による定期点検支援技術

## 橋梁の内訳・現状

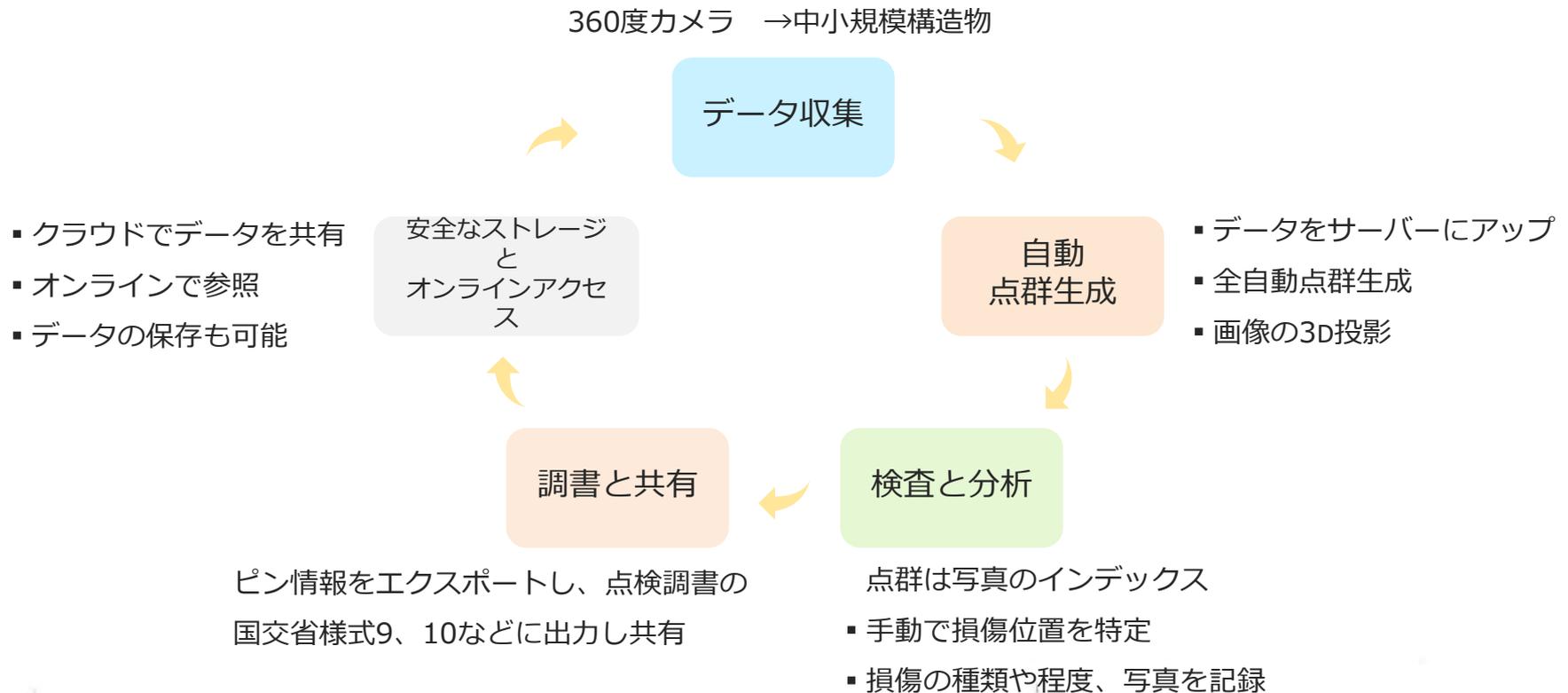
社会インフラの事例として、全国の道路橋は約72万橋あるが、そのうち約9割が、構造が単純、又は小規模な橋梁である



引用：道路メンテナンスに関する今後の検討事項について,国土交通省 第14回道路技術小委員会 (2020年11月)

