

2021.2.18

# 技術紹介

## 【非破壊試験による劣化調査】



株式会社 CORE 技術研究所

# 会社概要

設立	平成25年7月3日
資本金	1,254万円
従業員数	約80人
登録事業	建設コンサルタント

広島営業所

仙台営業所

韓国

東京支店

福岡営業所

大阪本社

高知営業所

ベトナム



# 本日の話題





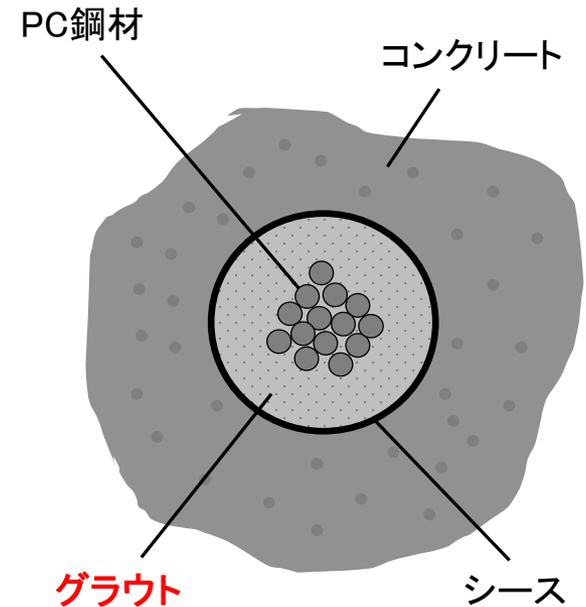
# PCグラウトの問題

# 1-1 グラウトおよびPCの種類

**グラウト**とは、プレストレスコンクリート内のPC鋼材の細かい隙間を充填するために、注入材料として用いるセメントペーストまたはモルタル。  
 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。

表 プレストレストコンクリートの種類

プレテンション方式	ポストテンション方式
PC鋼材を緊張する 	コンクリートを打つ シース 
コンクリートを打つ 	PC鋼材を緊張する 
緊張を解除する 	端部を定着する 定着板 
端部を仕上げる 	グラウトして仕上げる 



# 1-2 PC橋梁の落橋事例(国内)

村道菅線「新菅橋」(長野県)  
構造形式:ポステンション単純箱桁  
橋長:L=26m  
架設竣工年:1965年

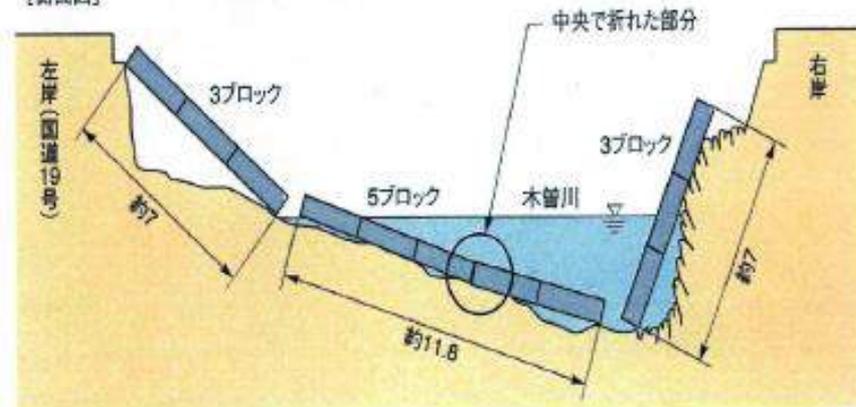


1989年に落橋

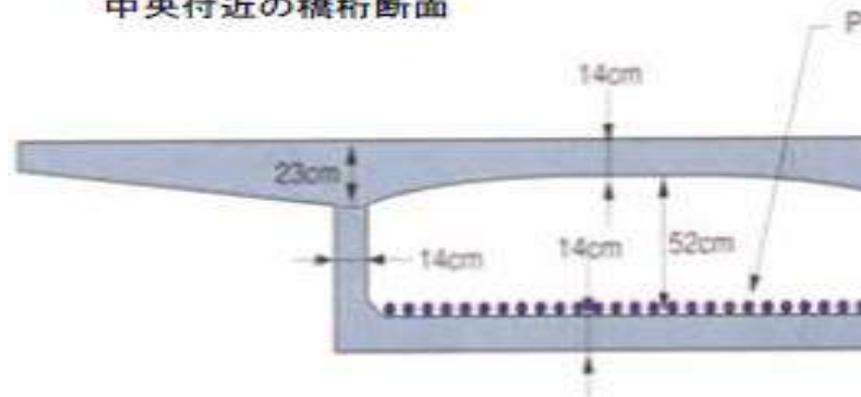
出典:建設事故、日経コンストラクション編

●事故発生時の現場の状況

[側面図]



