

# PC構造物の健康寿命を延ばす 維持管理

はじめに

1. PC構造物の維持管理
2. PC構造物の変状
3. PC構造物の調査
4. PC構造物の診断
5. 対 策

おわりに

2

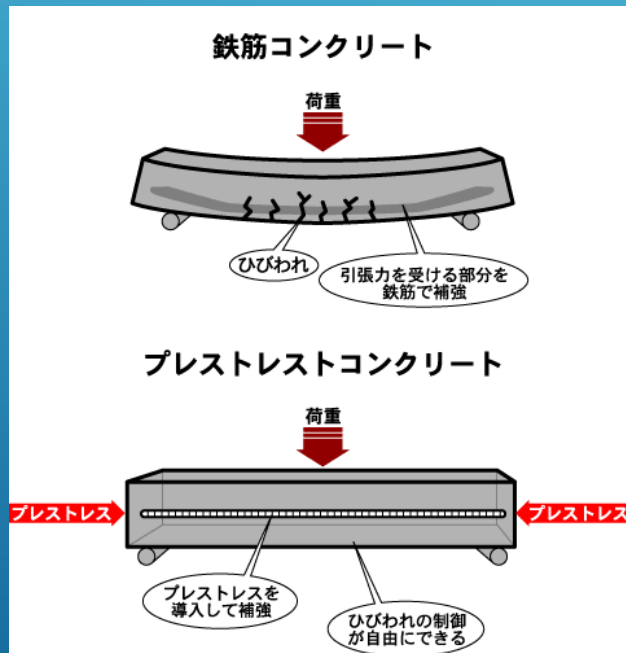
# はじめに

2013年制定 コンクリート標準示方書 維持管理編

- ▶ **維持管理編：標準 10章「プレストレストコンクリート」**として新設された。
- ▶ PC構造物特有の劣化に着目する。
- ▶ PC構造物の維持管理においては、構造物の重要度、構造形式、要求性能、予定供用期間、環境条件および**PC技術の変遷**を考慮する。
- ▶ 診断においては、PC構造物特有の劣化過程を考慮する。
- ▶ プレストレストコンクリート工学に関する知識と経験を有する**PC構造専門の技術者**が行う必要がある。
- ▶ PC構造物特有の劣化に対応した補修・補強工法を選定する。

# 1.1 PC構造物の維持管理

## プレストレストコンクリート PRESTRESSED CONCRETE



- ▶ ひび割れを発生させない（制御できる）
- ▶ W/Cの低い密実なコンクリートに圧縮力を導入する⇒外部からの劣化因子に対し高い抵抗性を有している。【高耐久性】
- ▶ 疲労破壊に対しても十分な安全性を有する。

## 1.2 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：施工目地の存在

PC構造に特有な劣化

- ①PC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施工目地を起点とした劣化

# 1.3 PC構造物の特徴

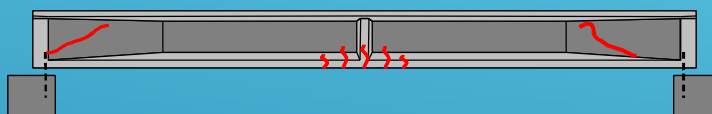
- ▶ 対象となるPC構造物の建設された時代の技術的特徴を理解した上で維持管理を行う。
- ▶ PC技術の変遷を考慮
  - プレストレストレベル ●技術指針類 ●材料
  - JIS規格 ●標準設計 ●施工技術 ●解析技術

旧建設省標準設計の変遷(ポストテンション方式PCTげた橋の例)

	昭和44年(1969年)制定	昭和55年(1980年)制定	平成6年(1994年)制定
主桁断面			
設計自動車荷重	20tf(195kN), 14tf(135kN)	20tf(195kN), 14tf(135kN)	245kN
適用支間	14~40m	20~40 m	20~45m
PC鋼材の種類*1	SWPR1 5mm (12本組) SWPR1 7mm (12本組)	SWPR1 7mm (12本組) SWPR7A 12.4mm (12本組)	SWPR7B 12.7mm (7本組) SWPR7B 12.7mm (12本組) SWPR7B 15.2mm (12本組)
場所打ち床版幅	60cm以下	65cm以下	73cm以下

## 2.1 PC構造物の変状

- ①PC部材に発生する曲げ、せん断ひび割れ  
プレストレスの減少？、耐荷力の低下？



過大な荷重载荷により  
生じた曲げひび割れ

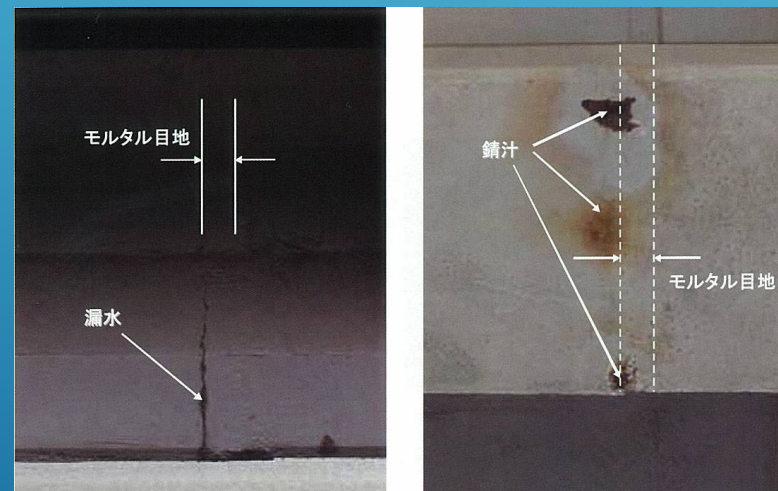


せん断ひび割れが生じたPCT桁

## 2.1 PC構造物の変状

### ③施工目地（セグメント目地）からの漏水

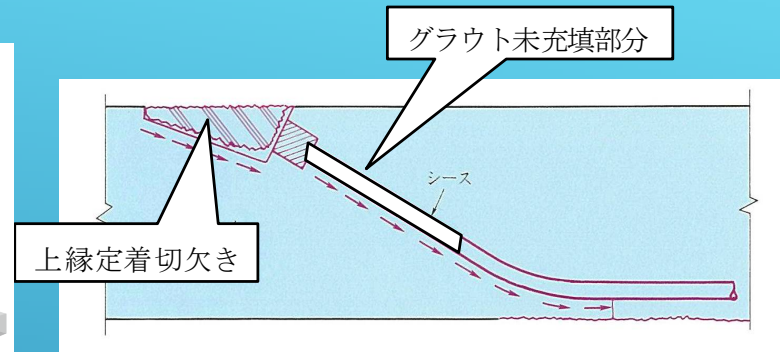
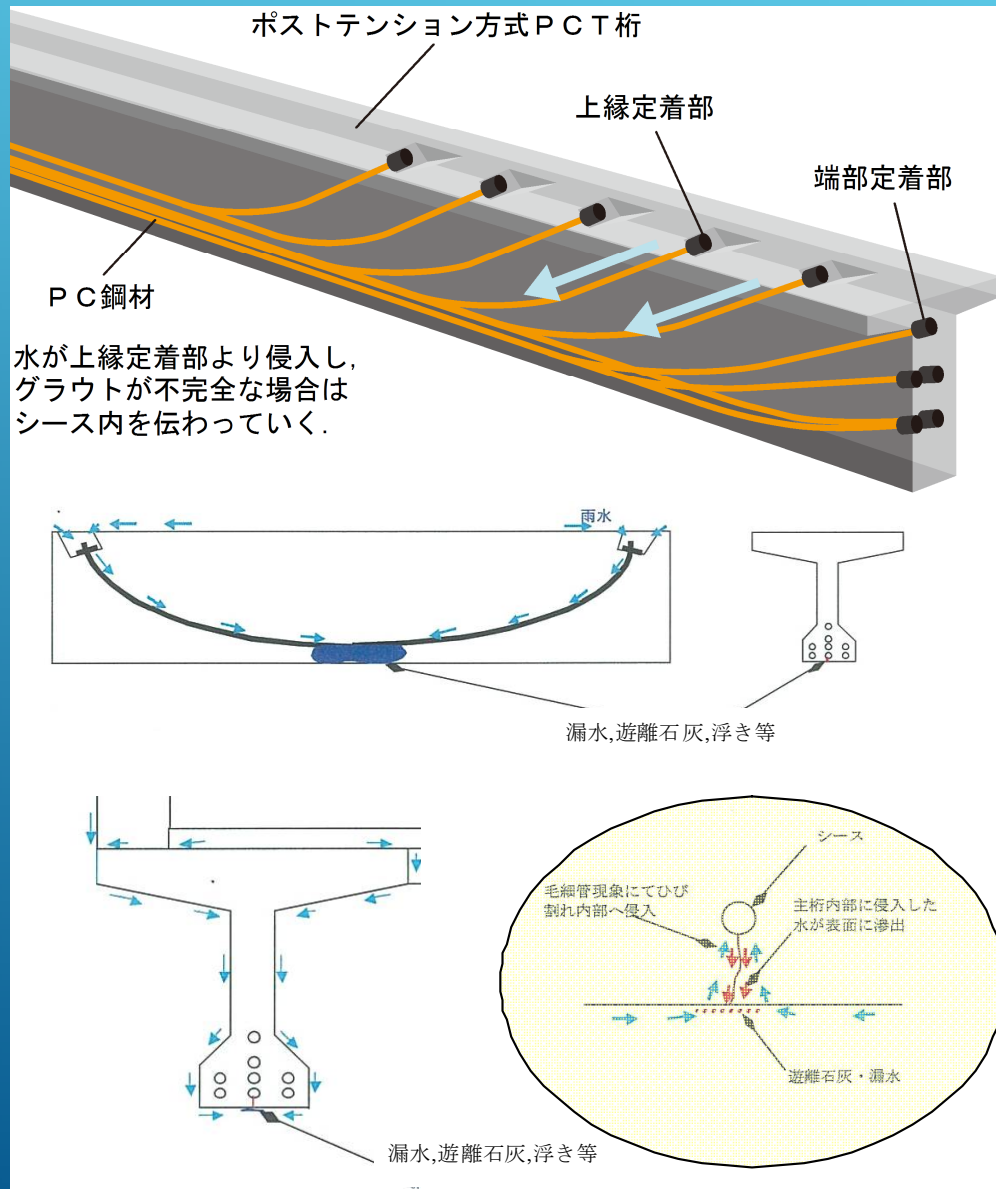
- PC鋼材の腐食~破断の危険性
- プレキャストセグメントの目地部は連続鉄筋が配置されていないため、PC鋼材の破断により落橋に至る場合がある。