## 4.5 360度カメラ撮影による定期点検支援技術

### 「360度カメラ撮影による定期点検支援技術」の流れ



# 4.6 360度カメラ撮影による定期点検支援技術

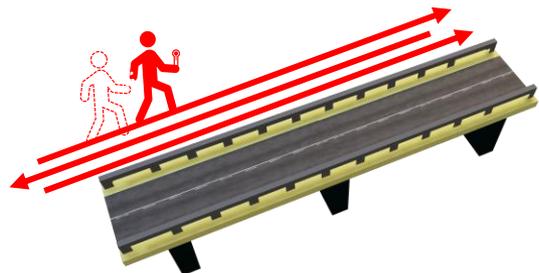
## データ収集方法

### 360度カメラの撮影手順

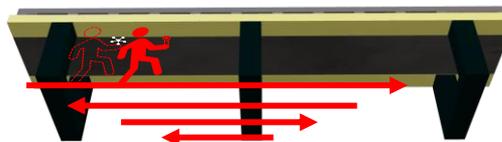
仮にこのような橋を想定した場合



360度カメラと作業状況



上面を往復して起点に戻る



下面も同様に数回往復して起点に戻る



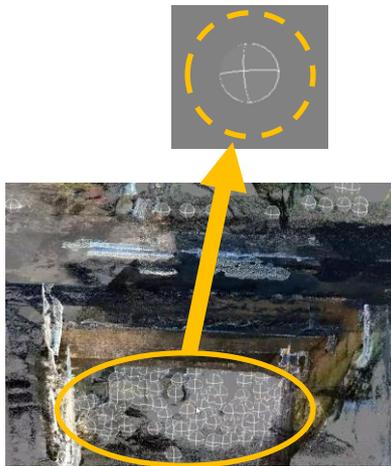
# 4.5 360度カメラ撮影による定期点検支援技術

## 点群データから損傷箇所の確認

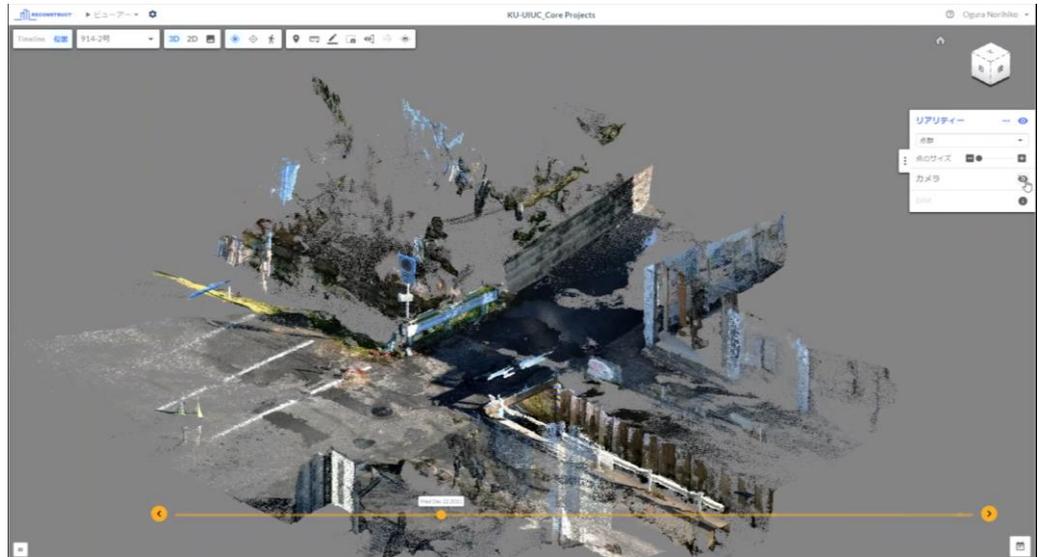
### 点群データから写真を確認し点検する

現場での目視点検に替えて写真から必要データを抽出する

点群データに写真が紐付けされており、任意の箇所で高解像度の写真を拡大して確認が可能である



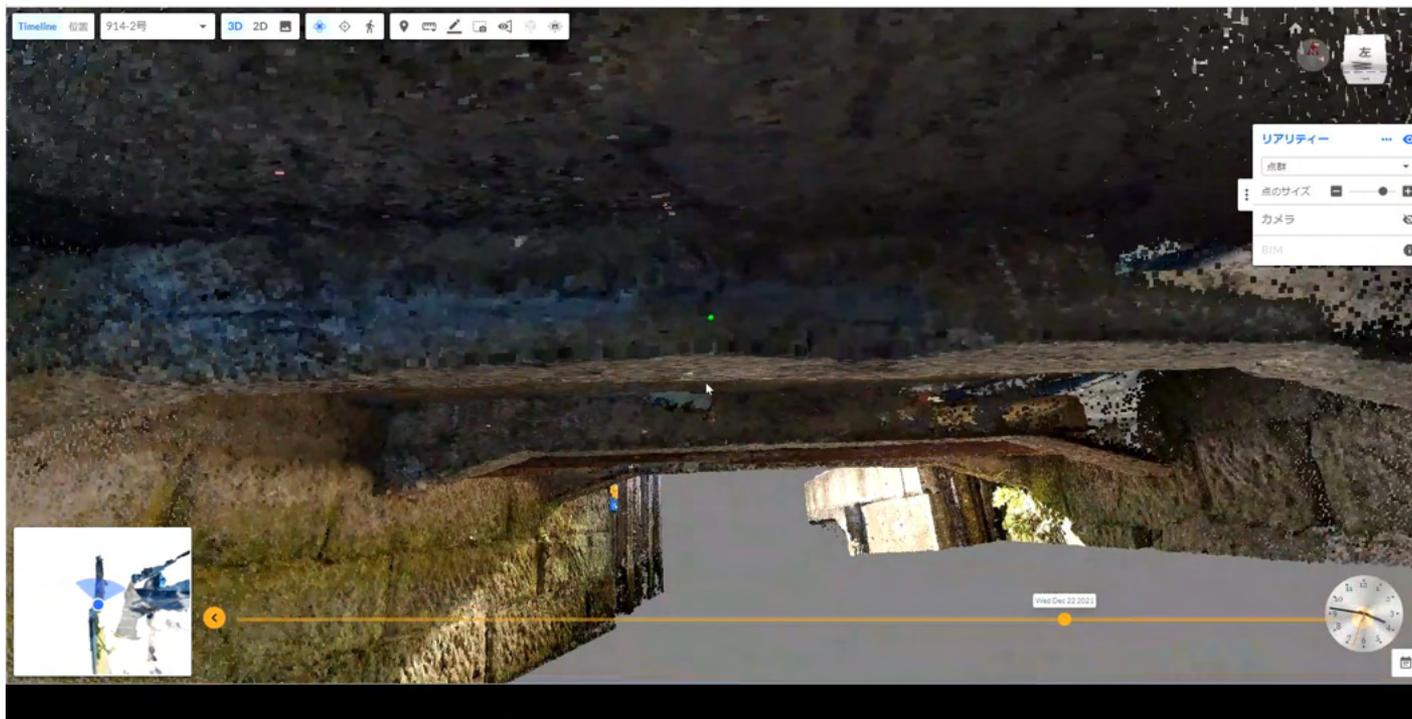
カメラのシャッターを切った箇所



## 4.7 360度カメラ撮影による定期点検支援技術

### 損傷箇所のマークアップ

点群データから部材の距離や角度、面積を計算することも可能



# 4.8 360度カメラ撮影による定期点検支援技術

## ピン情報をエクスポートして調書を自動作成

点群データに情報を与え、エクスポートする。その後、点検調書の国交省様式9、10が自動で作成され、ダウンロードできる（メールでリンクが送られてくる）

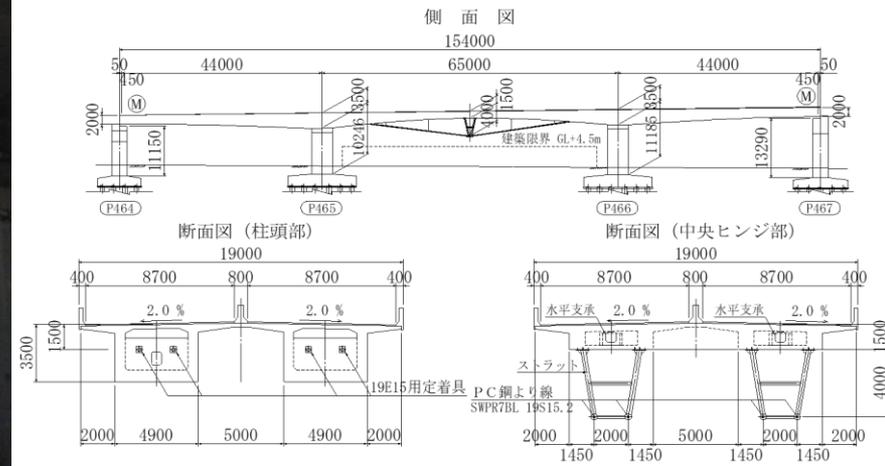
| 写真番号<br>Photo number |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1203.JPG             |                      |                      |                      |                      |                      |
| 種別<br>Category       | 種別<br>Category       | 種別<br>Category       | 種別<br>Category       | 種別<br>Category       | 種別<br>Category       |
| Crack                |                      |                      |                      |                      |                      |
| 種別<br>Category       | 種別<br>Category       | 種別<br>Category       | 種別<br>Category       | 種別<br>Category       | 種別<br>Category       |
| 1                    |                      |                      |                      |                      |                      |
| 写真番号<br>Photo number |
種別 Category	種別 Category	種別 Category	種別 Category	種別 Category	種別 Category
種別 Category	種別 Category	種別 Category	種別 Category	種別 Category	種別 Category