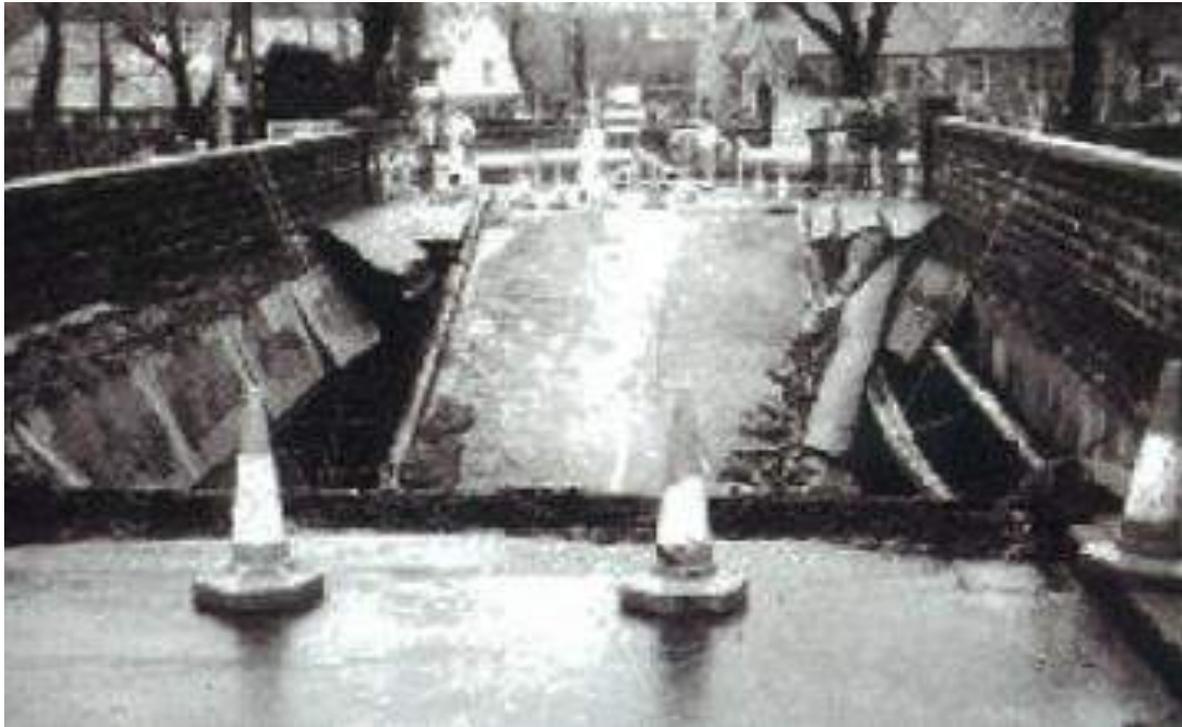
中央付近の橋桁断面



- ・点検を実施しておらず、PC鋼線の腐食による破断が原因で落橋
- ・PC鋼線の定着部では9本ずつ3列に配置してあった
- ・断面は中空、床版厚さは14cm。下側にPC鋼線を配置

