



株式会社 CORE技術研究所

プレストレストコンクリート構造物の 有効な維持管理

真鍋 英規

Mrandi Bridge Collapse , Genoa Italy **Over 50 years**



Prestressing steel wires were broken due to **corrosion**, which caused the bridge to collapse.??



本日の講演内容

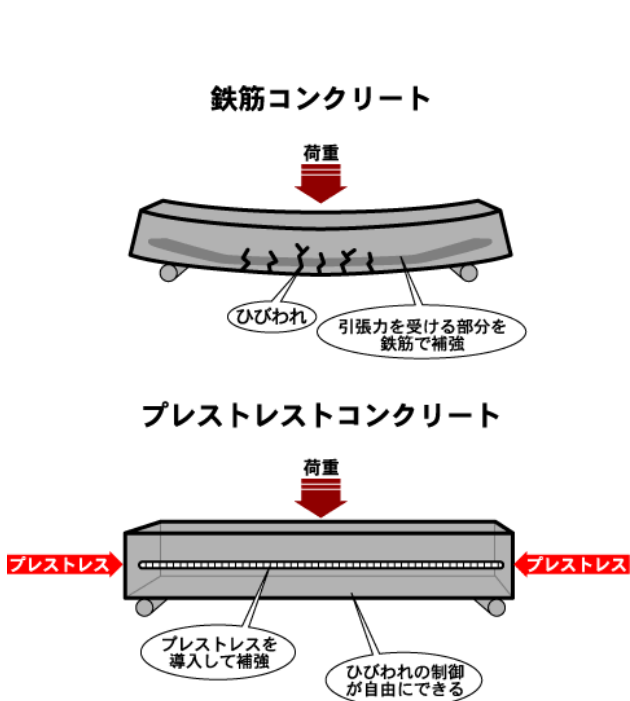
1. PC構造物の維持管理
 2. PCグラウトの調査
 3. 非破壊検査技術
 4. 調査・診断 補修・補強
- おわりに



PC構造物の維持管理

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: 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

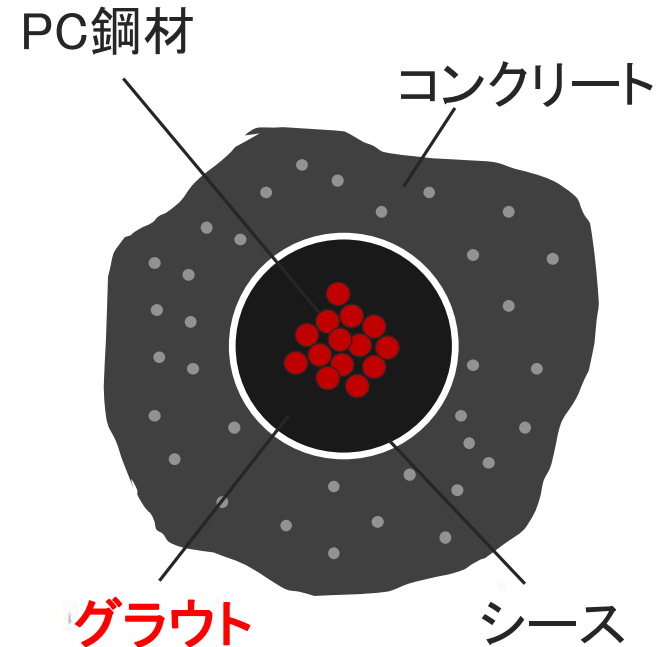
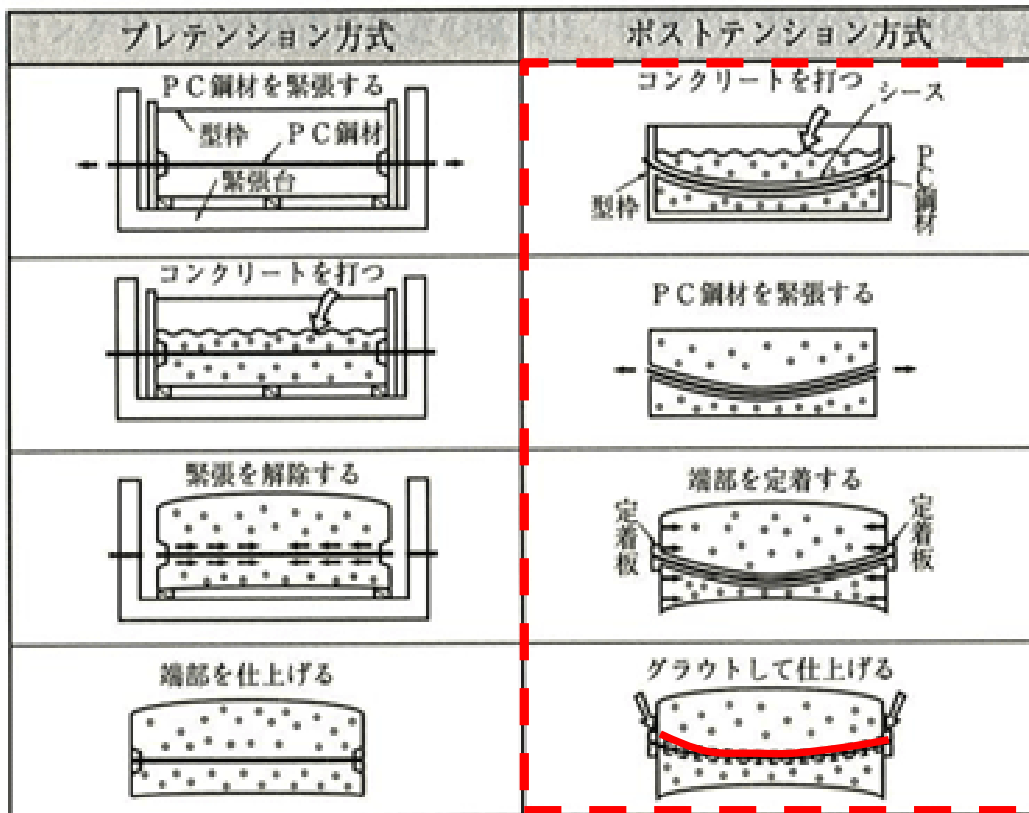
- ① PC鋼材と定着部および偏向部に関する劣化
- ② ポストテンション方式のPCグラウト充填不良等に
伴うPC鋼材の劣化
- ③ 接合部・施工目地部を起点とした劣化

1.2 PC構造物に特有な劣化

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。

プレストレスコンクリートの種類



1.3 鋼材変状の発生危険性

- 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推奨 1999年 ハンブリーディング標準 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	
	シーズ径に 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 φ32mm 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。

1.4 PC構造物の技術的変遷

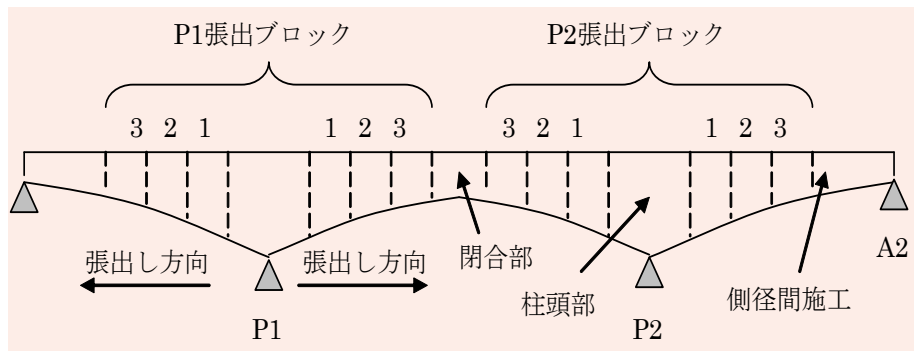
- 対象となるPC構造物の建設された時代の技術的特徴を理解した上で維持管理を行う。
- PC技術の変遷を考慮
 - プレストレストレベル
 - 技術指針類
 - 材料
 - JIS規格
 - 標準設計
 - 施工技術
 - 解析技術