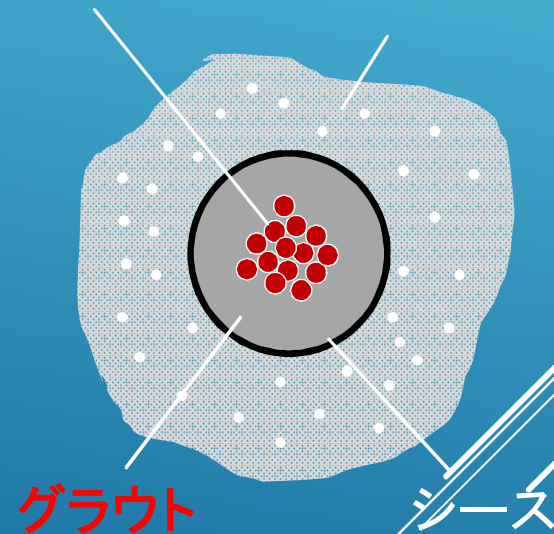
セグメント目地部の劣化



## 2.1 ポステンT桁の上縁切欠き部と水の浸入経路



PC鋼材      コンクリート



## 2.1 PC構造物の変状

②PC鋼材に沿ったひび割れやエフロレッセンス  
PCグラウト充填不良？

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

10

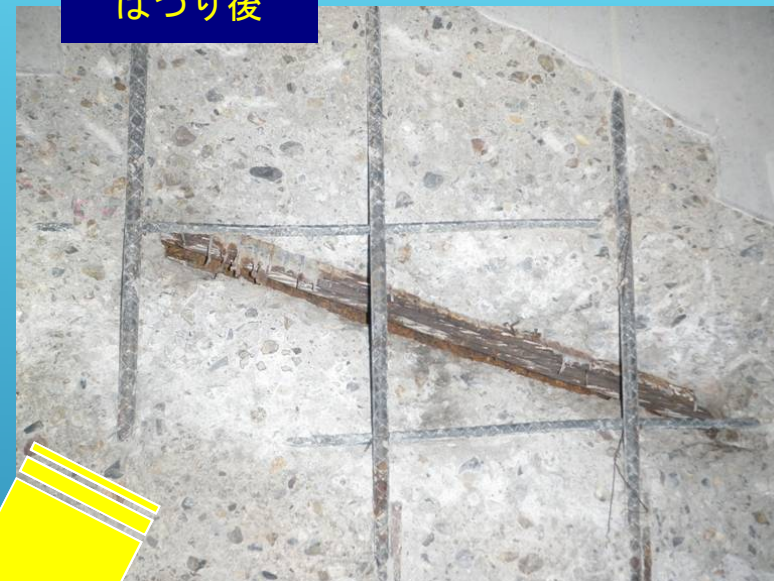


## 2.2 主ケーブルの破断事例

損傷状況



はつり後



## 2.4 横締めPC鋼材の破断

Prestressing steel bar



Prestressing steel bar



Prestressing steel bar



Prestressing steel strand





## 2.5 PC橋梁の落橋(その1)

Ynys-y-Gwas橋(1953年竣工)  
1985年10月 落橋 英国南ウエールズ



参考写真3:PC構造物の維持保全 (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

- ・ポストテンション方式のセグメント橋(ブロック桁)
- ・セグメント目地にはモルタルを使用
- ・凍結防止剤の使用、内在塩分によりPC鋼材が腐食・破断

## 2.5 PC桥梁の落橋(その2)

島田橋(1963年竣工)

1990年7月落橋 岐阜県町道下田瀬1号線



- ・ゲルバー式PC斜張橋
- ・PC斜材の腐食・破断により落橋
- ・点検を実施していなかった

写真: 岐阜大名誉教授小柳先生

# 3. PC構造物の調査

## 3.1 PCグラウト調査

		削孔法	IEWP法	インパクトエコー法	X線透過法	広帯域超音波法
非破壊／破壊		破壊	非破壊	非破壊	非破壊	非破壊
判定		目視	波形解析		写真	波形解析
適用		主ケーブル・横締めケーブル	横締めケーブル	主ケーブル・横締めケーブル	主ケーブル	主ケーブル・横締めケーブル
長所		・正確	・簡便に実施できる	・簡便に実施できる	・判定が正確	・簡便に実施できる
短所		・ドリル削孔を必要とする	・判定に技術を要する ・横締めケーブル専用	・判定に技術を要する ・深さ、シース径に適用限界がある	・長時間 ・部材厚さに適用限界がある	・判定に高度な技術を要する ・装置が大きい ・高コスト
評価	Main girder	Good	Notgood	Excellent	Acceptable	Acceptable
	Cross beam	Good	Excellent	Acceptable	Acceptable	Not good
	Bridge deck	Good	Excellent	Acceptable	Not good	Not good