# 1-3 PC橋梁の落橋事例(海外:英国)

Ynys-y-Gwas橋 (1953年竣工)  
英国 南ウエールズ

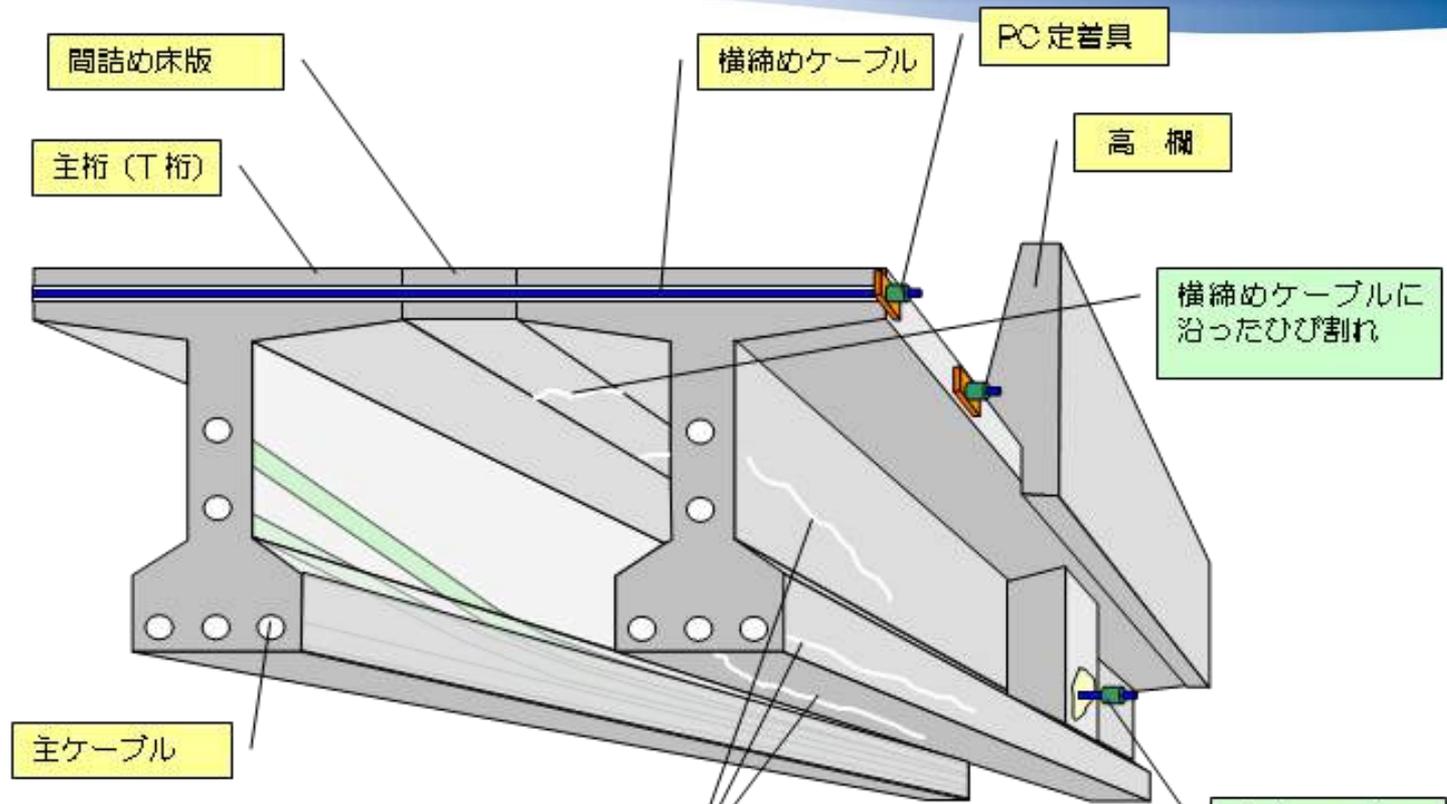


1985年に落橋

写真: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)ポステンI桁単純橋
- ・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

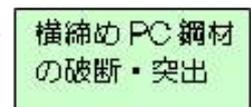
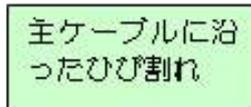
# 1-4 グラウト充填不良に伴うPC鋼材の腐食・破断 CORE 技術研究所



間詰め床版下面に発生したひび割れ事例



PCT桁下面に発生したひび割れ事例



横締めPC鋼材の突出事例

# 1-5 主ケーブルに沿ったひび割れ事例(ウェブ)

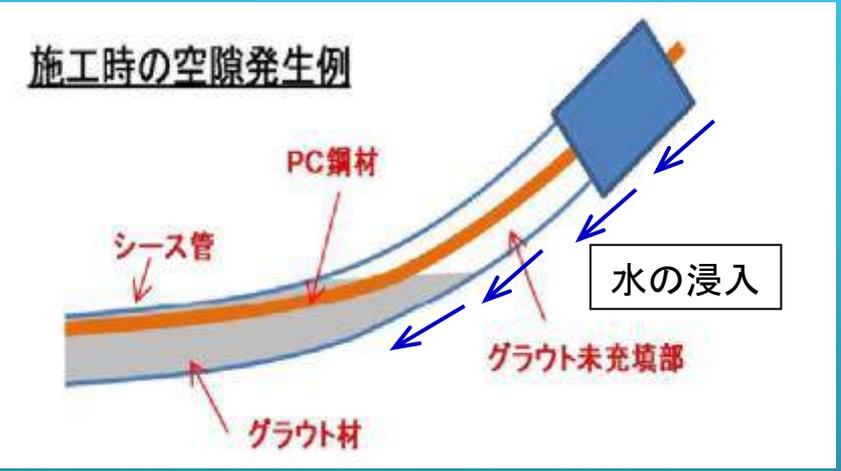
損傷状況



はつり状況

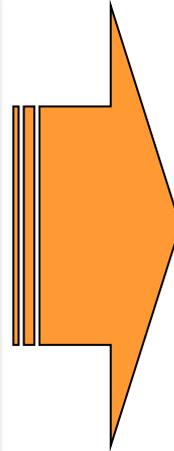


主な要因



# 1-6 横締めケーブルの損傷事例-その①

中島高架橋(下り)  
構造形式:単純PCポステンT桁橋4連, 他  
橋長L=238m  
諸元:1972年(S47年架設)