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)

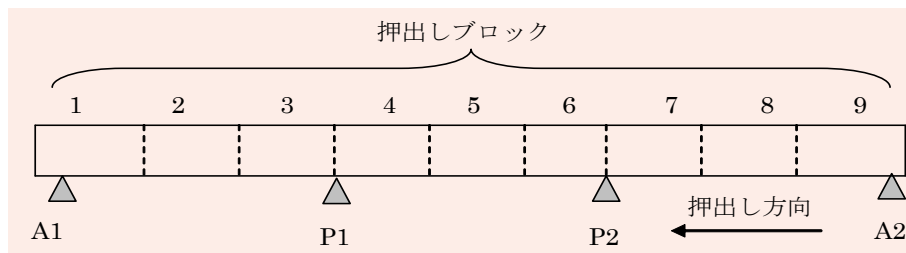
	昭和44年(1969年)制定	昭和55年(1980年)制定	平成6年(1994年)制定
主桁断面			
設計自動車荷重	20tf(195kN), 14tf(135kN)	20tf(195kN), 14tf(135kN)	245kN
適用支間	14~40m	20~40 m	20~45m
PC鋼材の種類*1	SWPR1 5mm (12本組) SWPR1 7mm (12本組)	SWPR1 7mm (12本組) SWPR7A 12.4mm (12本組)	SWPR7B 12.7mm (7本組) SWPR7B 12.7mm (12本組) SWPR7B 15.2mm (12本組)
場所打ち床版幅	60cm以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

1.5 PC構造物の施工方法

a) 張出し架設工法



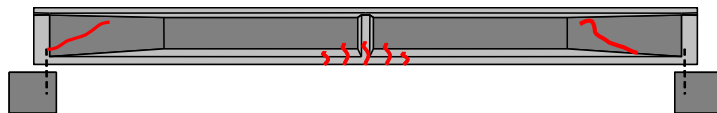
b) 押し出し架設工法



施工目地から判断される架設工法の例

1.6 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

1.6 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

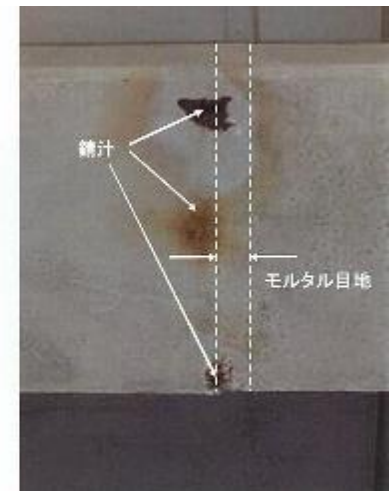


ポストテンション方式T桁の下フランジに生じたひび割れの事例

1.6 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



PCグラウトの調査



2.1 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

2.2 主ケーブルに沿ったひび割れ事例(ウェブ)

損傷状況

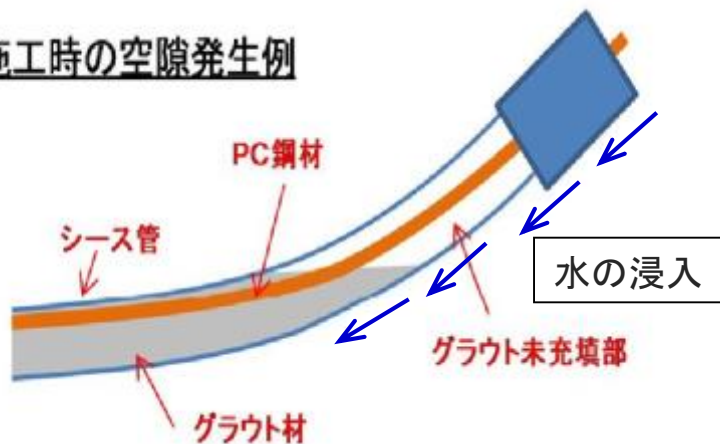


はつり状況



主な要因

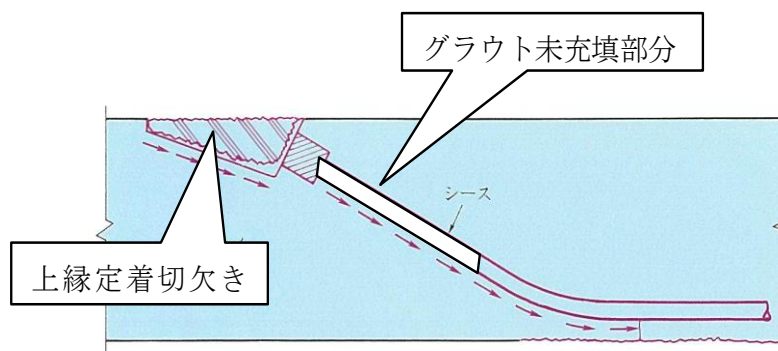
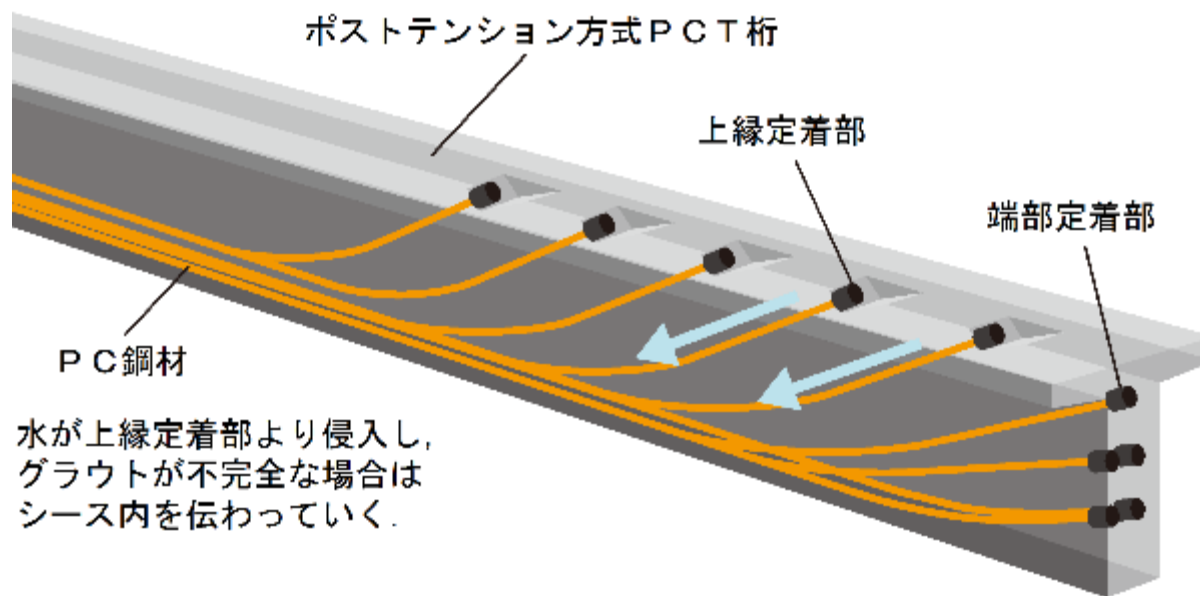
施工時の空隙発生例