# PC上部工解体時の モニタリングシステム



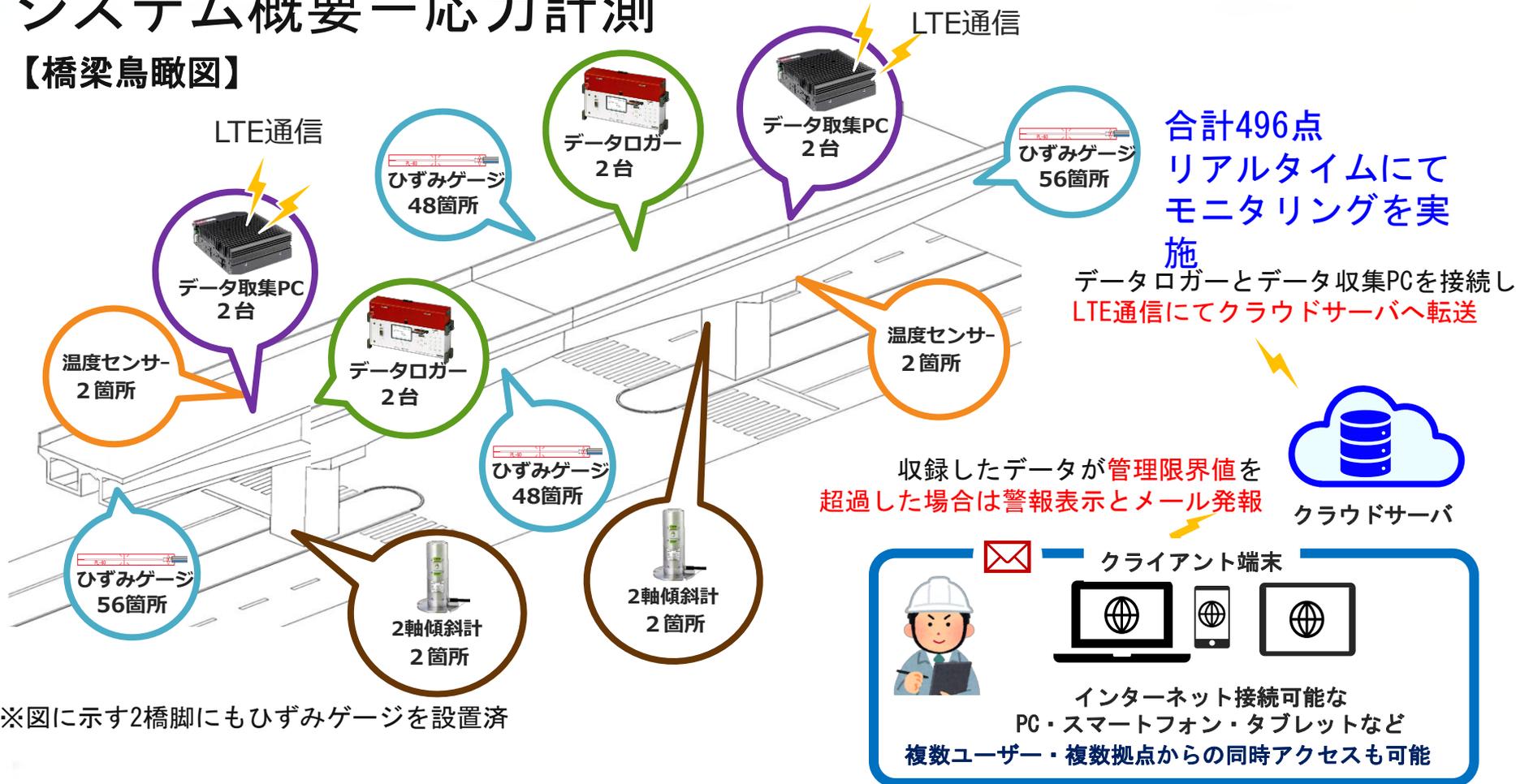
# 6.1 PC上部工解体時のモニタリングシステム



# 6.2 PC上部工解体時のモニタリングシステム

## システム概要ー応力計測

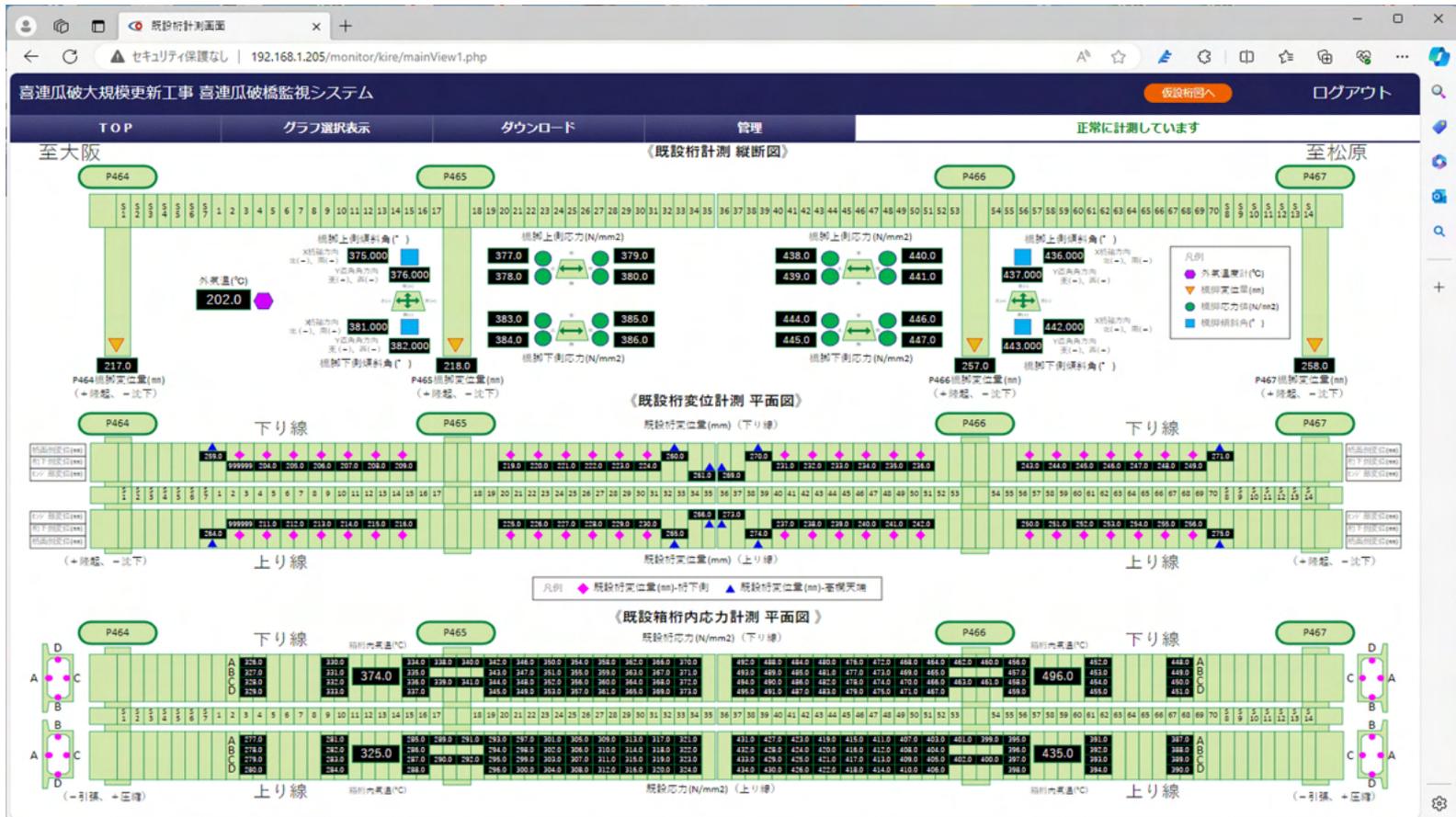
### 【橋梁鳥瞰図】



※図に示す2橋脚にもひずみゲージを設置済

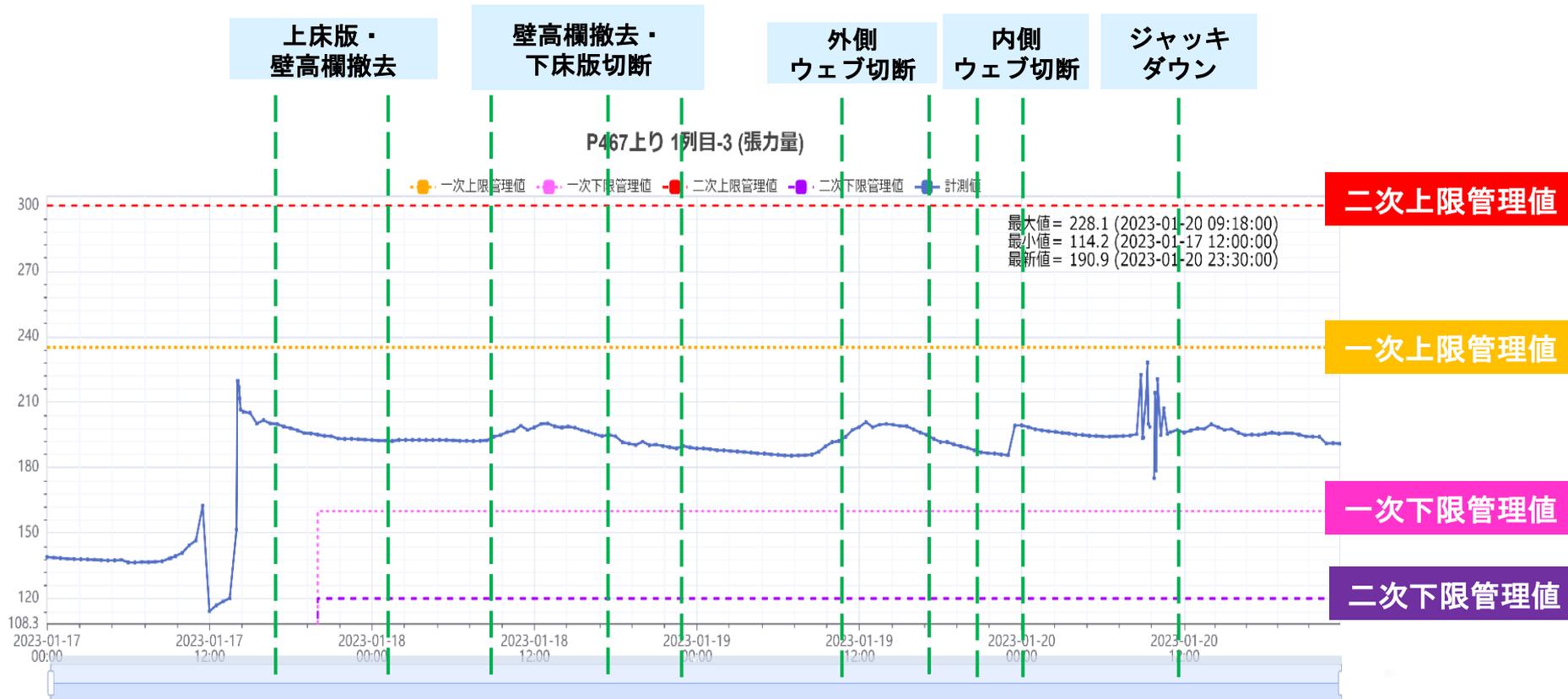
# 6.3 PC上部工解体時のモニタリングシステム

## モニタリングシステムのモニター(上部工断面解体の変遷)



# 6.4 PC上部工解体時のモニタリングシステム

## 各解体STEPにおける仮吊りPC鋼棒緊張力管理図



# おわりに

技術者の熱意と技量、十分な時間、適切なお金が必要です。

- 維持管理を適切に行うために、構造物の計画、設計、施工いずれもが大切です。
- 橋梁の維持管理に関する技術は、開発、改良の途上にあり、その継続が大切です。
- 適切な維持管理で**安全**で**サステイナブル**な社会を実現させましょう。

A decorative background featuring a sunburst pattern of light gray rays emanating from the top center, set against a white background. At the bottom of the image, there is a horizontal strip of vibrant green grass.

Thank you for your attention!

*<https://www.coreit.co.jp>*