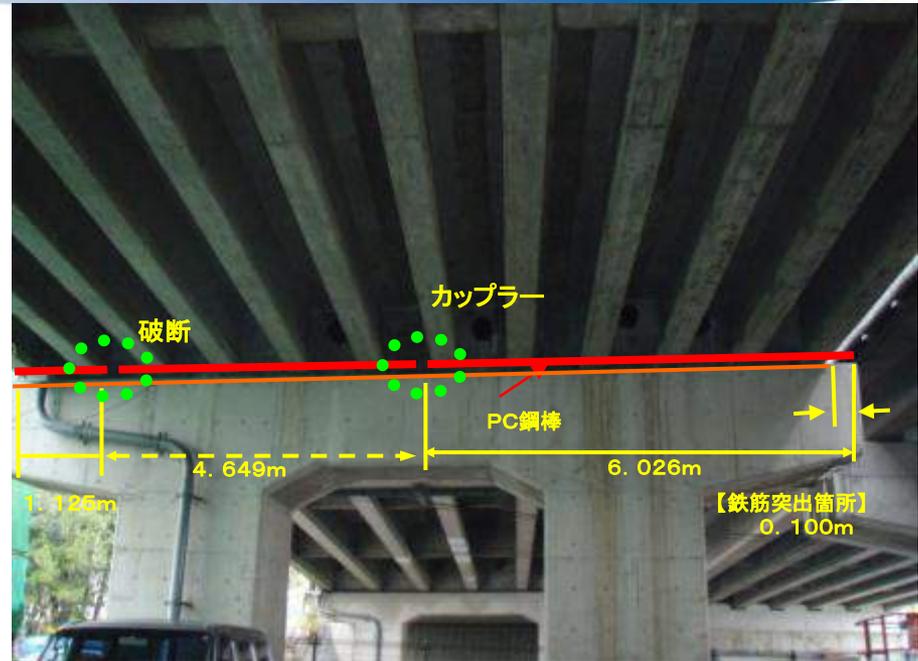


## 概要:

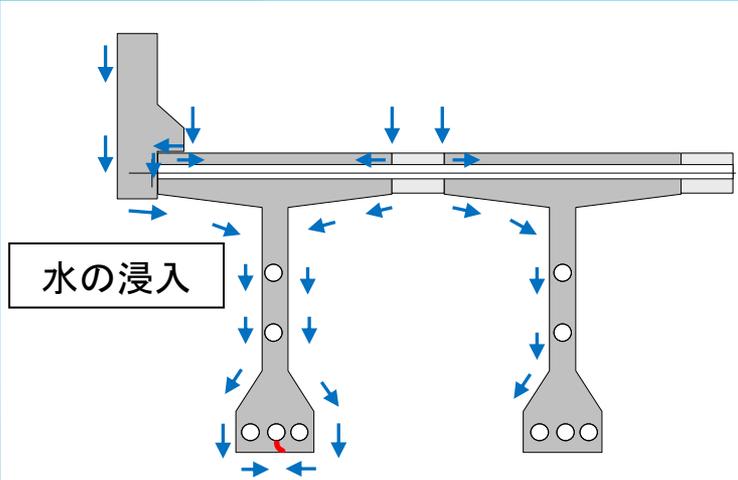
- ・中島高架橋(下り)沿道住民の方からの、「花に水をやっていたらコンクリート片が落ちてきた」旨の通報(事務所あて電話)を受け、現地確認。
- ・下り側P8附近の主桁横締め保護コンクリート部からのコンクリート片落下を確認。

# 1-7 横締めケーブルの損傷事例-その①(詳細)

L側



主な要因



- ・グラウトが**未充填**であった
- ・PC鋼材の**腐食**による破断が原因
- ・接合部(カップラー)があったため、エネルギーが軽減された
- ・突出は、PC鋼材の**長い側**で生じていた
- ・**反対側**にもコンクリート片が散乱

# 1-8 横締めケーブルの損傷事例-その③

PC鋼棒



PC鋼棒



破断面



## 1-9 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

# 1-10 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



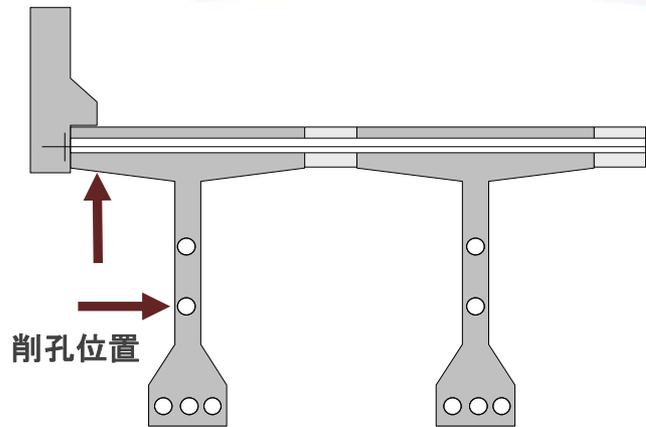
衝撃弾性波法



インパクトエコー法



# 1-11 削孔調査(適用範囲:主ケーブル、横締め)



鉄筋探査状況



削孔状況(φ 25mm)