破断



2.3 ポステンT桁の上縁切欠き部と水の浸入経路



2.4 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



2.5 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

2.6 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



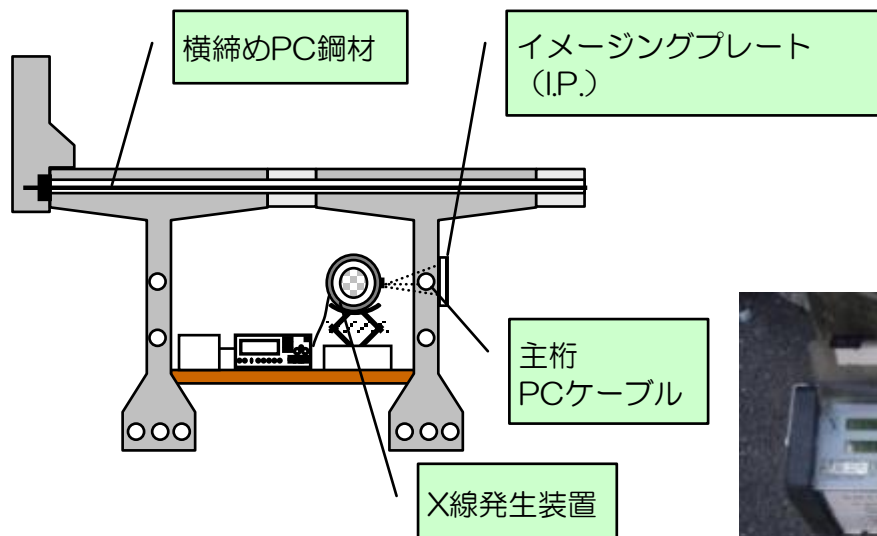
衝撃弾性波法



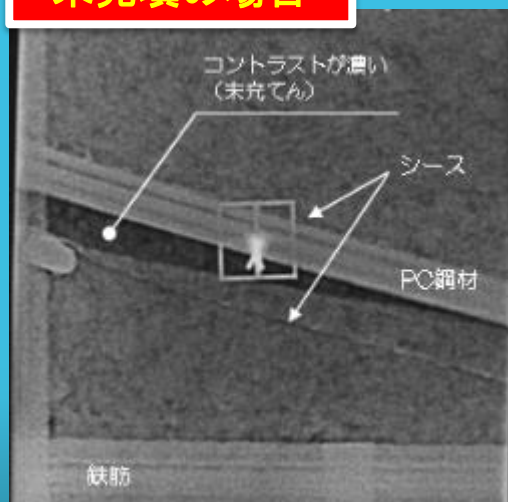
インパクトエコー法



2.7 X線撮影(適用範囲:主ケーブル)



未充填の場合



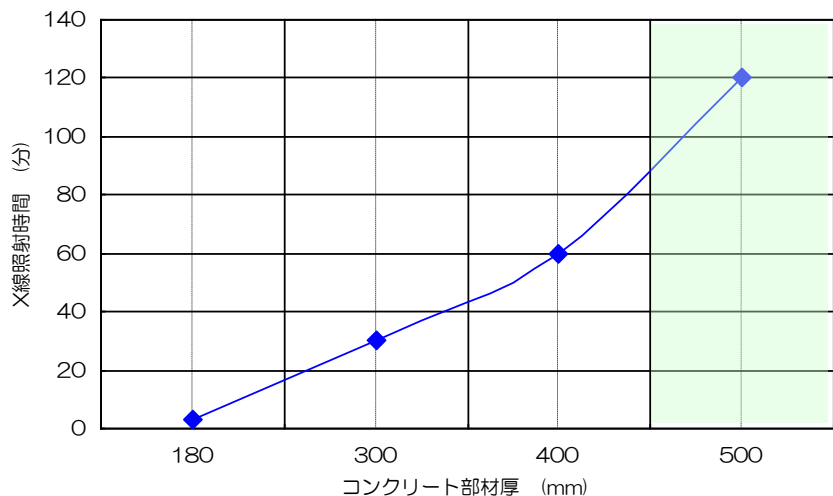
充填の場合



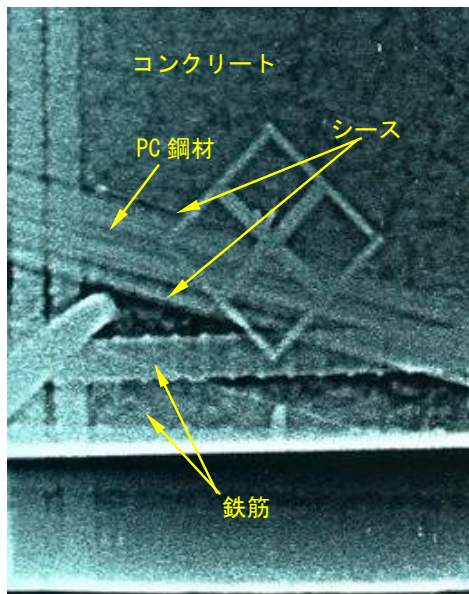
- 放射線(X線)は、物質を透過する性質および放射線がフィルムなどの感光材料に当たった時に感光させる性質をもっている。
- 感光材料に到達する放射線の強さは透過する試験体の厚さ、材質に大きく影響され、鋼材は放射線を透過しにくく、空洞等の気体は放射線を透過しやすい。

- 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。

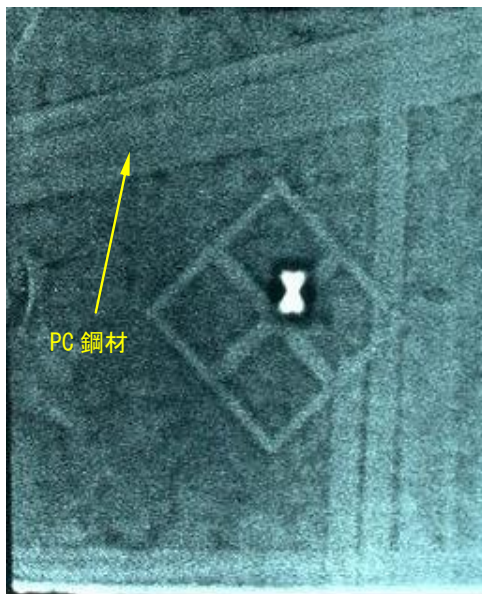
2.8 コンクリート部材厚とX線照射時間の関係



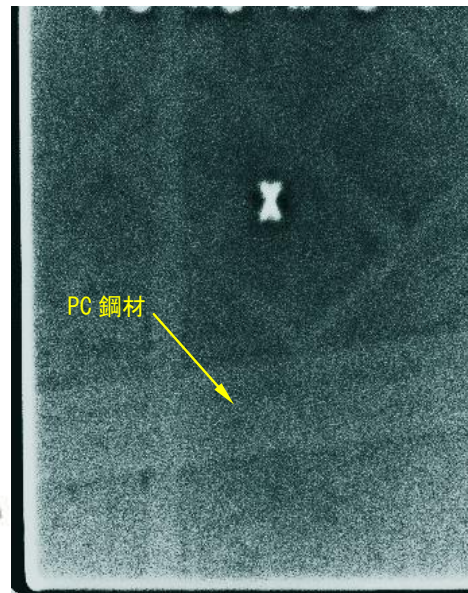
- ・部材厚によりX線照射時間は大きく異なり、一般にX線照射時間は、部材厚 200mm以下では5～10分程度、部材厚 500mmでは120分程度必要
- ・グラウト評価は、**400mm程度が限界**