Drilling method



X-ray radiography



Ultrasonic method



Impact elastic-wave method

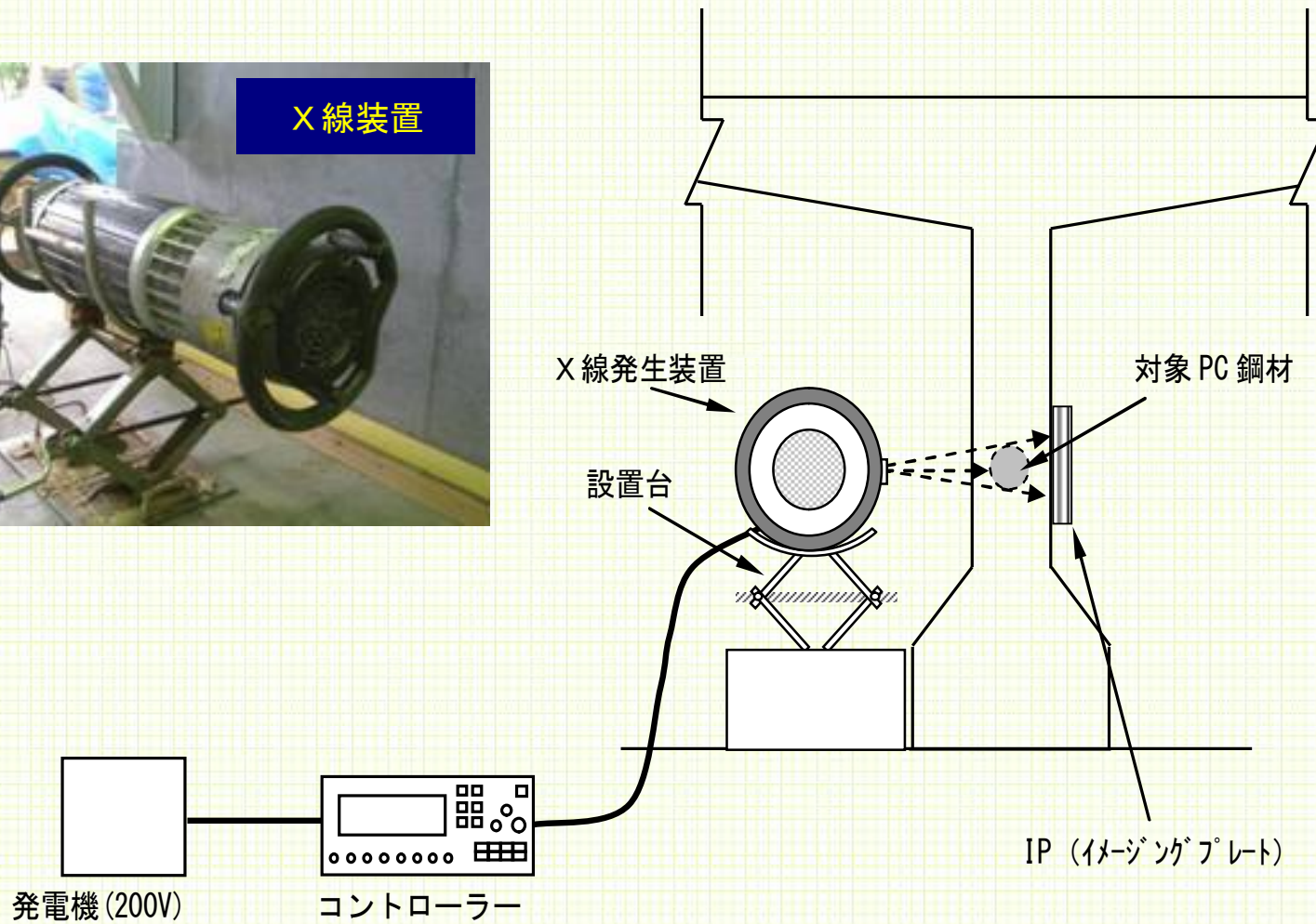


Impact-echo method



# 3.1 PCグラウト調査 X線透過法

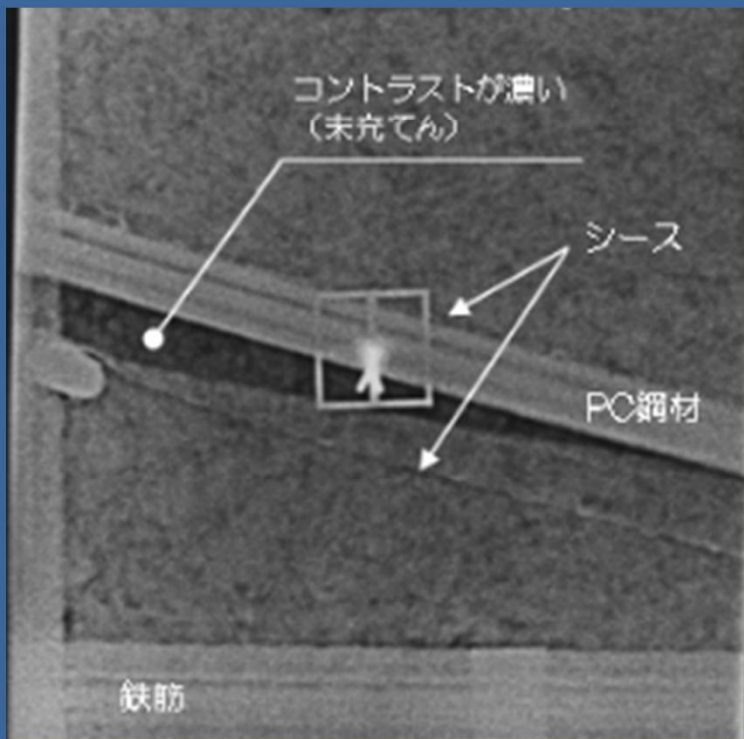
X線透過法概念図





# 3.1 PCグラウト調査 X線透過法

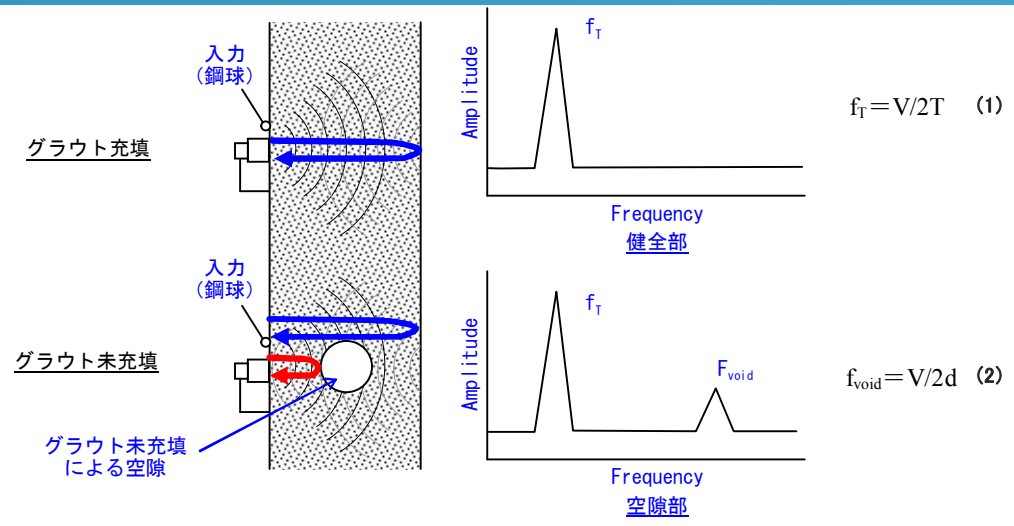
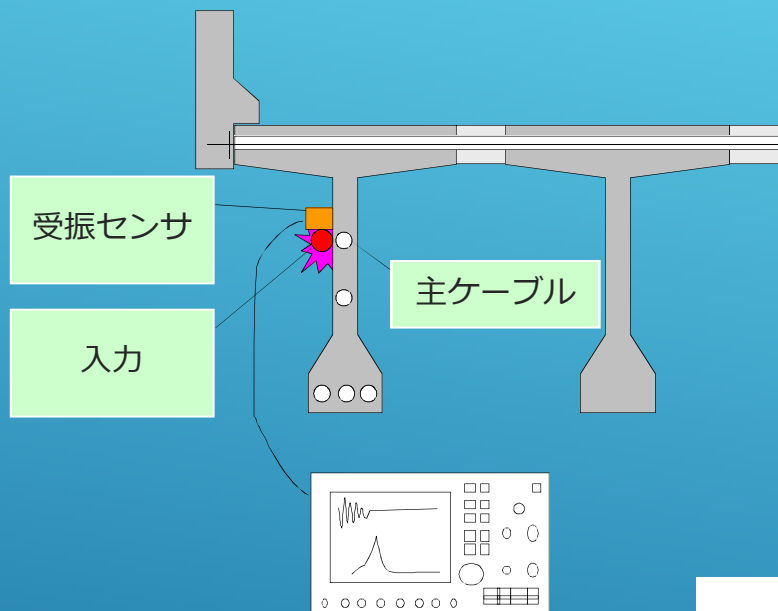
グラウト充填不足



グラウト充填

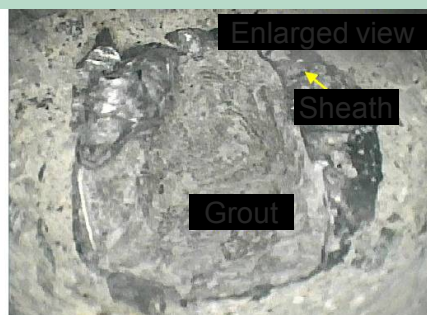
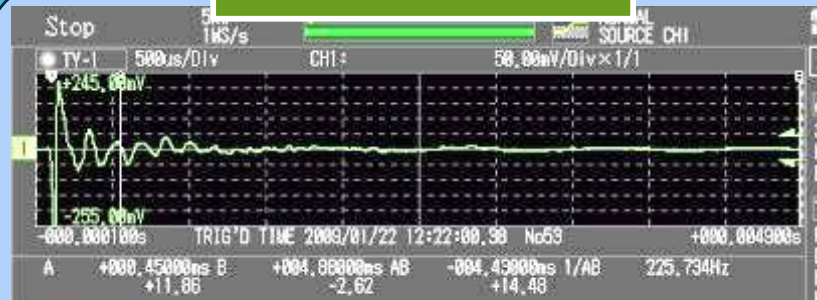


# 3.1 PCグラウト調査 インパクトエコー法



# 3.1 PCグラウト調査 インパクトエコー法【評価】

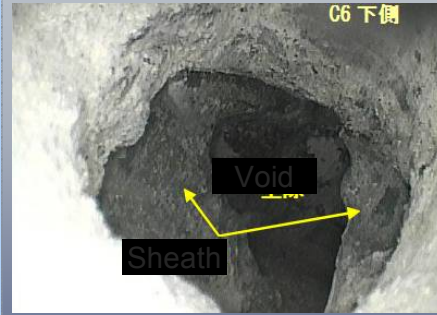
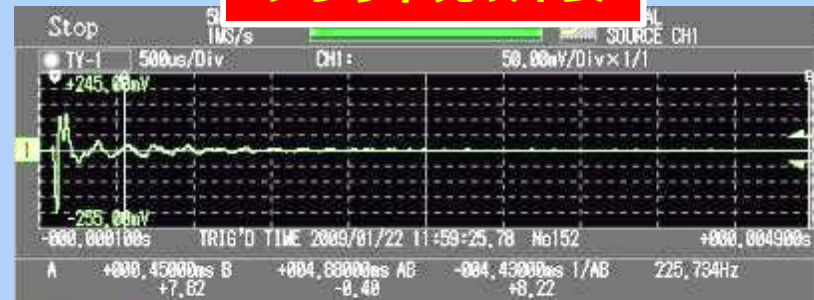
グラウト充填