未充填の場合



充填の場合



CCDカメラによる撮影結果



CCDカメラ撮影状況

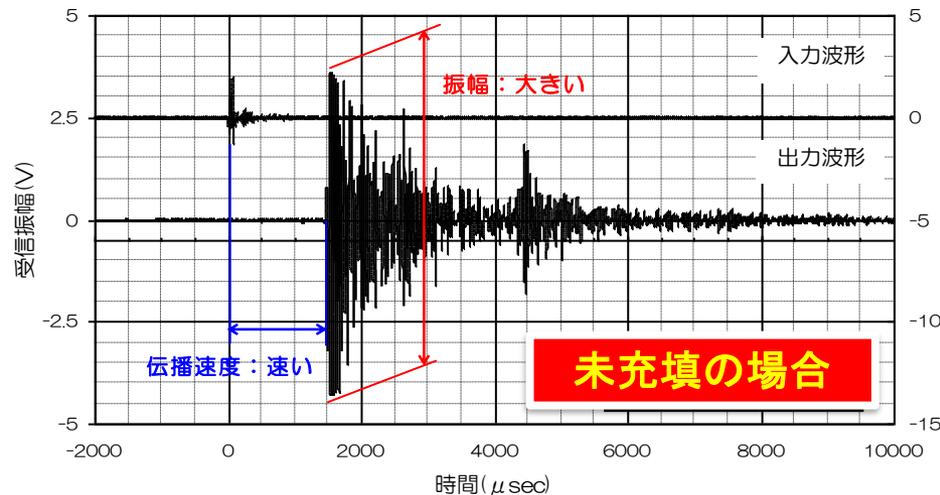
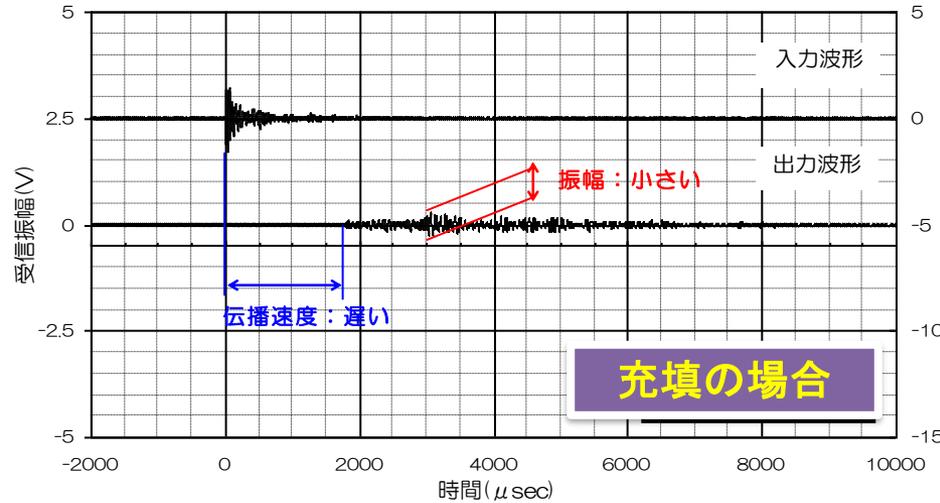
- ・RCLレーダーを用いてPC鋼材位置を罫書き、ハンマードリルで削孔
- ・グラウト確認方法には、CCDカメラを使用

# 1-12 衝撃弾性波(適用範囲:横締め)

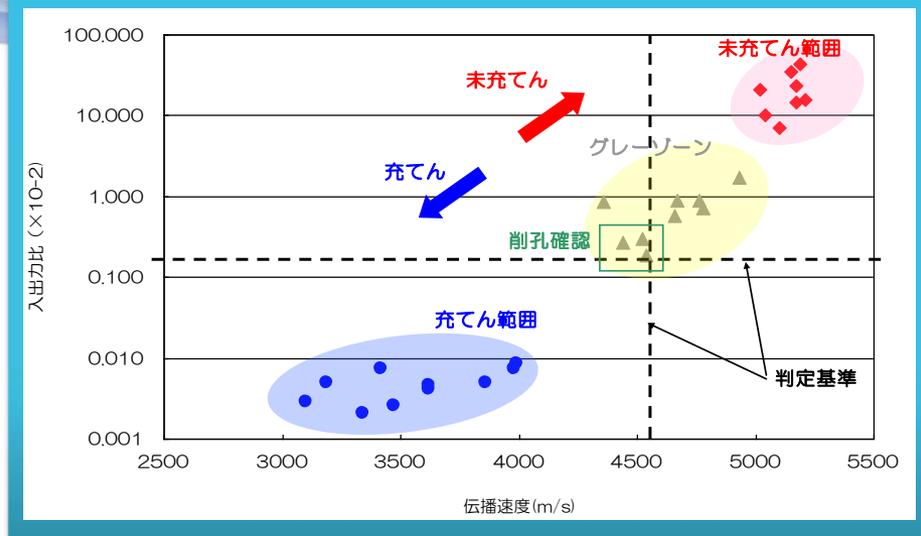
The diagram illustrates the inspection process. It shows a cross-section of a concrete slab with horizontal PC steel cables. Blue arrows labeled '弾性波' (Elastic Wave) indicate the direction of wave propagation. '横締めPC鋼材' (Cross-tightening PC steel material) is labeled. '受振 AEセンサー' (Receiving AE sensor) and '発振 AEセンサー' (Emitting AE sensor) are positioned on the slab. The system includes a '増幅装置' (Amplification device) and a '波形収録装置' (Waveform recording device) which displays a waveform on its screen. Three photographs show the practical application: '発信側' (Emitting side) shows a worker using a hammer on a concrete surface; '受信側' (Receiving side) shows a worker using a sensor on a concrete surface; '波形収録' (Waveform recording) shows the recording device. A larger photograph shows a construction site with a crane and a truck, with labels for '発振' (Emitting), '受振' (Receiving), and '収録' (Recording).