部材厚：300mm，照射時間：30分
8～10枚/1日

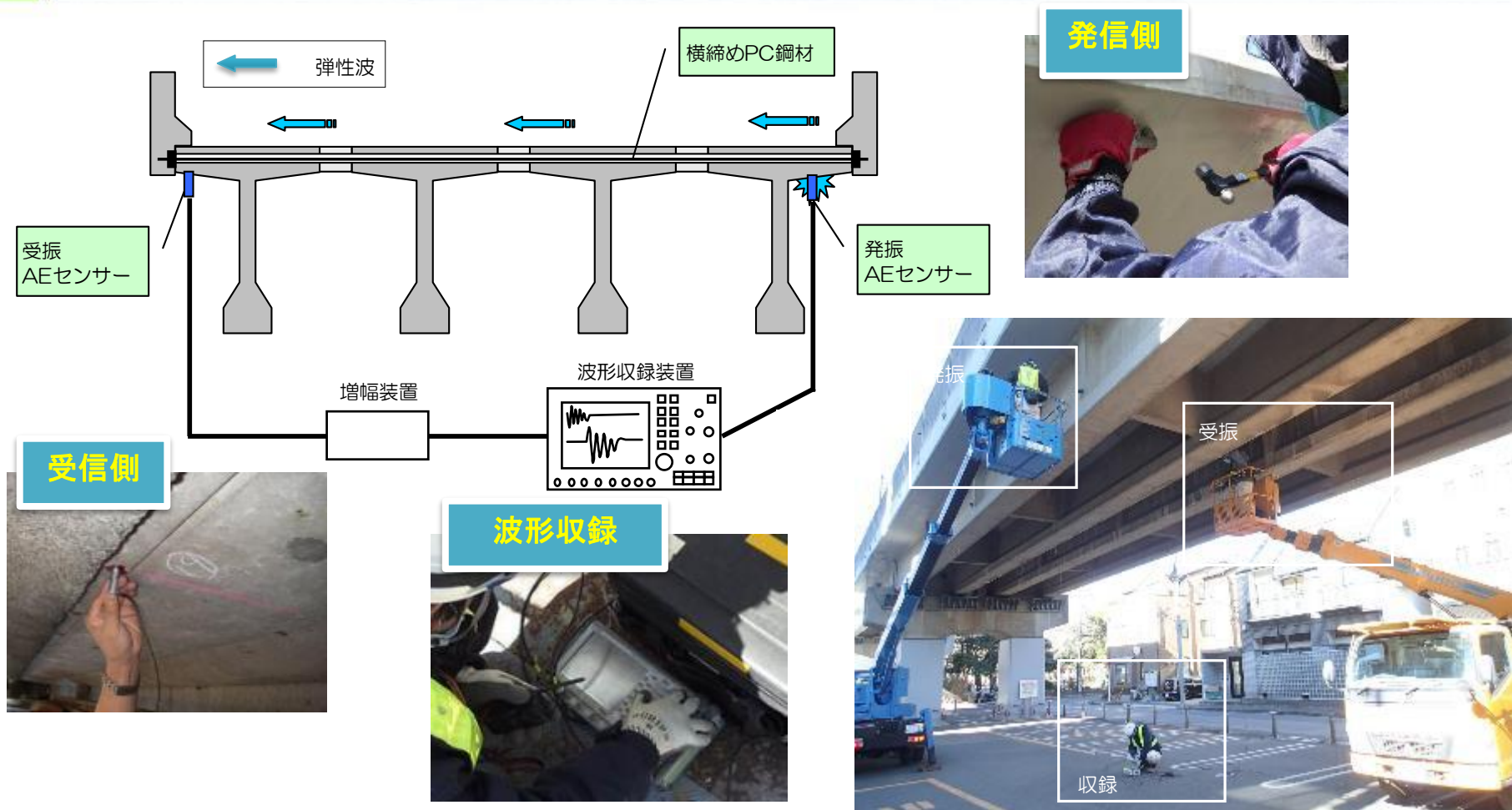


部材厚：400mm，照射時間：60分
5～7枚/1日



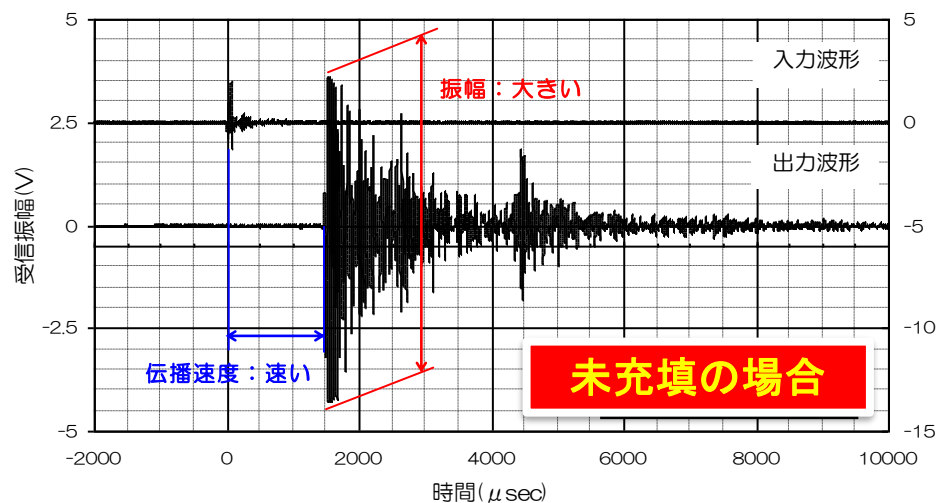
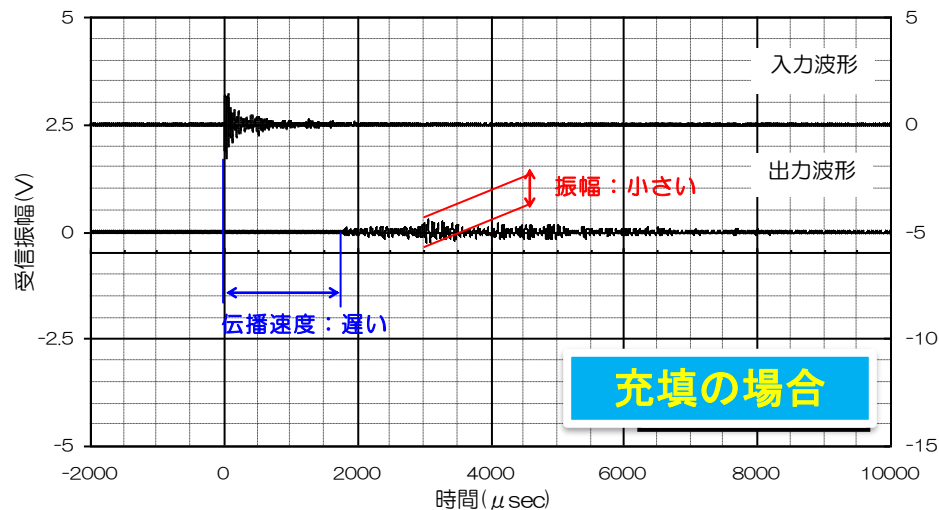
部材厚：500mm，照射時間：120分
2～3枚/1日

2.9 衝撃弾性波(適用範囲:横締め)