削孔+CCD 充填確認

卓越したピークが1つ認められる

グラウト充填不良

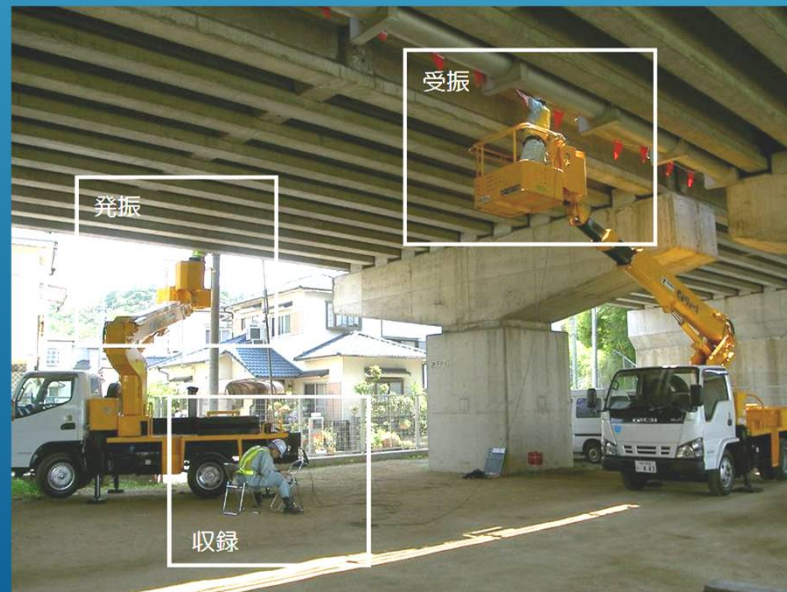
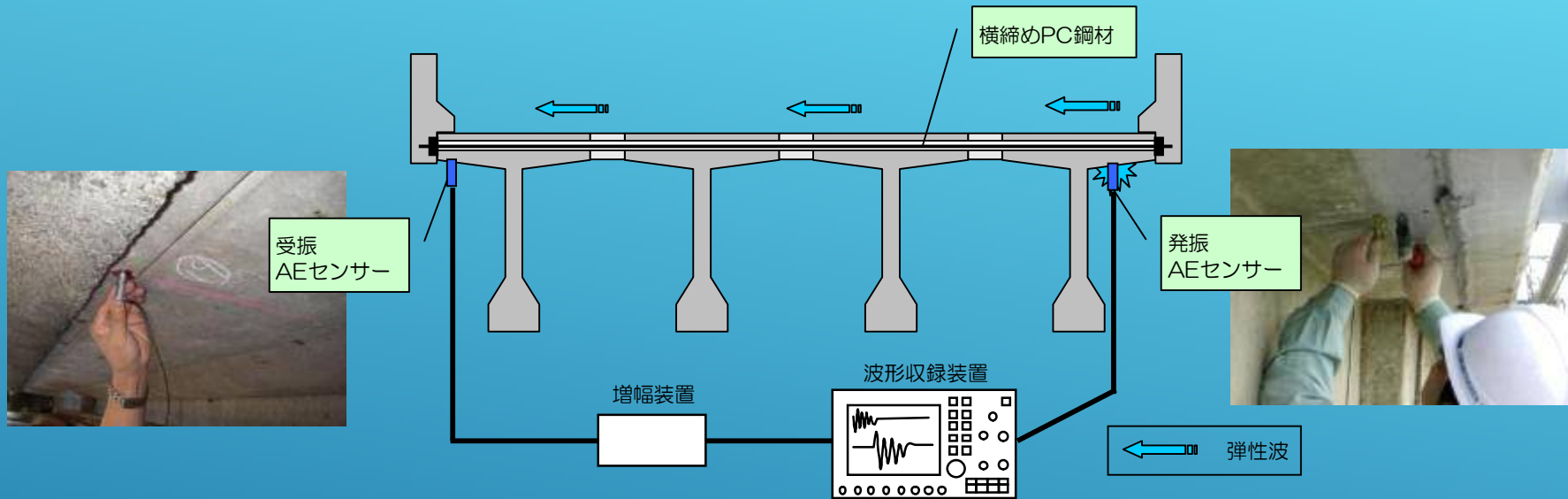


削孔+CCD 充填不良

卓越したピークが2つ認められる

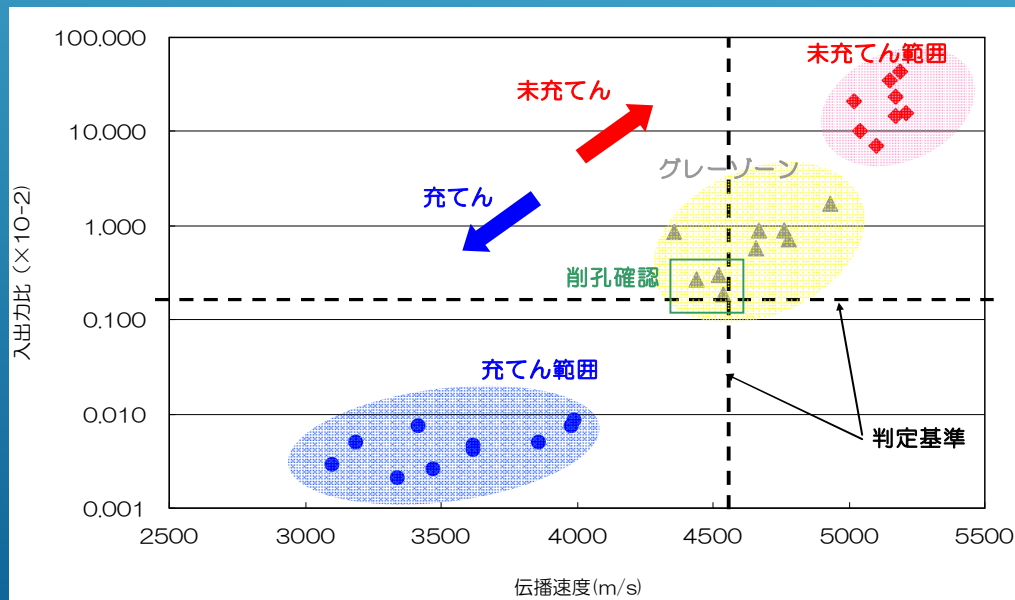
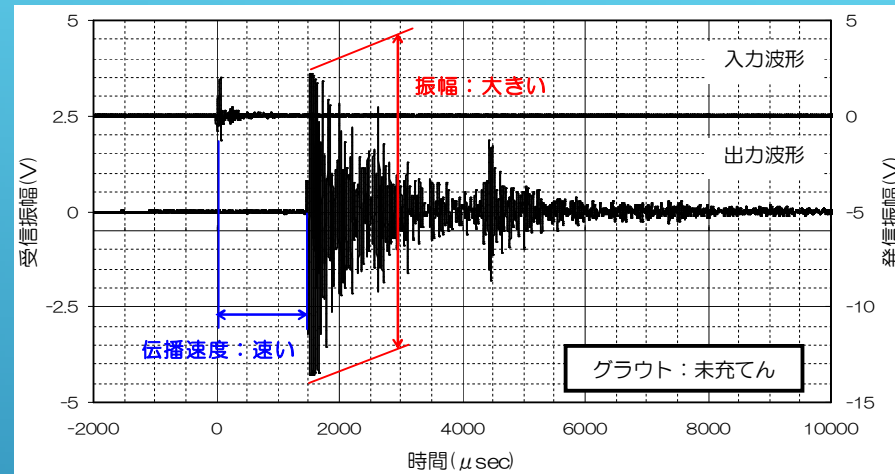
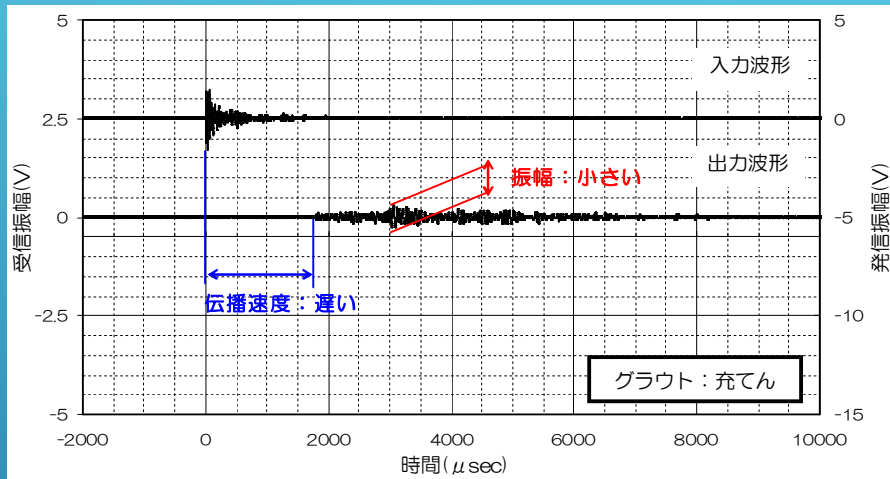