- ・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

# 1-13 衝撃弾性波法(評価方法)



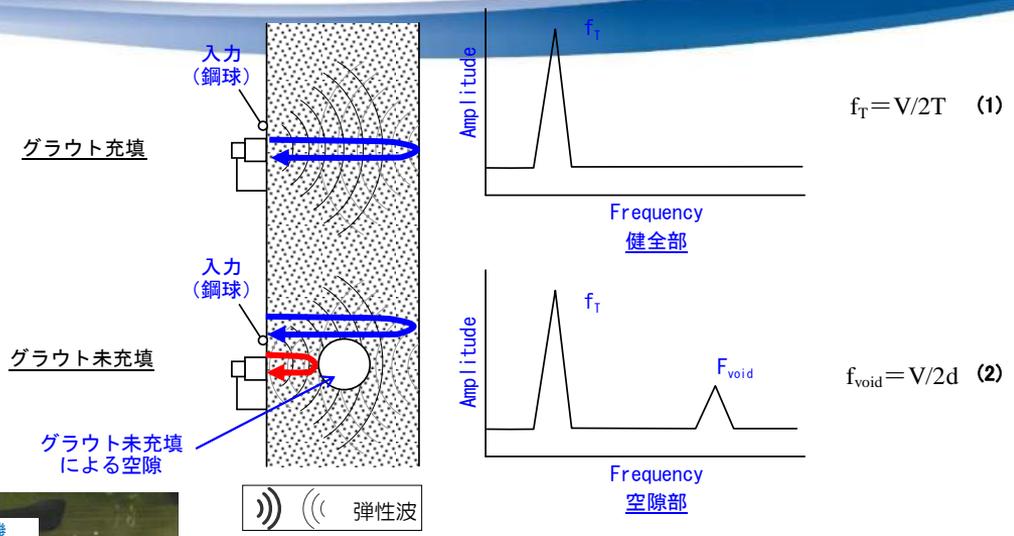
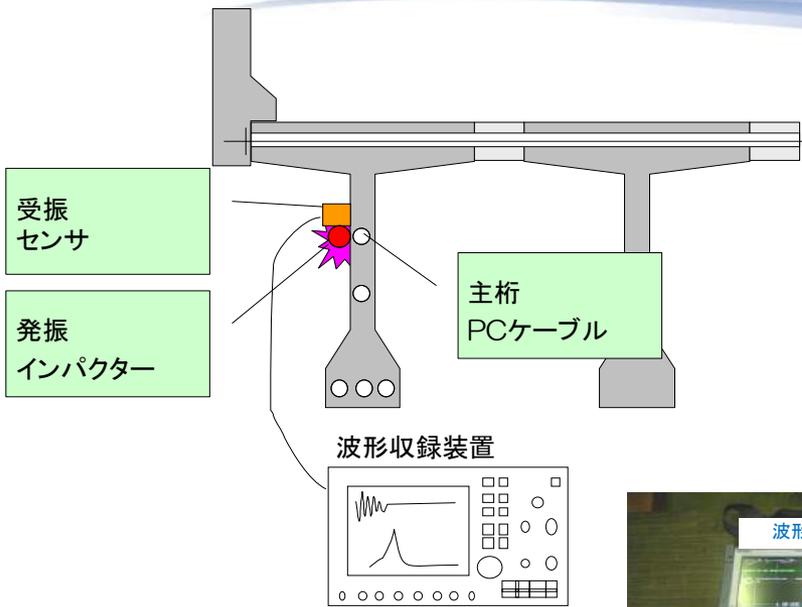
測定波形例



・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**さくなる。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**きくなる。伝播速度は見掛け上速くなる。