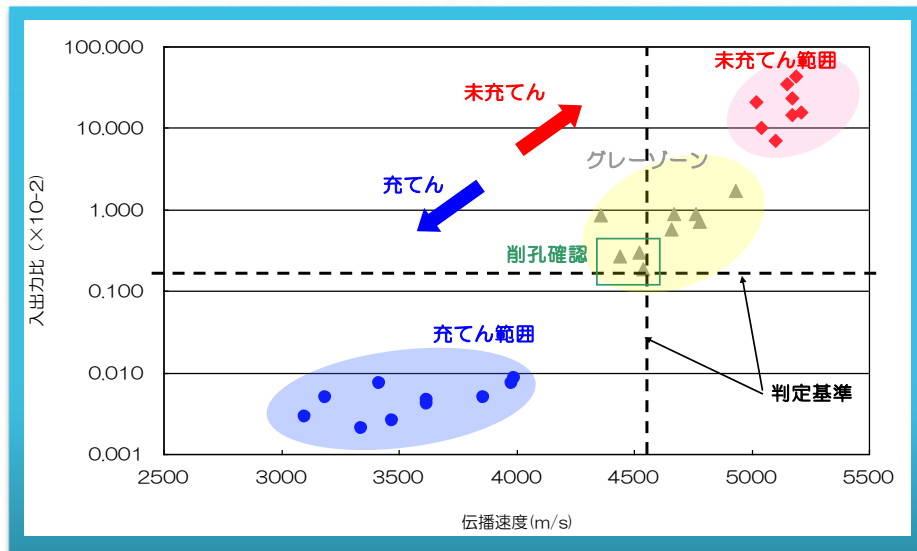


- ・床版や横桁に配置された**横締めPCケーブル**が対象
- ・横締めPCケーブル**1本全体**のグラウト充填度の判定を行う

2.10 衝撃弾性波法(評価方法)



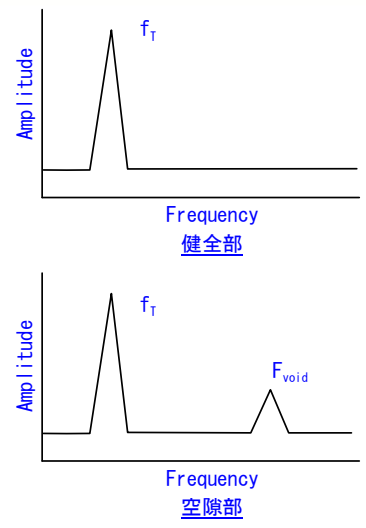
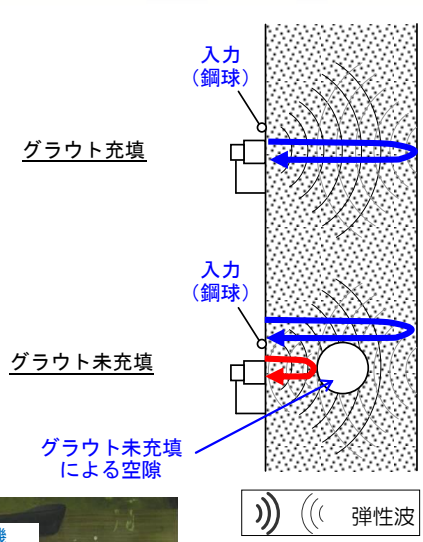
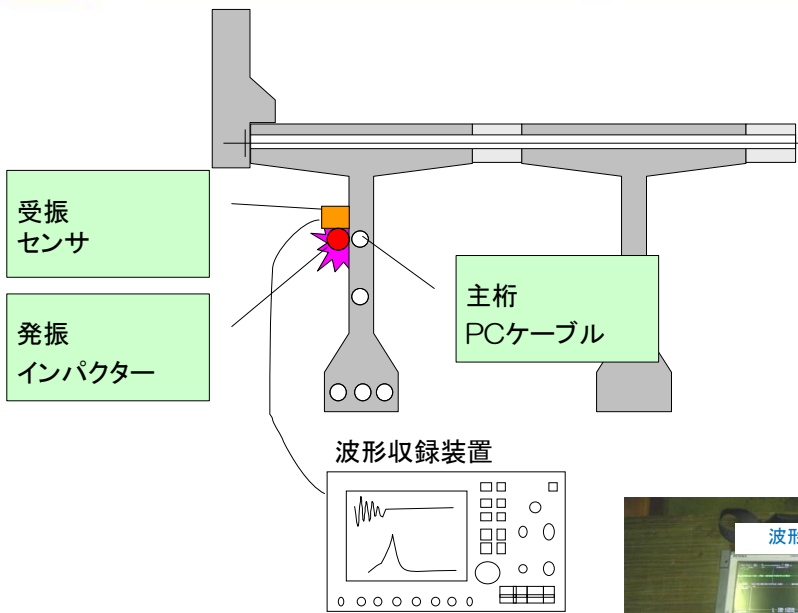
測定波形例



・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。

2.11 衝撃弾性波法(インパクトエコー法:主ケーブル)



$$f_T = V/2T \quad (1)$$

$$f_{void} = V/2d \quad (2)$$



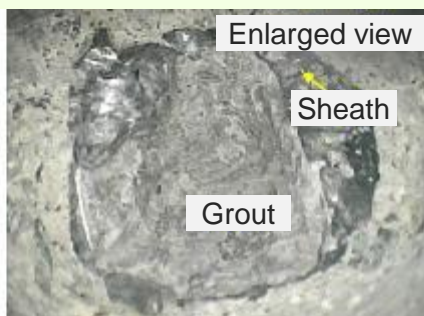
グラウトの未充填部がある場合、シース管内部の空隙での反射によるピーク周波数**f_{void}**が**出現**する。これらのピーク周波数は、コンクリートの縦波伝播速度をVとすると、図中の式(1),(2)で表される。

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

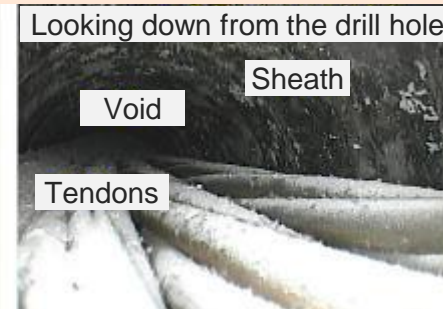
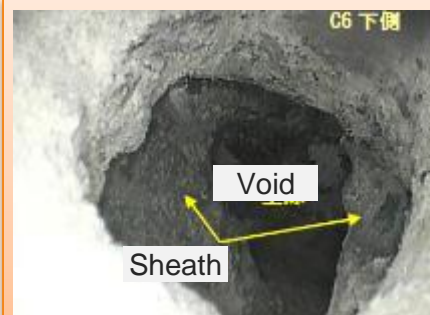
2.12 インパクトエコー法(評価方法)