# 3.1 PCグラウト調査 IEWFP法【横締め衝撃弾性波法】



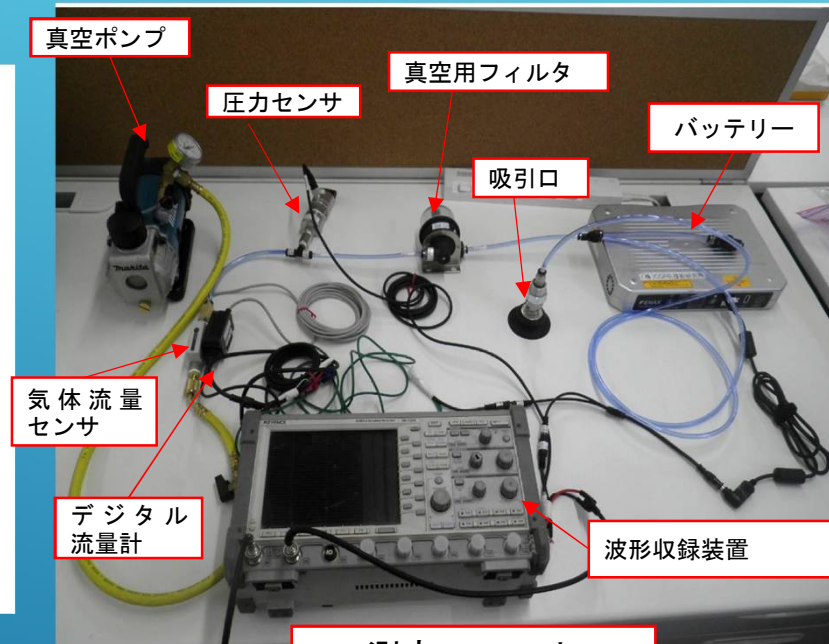
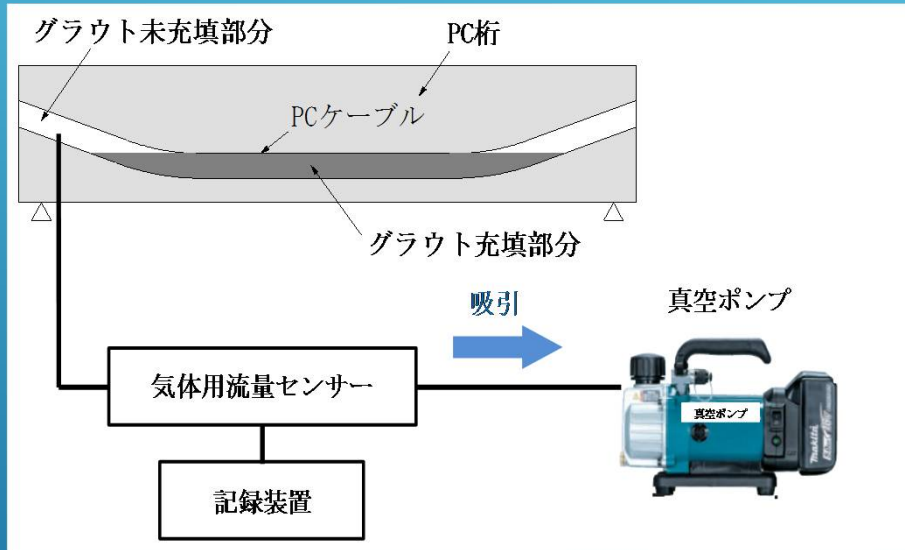
# 3.1 PCグラウト調査 IEW法【横締め衝撃弾性波法】

## 評価方法



# 3.1 PCグラウト調査 真空法

目的：グラウト未充填部分の空隙体積を推定する



圧力補正

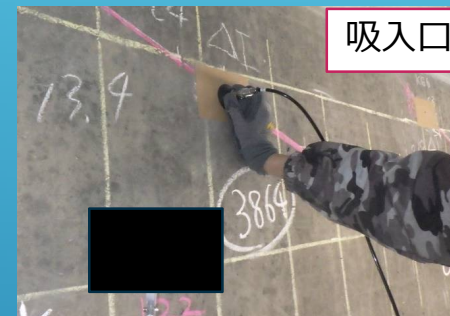
$$V = V_0 \frac{P_0}{(P + \Delta PT)}$$

漏気による補正（漏気が無い場合は“0”）

- V：圧力補正後の空隙部の体積(ℓ)
- V<sub>0</sub>：流量計値(ℓ)
- P：測定終了時のゲージ圧(MPa)
- P<sub>0</sub>：標準気圧(MPa)
- ΔP：単位時間当たりの圧力上昇(MPa/s)
- T：測定時間 (s)

## 3.1 PCグラウト調査 真空法

目的：グラウト未充填部分の空隙体積を推定する





## 3.2 有効プレストレスの推定

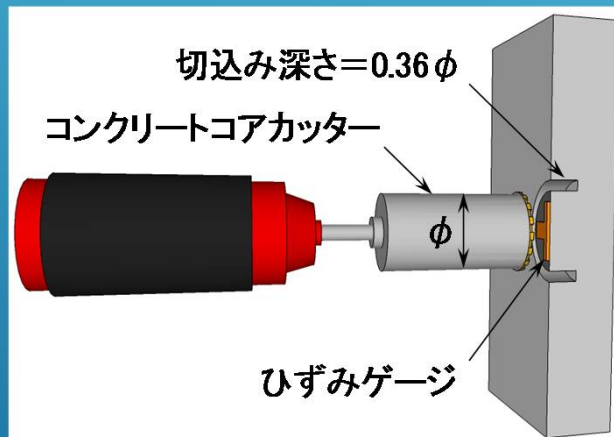
調査項目	調査手法の例		評価内容の例
プレストレスの状態	コア切込み法	2方向のひずみゲージを貼り付け、コアを切り込むことによって解放されるひずみを測定する。	調査位置における乾燥収縮、クリープひずみの影響を消去し、応力を推定する。
	スリット法	コンクリートを部分的に切削し、応力解放した際のひずみを光学的ひずみ計測装置により測定する。	撮影した範囲内の任意の位置・方向のひずみを画像解析し、応力を推定する。
	フラットジャッキ法	PC部材に切削した溝にフラットジャッキを挿入し、応力の開放によって生じた変形量を復元させるために要する圧力を測定する。	調査位置におけるプレストレスを直接的に評価す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



## 3.2 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

2方向に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。



切り込み深さ = φ50mm × 0.36 = 18mm  
= φ100mm × 0.36 = 36mm

$$\sigma_{x,e} = -E_{x,c} \cdot \Delta\varepsilon_{x,e}$$

$$\Delta\varepsilon_{x,e} = \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{1 + \nu} - \Delta\varepsilon_{x,cr} - \Delta\varepsilon_{x,sr} + \Delta\varepsilon_{y,sr}$$

$\varepsilon_x$  : x方向ひずみ       $\varepsilon_y$  : y方向ひずみ

$\nu$  : コンクリートのポアソン比

$\Delta\varepsilon_{x,cr}$  : クリープひずみの鋼材拘束によるx方向応力が解放されるときx方向の弾性ひずみ

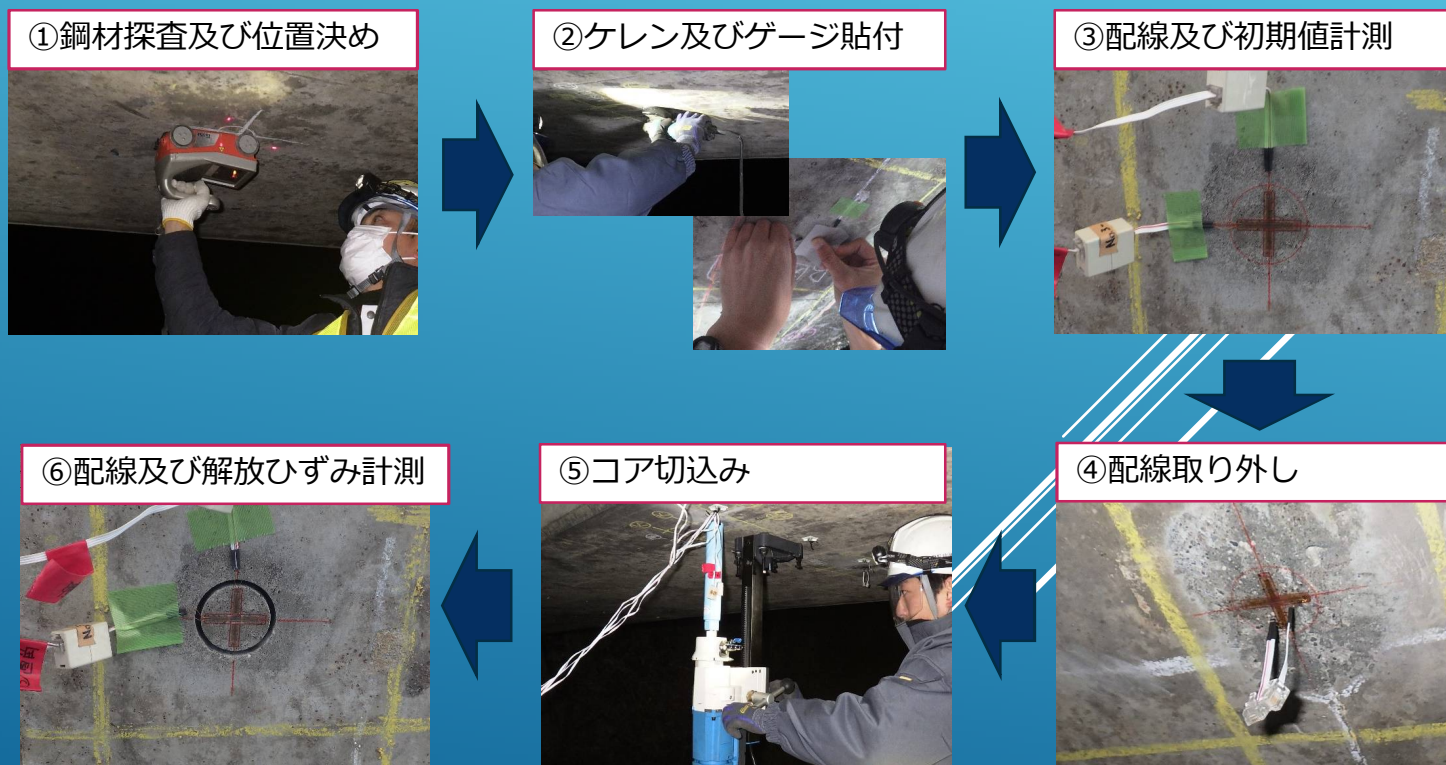
$\Delta\varepsilon_{x,sr}$  : 乾燥収縮ひずみの鋼材拘束によるx方向応力が解放されるときx方向の弾性ひずみ