# 1-14 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

# 1-15 インパクトエコー法(評価方法)

充填の場合



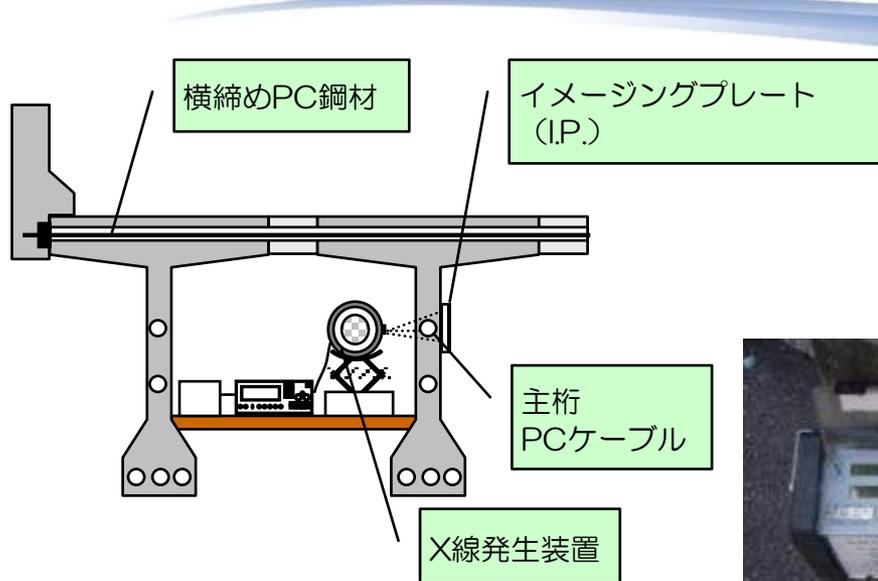
未充填の場合



卓越したピークが**1つ**認められる

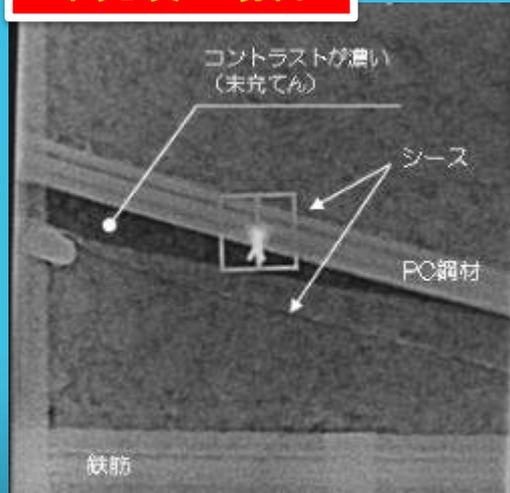
卓越したピークが**2つ**認められる

# 1-16 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

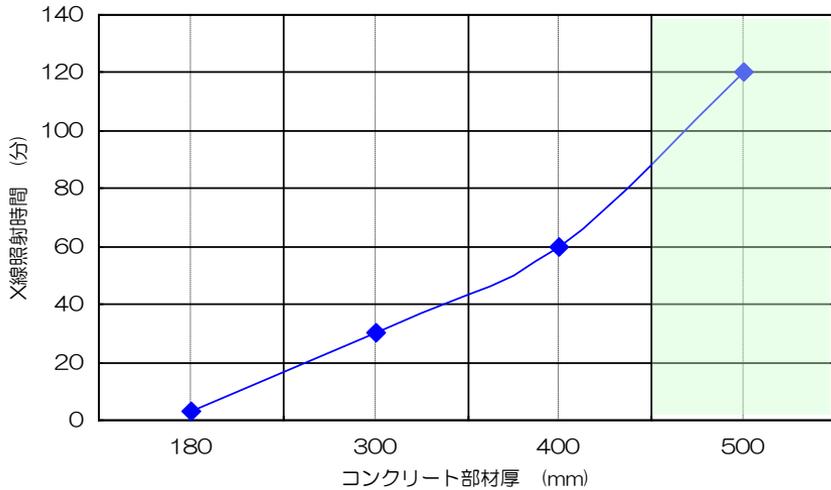


## 充填の場合

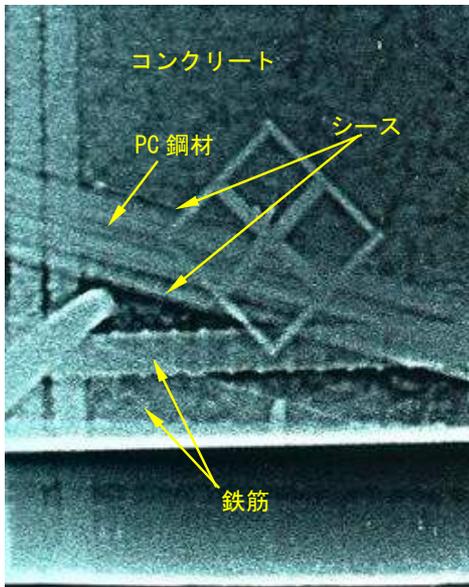


- ・コンクリート内の鋼材(鉄筋やPC鋼材等)は周囲に比べて白く写り、**空洞は黒く**写る。
- ・撮影された画像のコントラストの違いによってグラウト充填状況を識別することができる。