グラウト充填



削孔+CCD 充填確認

グラウト充填不良



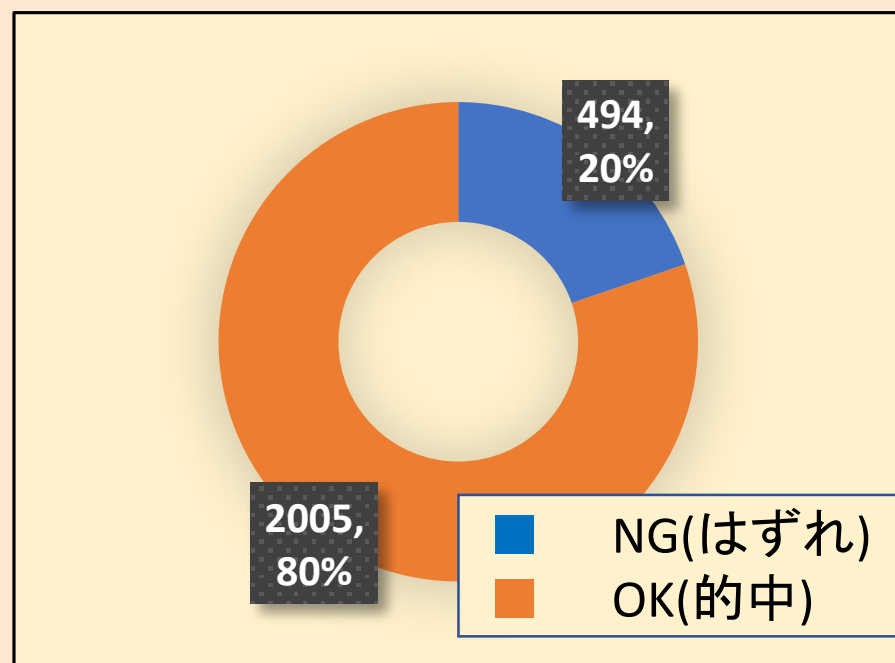
削孔+CCD 充填不良

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

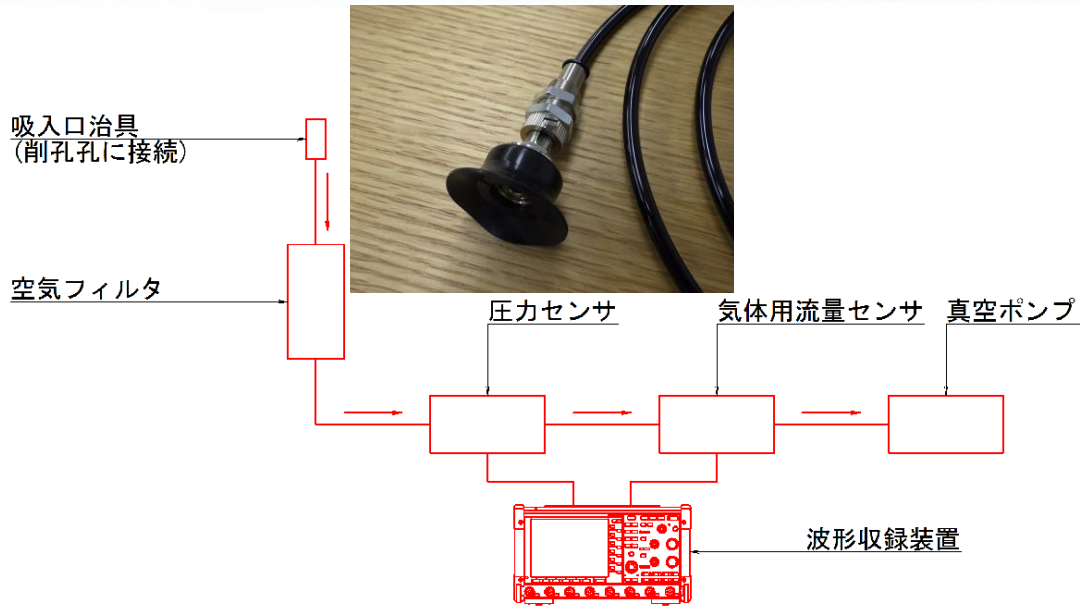
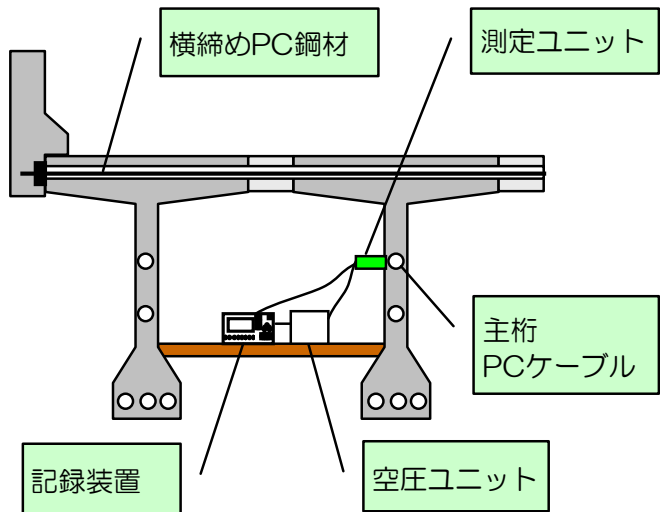
2.13 インパクトエコー法調査実績

総数	62径間
IE実施件数	6,726
削孔判定	2,499 (37%)
NG(はずれ)	494 (20%)
OK(的中)	2,005 (80%)



インパクトエコー法調査を実施することで、
削孔調査を減らすことが出来る

2.14 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

2.15 真空法(適用範囲:主ケーブル,横締め) ※削孔調査の補助

● 現場での測定状況



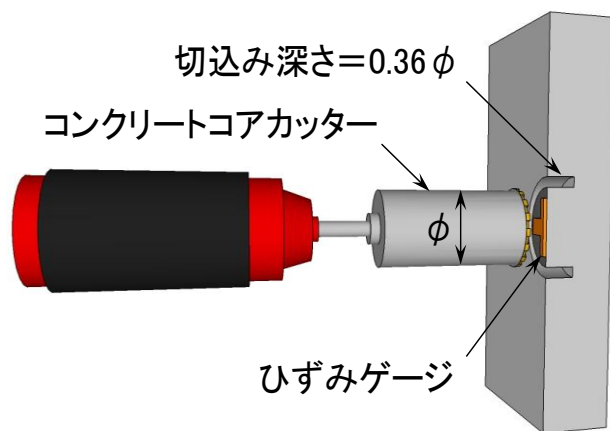
2.16 有効プレストレスの推定

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。

2.17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 = $\phi 50\text{mm} \times 0.36 = 18\text{mm}$
 $= \phi 100\text{mm} \times 0.36 = 36\text{mm}$

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

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

ε_x : x方向ひずみ ε_y : y方向ひずみ

ν : 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

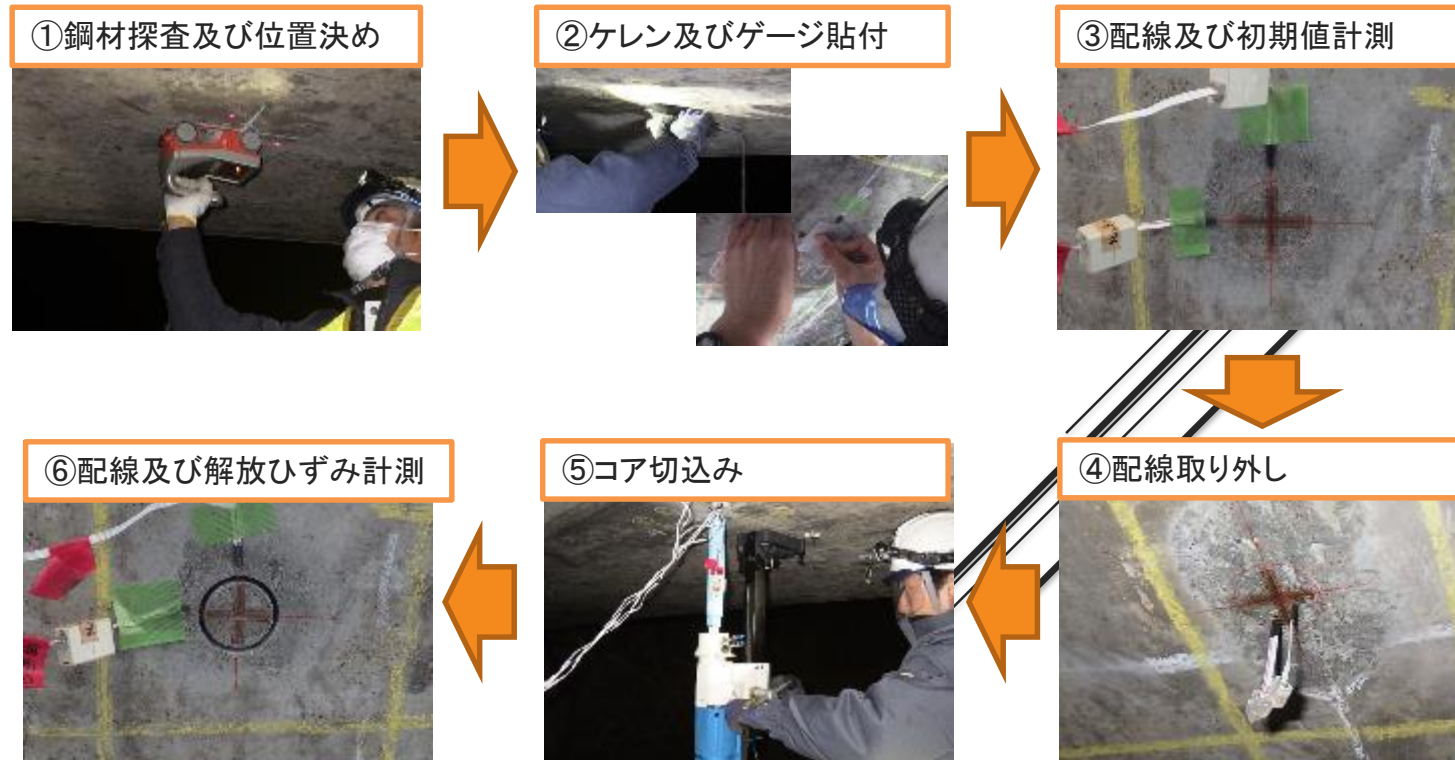
$\Delta\varepsilon_{x,sh}$: 乾燥収縮ひずみの鋼材拘束によるx方向応力が解放されるときx方向の弾性ひずみ