$\Delta\varepsilon_{y,sr}$  : 乾燥収縮ひずみの鋼材拘束によるy方向応力が解放されるときy方向の弾性ひずみ

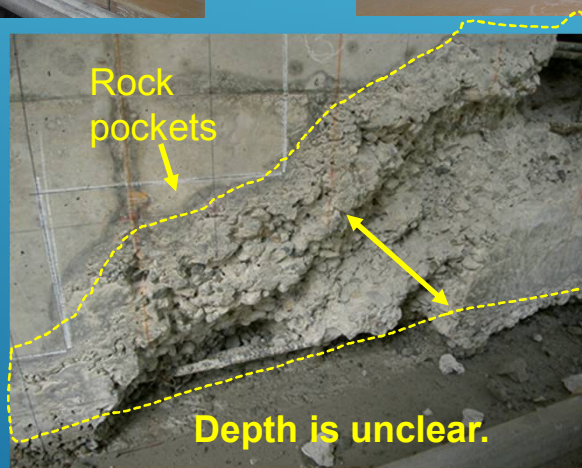
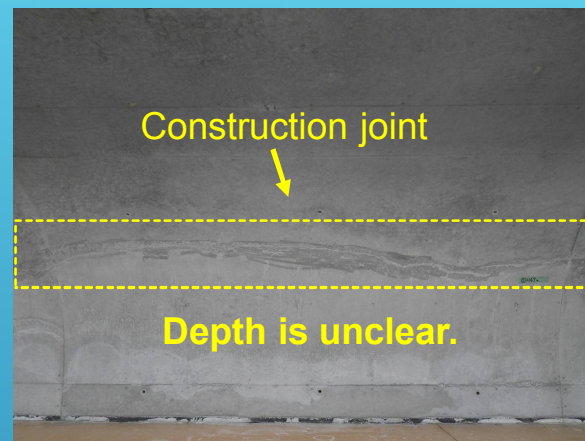
$E_{x,c}$  : x方向のコンクリートの弾性係数

## 3.2 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



### 3.3 コンクリート内部欠陥の調査



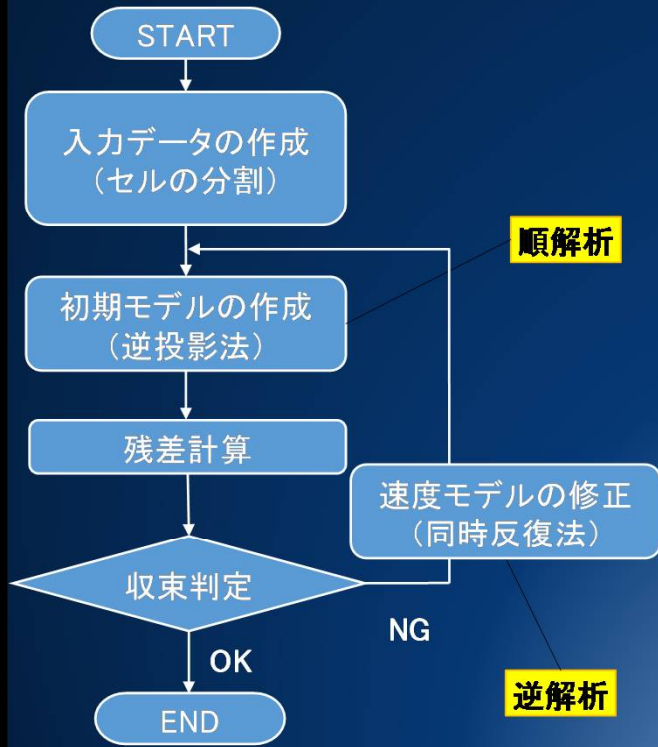
内部欠陥を非破壊検査で調査する必要がある  
⇒ 超音波透過法により内部欠陥を評価する【可視化する】



# トモグラフィ調査

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

## 解析フロー



## 対象物の選定



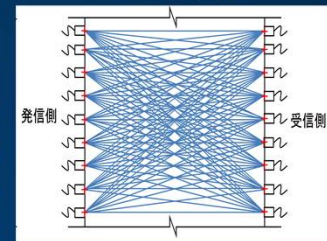
●ASR部やジャンカ部等

## セルの分割

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64
65	66	67	68	69	70	71	72

●8×9分割イメージ図

## センサ取付



●断面図



●側面図

## 順解析と逆解析

発振点から受振点に至る**弾性波の伝播経路を再現し、その到達時間を計算によって算出するもの**

●順解析 (Raytracing-レイトレーシング)

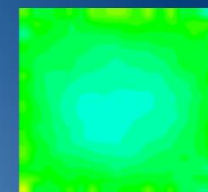
計算にて求められた伝播時間と測定された伝播時間との差(残差)を小さくするように、弾性波伝播速度を修正し、最適な速度を算出するもの

●逆解析 (Inversion-インバージョン)

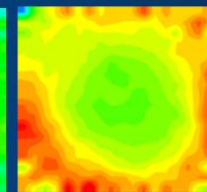
## トモグラフィ結果

健全部と比較し、劣化している試験体の方が**赤く表示される範囲が多い**ため、**損傷程度が高い**

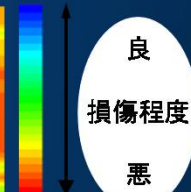
コンクリート**表層側**の劣化が大きく、徐々に内部側へ劣化が進行していることがわかる