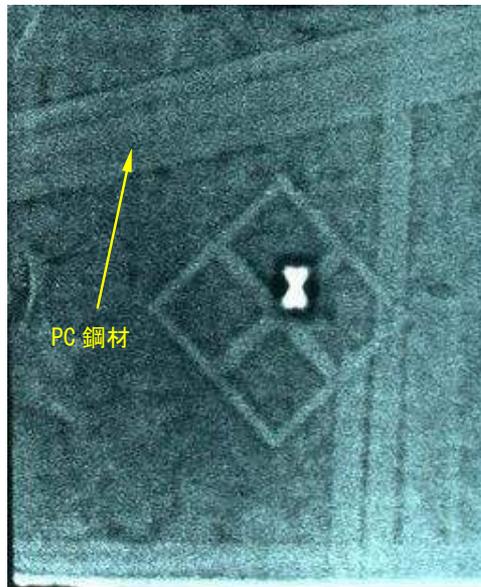
# 1-17 コンクリート部材厚とX線照射時間の関係



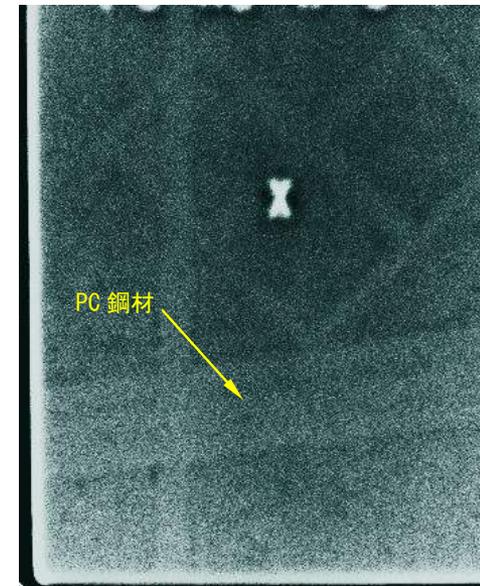
・部材厚によりX線照射時間は大きく異なり、一般にX線照射時間は、  
 部材厚 200mm以下では5~10分程度、  
 部材厚 500mmでは120分程度必要  
 ・グラウト評価は、**400mm程度が限界**



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



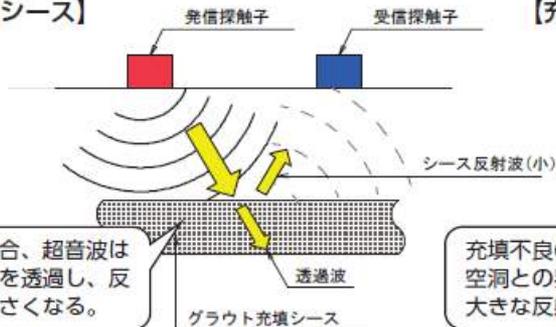
部材厚：500mm，照射時間：120分  
2~3枚/1日

# 1-18 超音波法(広帯域超音波法WUT:主桁)

## 探査原理

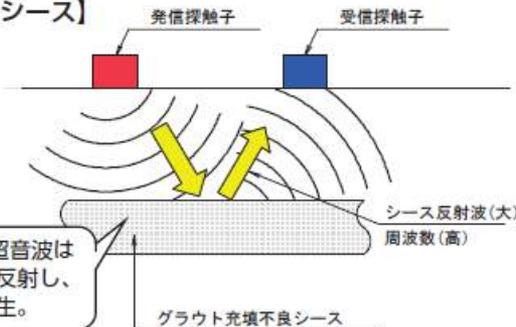
超音波は異なる物質の界面で反射します。WUTでは、この特性を利用してグラウトの充填性を判定します。

### 【充填シース】



充填の場合、超音波はグラウトを透過し、反射波が小さくなる。

### 【充填不良シース】



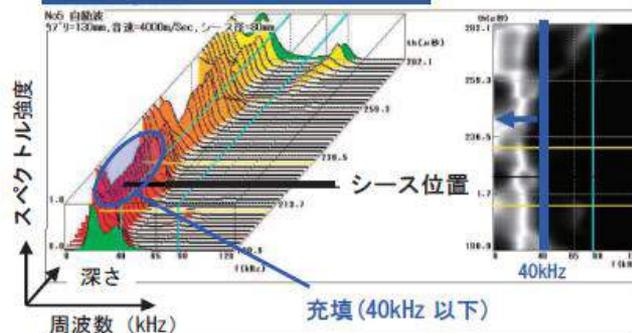
充填不良の場合、超音波は空洞との界面で全反射し、大きな反射波が発生。



## グラウト判定例

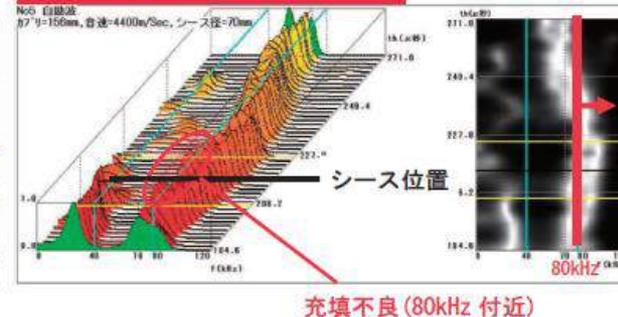
グラウト充填不良シースからの反射波には、高い周波数帯域の波が多く含まれています。WUTでは、この特性を利用し、シースからの反射波の周波数特性によりグラウトの充填性を判定します。

### 充填判定のデータ



シース位置にて40kHz以下にピークがある波形は「充填」と判定

### 充填不良判定のデータ



充填不良 (80kHz 付近)

シース位置にて80kHz付近にピークがある波形は「充填不良」と判定



# 1-19 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