$\Delta\varepsilon_{y,sh}$: 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

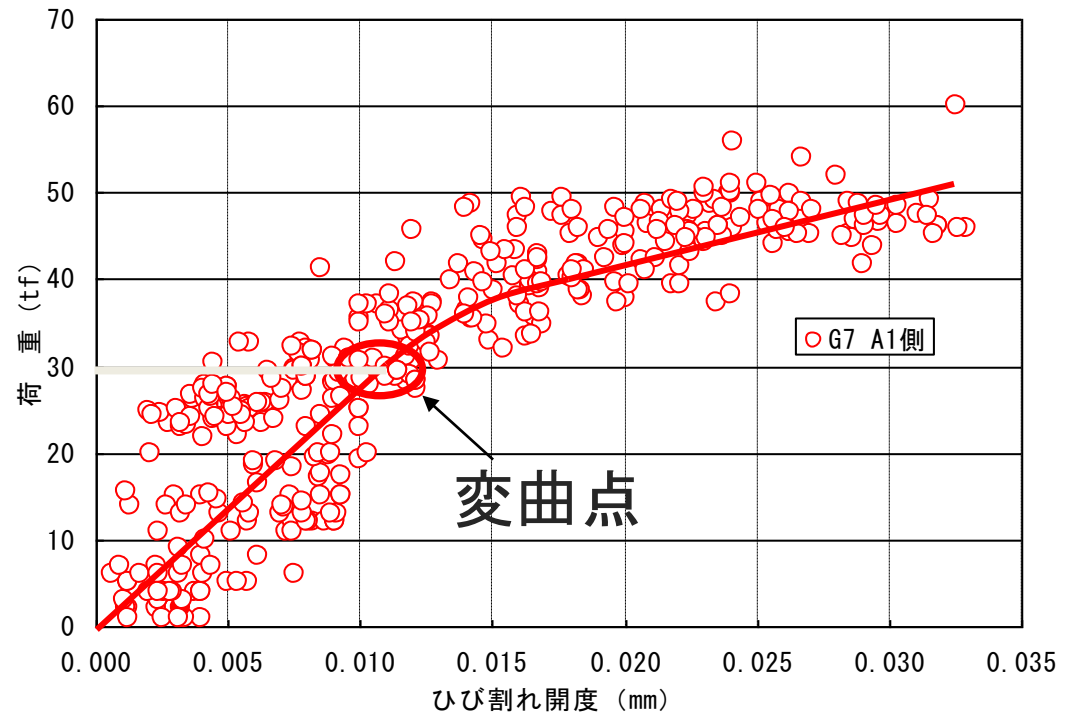
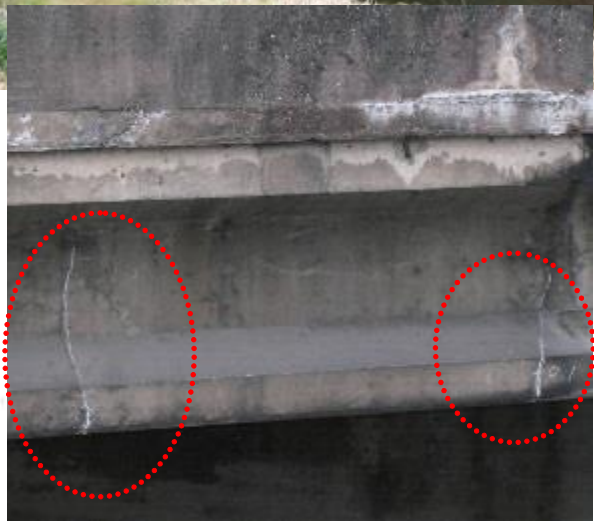
2.18 有効プレストレスの推定 **コア切込み法**

目的：既存PC構造物の応力状態を推定する



2.19 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



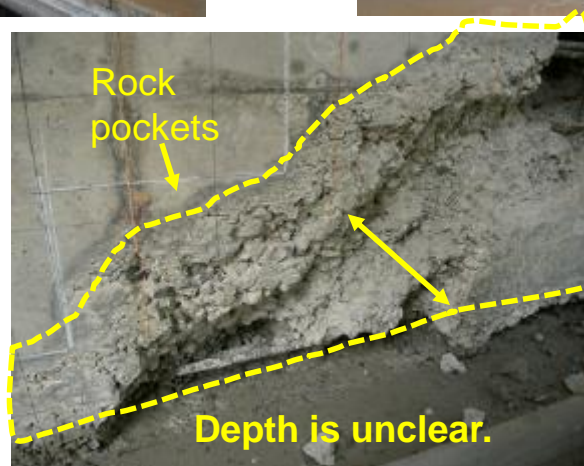
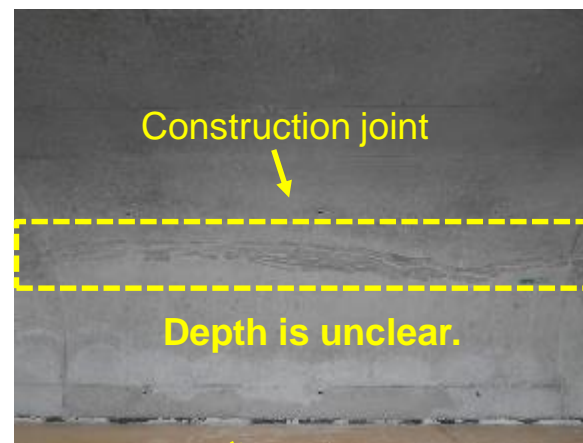
※車両重量はBWIMシステムを用いて計測した