●健全部



●劣化部



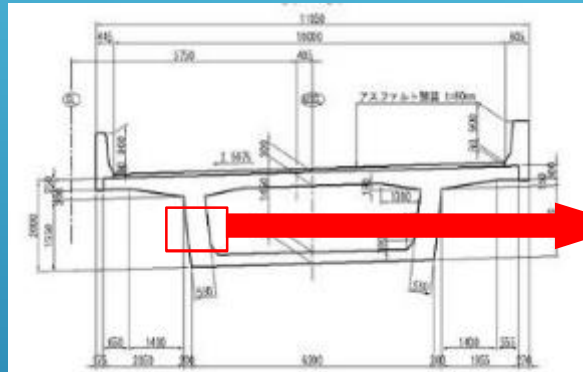
28/56

# トモグラフィ調査

## 透過によるトモグラフィー法 -調査事例-

部材を透過  
内部の状況を確認

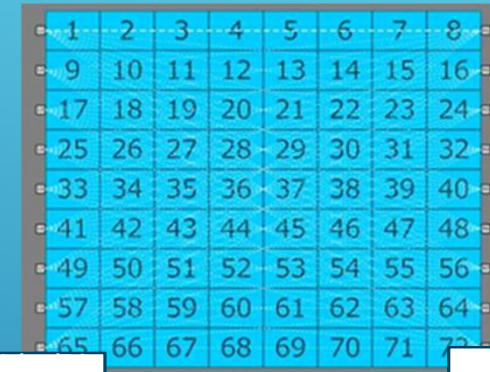
トモグラフィ解析



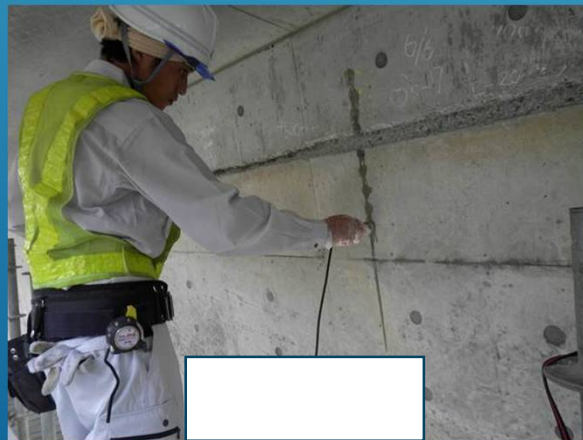
対象構造物



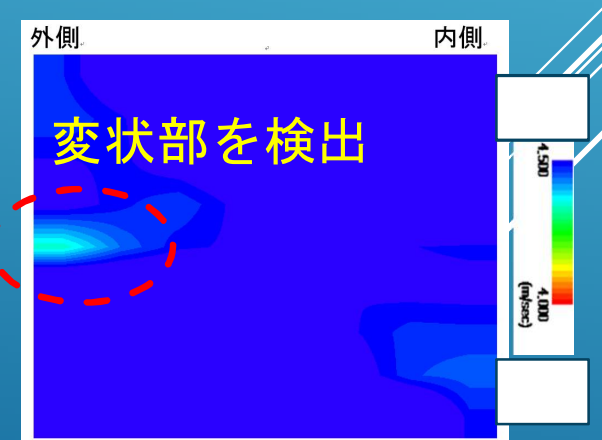
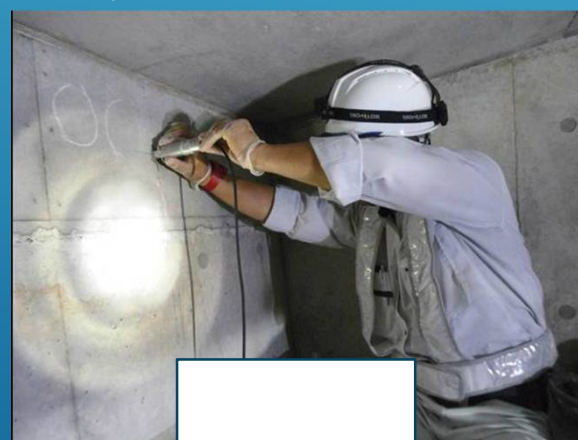
変状(ジャンカ部)



メッシュ分割



調査状況



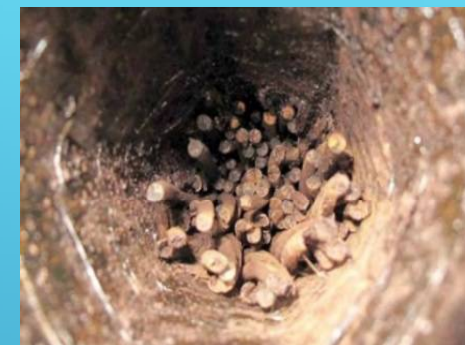
解析結果



# 弾性波トモグラフィ手法の適用事例

## ■ PCグラウトの未充填部検知

プレストレストコンクリートのグラウトの未充填部の検出のため透過弾性波を利用した点検手法を開発，適用。

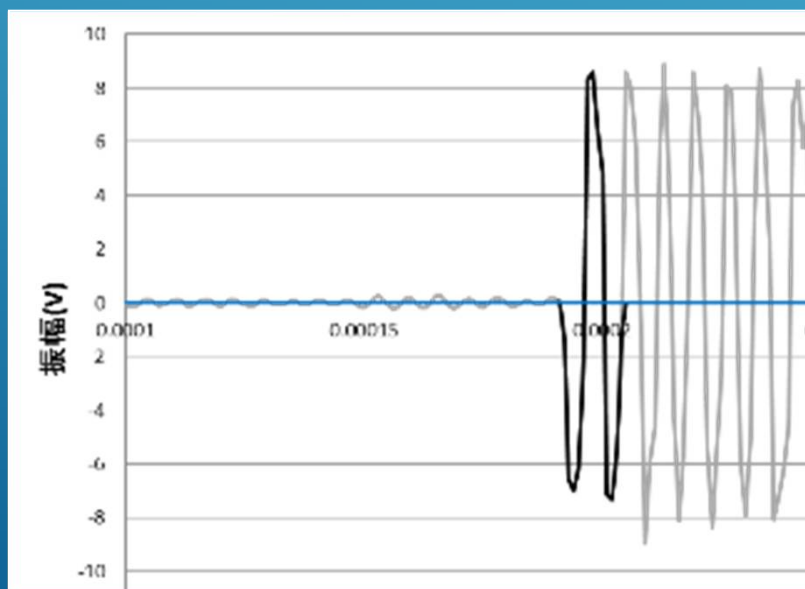


## ■ 着目弾性波パラメータ

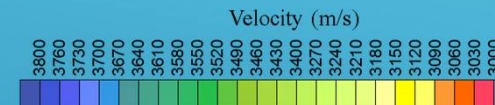
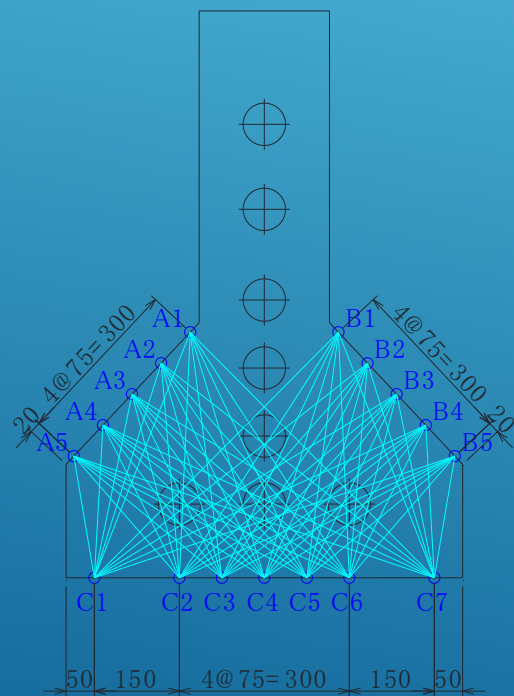
- ✓ 到達時間（弾性波速度）
- ✓ パワースペクトル比（減衰）
- ✓ スペクトル重心

適用方法

トモグラフィ結果

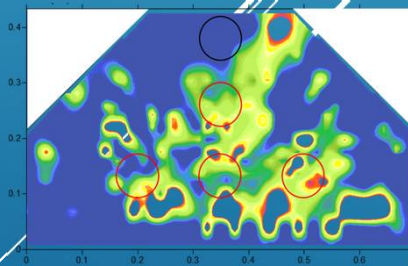
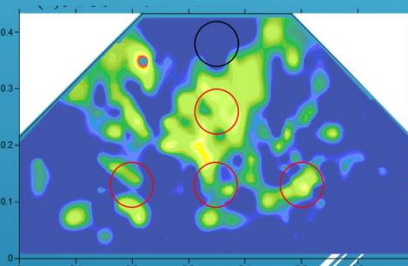


弾性波の初動の特性に着目



充填

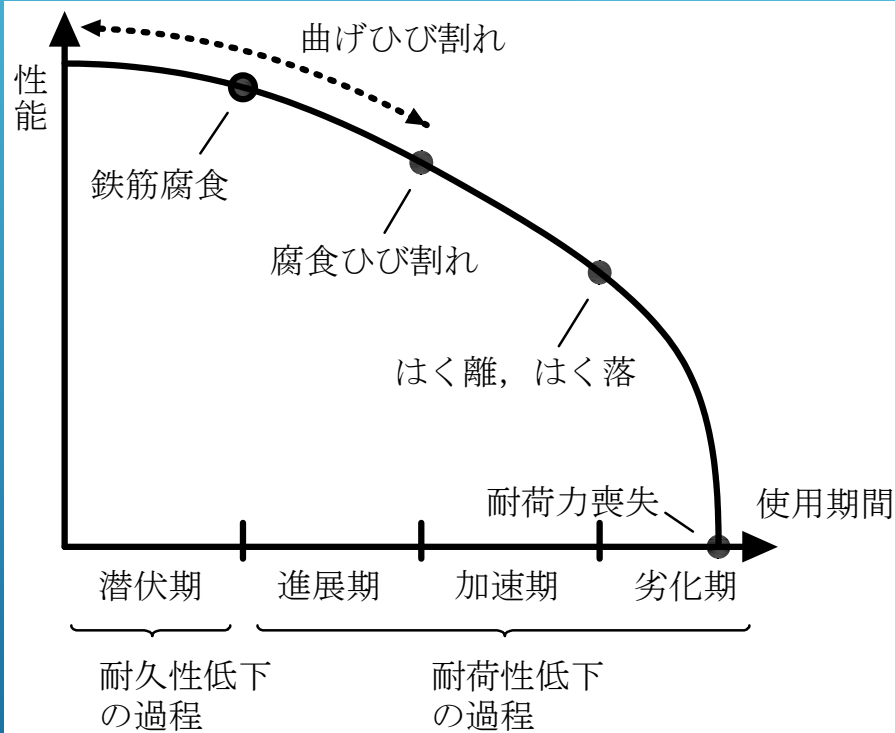
未充填



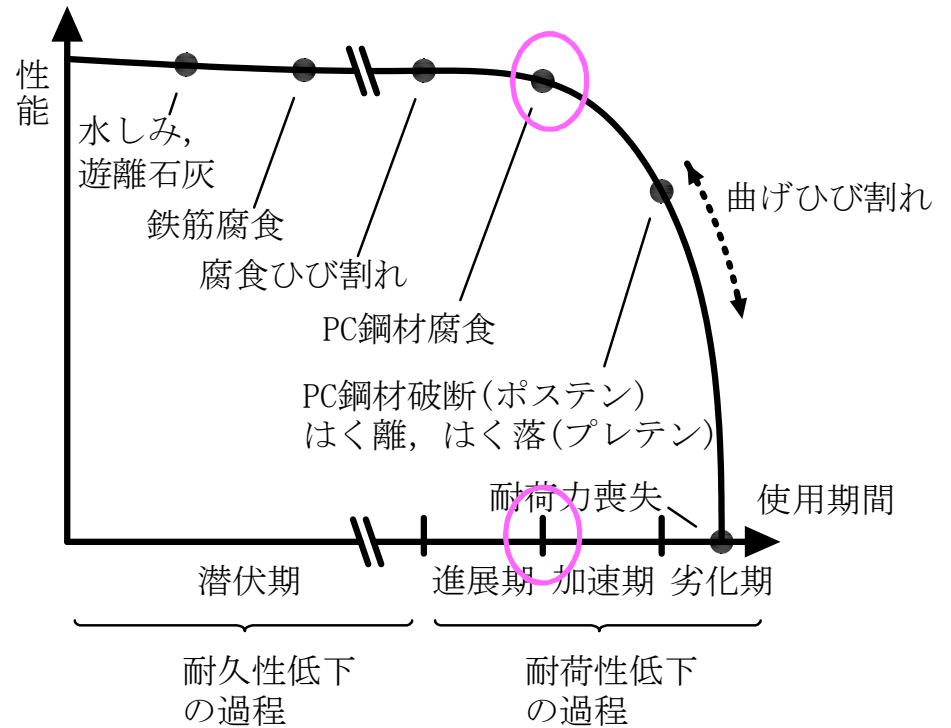
## 4.1 PC構造物の診断

- ▶ PC構造は、PC鋼材の腐食が生じると耐力の低下が急激に起きる。
- ▶ 安全性の定量的な評価が難しい。
- ▶ PCグラウト充填の良否を考慮に入れた評価を行う。

# 4.1 PC構造物の診断



(a) RC構造物の場合



(b) PC構造物の場合

RC構造とPC構造の劣化過程の概念図



# 劣化機構の推定および予測

## 構造特性が耐力に及ぼす影響要因の例

項目の例	影響要因の例	着目事項の例
上部構造	構造形式：単純桁，連続桁，ラーメン 断面形式：I桁・T桁・ホロー桁，箱桁，中空床版	断面力再分配の違い
プレストレス	導入方法：プレテンション方式，ポストテンション方式 PC鋼材配置：内ケーブル方式，外ケーブル方式	グラウトの有無や維持管理のしやすさ
桁製作方法	場所打ち，プレキャスト	目地部の有無
PC鋼材	PC鋼線，PC鋼より線，PC鋼棒	腐食破断の違い
定着具の位置	上縁定着，端部定着	水の浸入のしやすさ
橋面防水	有，無	水の供給量の違い
桁支間規模	小支間（30m程度以下），中支間（30～60m），長支間	曲げひび割れの発生時期
損傷部位	プレキャスト桁：桁，間詰め 箱桁：床版，ウェブ，下床版	剛性や耐荷力の低下度合い
構造設計	解析方法：棒理論や版理論に基づく方法，静的弾性解析（微小変形理論による骨組み解析，FEM解析），静的非線形解析，動的非線形解析 照査方法：PCとPRC，クリティカル断面とそれ以外の断面	耐荷力の余裕量の違い

# 5. 対策

## 5.1 補修および補強

PC構造物における対策の選定例(その1)

対策の種類		対策の方法	予防的 な対策	事後的 な対策
PC鋼材劣化 に関する対策	塩害対策	表面保護	○	
		電気防食	○	
		脱塩工法	○	
		断面修復		○
	水の浸入対策	防水工	○	○
		排水工・漏水防止工	○	○
	モニタリング	塩分モニタリング	○	
		腐食(電位等)モニタリング	○	
耐久性に 関する対策	防食対策	表面保護	○	
		PCグラウトの再注入	○	
	モニタリング	外観観察(コンクリートの表面状態等) ひび割れ観測	○	

# 5.1 補修および補強

対策の種類		対策の方法	予防的な対策	事後的な対策	
耐荷力に関する対策	コンクリート部材の交換	打換え, 取替え工法	○	○	
	コンクリート断面の増加	増厚工法 コンクリート巻立て工法	○		
	部材の追加	縦桁増設工法	○	○	
	支持点の追加	支持工法	○	○	
	補強材の追加	鋼板接着工法 連続繊維工法 鋼板巻立て工法 連続繊維巻立て工法	○		
	プレストレスの追加	外ケーブル工法	○	○	
	耐震性の確保	落橋防止構造の設置など	○		
	支承機能の保全	鋼製支承の補修		○	
		支承の取替え		○	○
モニタリング	たわみ, 振動, 支承の移動量, 車両大型化や車両通行量の増大の観測		○		

## 5.2 対策における留意点

- ▶ PC構造に適切な対策を選定する.
- ▶ 選択した補修・補強工法によっては、**プレストレスの分布が大きく変化**する事がある.
- ▶ 施工中の十分な管理と施工後の適切な検査が必要となる.

# 高機能補修材料の紹介

## ひび割れ自己治癒機能を有する補修材料

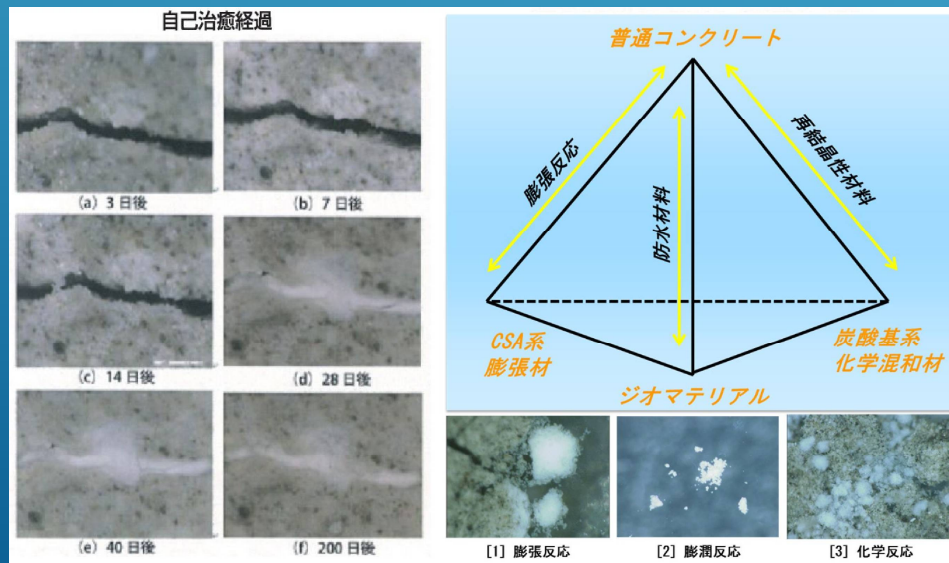
東京大学生産技術研究所、東京地下鉄(株)、(株)SERIC JAPANで共同開発された「自己治癒機能」を有する補修材料の適用を提案。

### ①漏水補修材料「Power-Healing」:

漏水補修時に使用する止水材、急結材、断面修復材料にひび割れ自己治癒機能を付加した材料。地下鉄トンネル環境下での実績もあり。

### ②簡易ひび割れ補修材「Crackey」:

0.2mm以下程度の軽微なひび割れに対し、簡易に補修ができる「スティック状」の補修材料。点検や調査時に、簡易な補修に使用。



Power-Healing



Crackey



# 4. 高機能補修材料の紹介

## 4.2 油類吸着型ひび割れ自己治癒補修材料

### 油類吸着型漏水補修材料「Power-Healing-A0」:

前述のひび割れ自己治癒補修材料に、油類吸着材を添加した、新たな自己治癒補修材料

石油タンクや工作機械等の台座など油類が使用されている環境で適用可能

Power-Healing-A0 イメージ

ひび割れ部の油類漏水試験

# おわりに

- ▶ PC構造物の維持管理にあたっては、PC構造特有の劣化の特徴を十分理解する必要がある。
- ▶ 維持管理に従事する技術者は、PC工学に関する知識と経験が必要である。
- ▶ 維持管理にはPC構造専門の技術者が従事する必要がある？
- ▶ PC構造専門の技術者とは？
  - 博士（PC工学）
  - 技術士（鋼構造及びコンクリート）
  - コンクリート診断士
  - コンクリート構造物診断士（PC工学会）

END  
ご静聴有難うございました

40