非破壊検査技術

各種非破壊による調査事例

3.1 コンクリート内部欠陥の調査

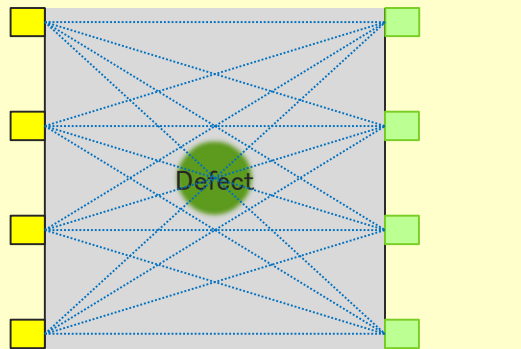


内部欠陥を非破壊検査で調査する必要がある
⇒ 超音波透過法により内部欠陥を評価する【可視化する】

3.2 トモグラフィ

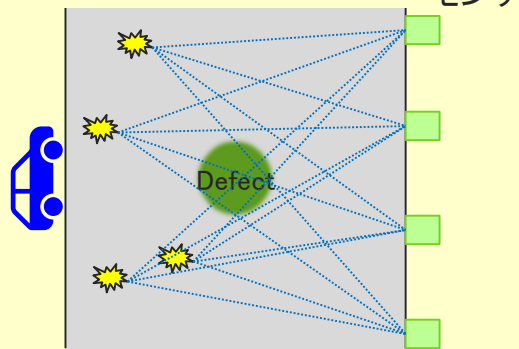
弾性波に基づくトモグラフィの種類と違い

【弾性波トモグラフィ】



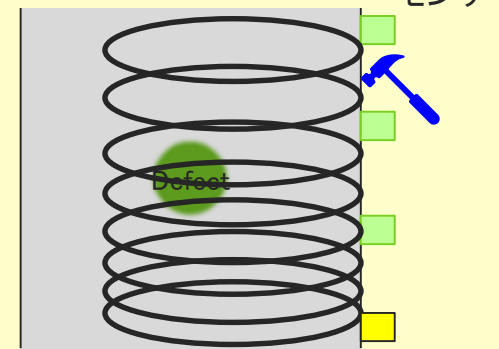
縦波の伝達時間から速度構造を評価
(入力位置および発信時間が必要)

【AETトモグラフィ】



縦波の伝達時間から速度構造を評価
(入力位置および発信時間が不要)

【表面波トモグラフィ】



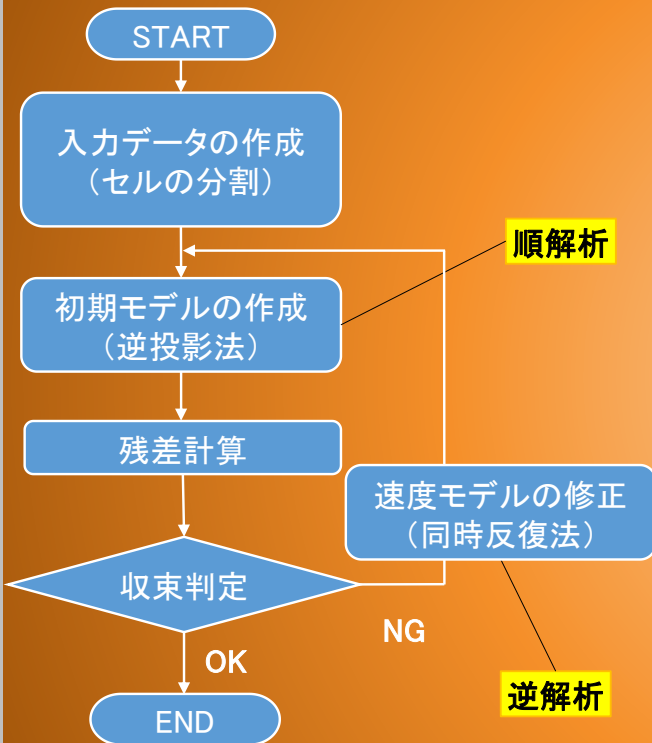
表面波伝達時間から入力周波数に応じた深さ部分の評価

- 損傷範囲の可視化技術のニーズが多い。
- 弾性波トモグラフィ、および表面波トモグラフィを中心に現場適用を目指して実施。
- 簡易かつスピードが要求される。

3.3 トモグラフィ調査とは

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

解析フロー



対象物の選定



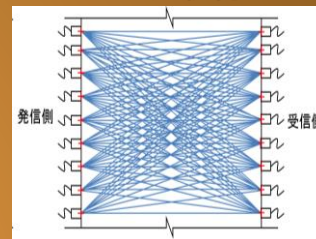
●ASR部やジャンカ部等

セルの分割

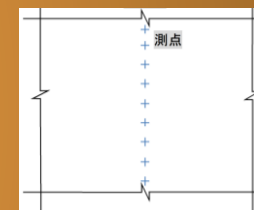
1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64
65	66	67	68	69	70	71	72

●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**

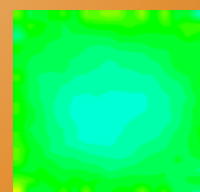
●順解析 (Raytracing-レイトレーシング)

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

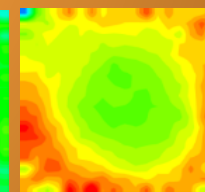
●逆解析 (Inversion-インバージョン)

トモグラフィ結果

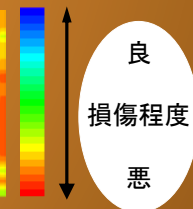
健全部と比較し、劣化している試験体の方が**赤く表示される範囲が多いため、損傷程度が高い**
 コンクリート**表層側の劣化が大きく**、徐々に内部側へ劣化が進行していることがわかる



●健全部

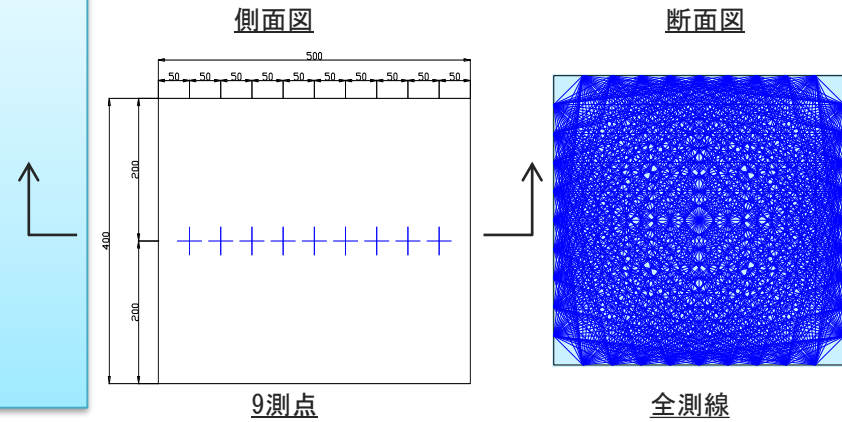


●劣化部



3.4 コンクリート内部の調査 超音波トモグラフィー法

- ・角柱供試体を使用しトモグラフィ法の検証実験を行った。
- ・供試体の形状寸法は各供試体ともに幅500mm × 長さ500mm × 高さ400mmである。
- ・供試体は、健全モデル、ジャンカ(内部欠陥)モデル
 ※打設は平成18年6月に行われ、約6年間自然暴露。
- ・ジャンカモデルは、供試体内に一部ポラスコンクリートを使用しジャンカ(内部欠陥)を模擬している。測点ピッチ50mm(各面9測点:1供試体あたり486測点)
- ・トモグラフィ解析は、15×15分割

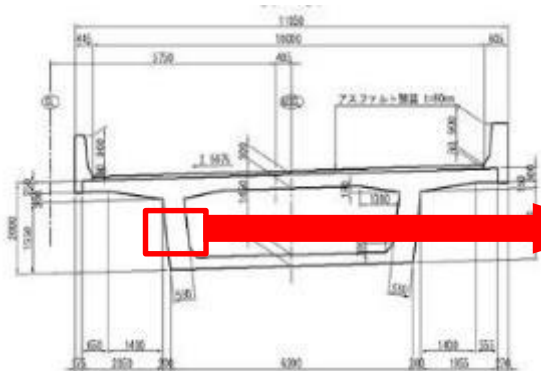


<p>健全モデル</p>	<p>密実で健全なコンクリート</p>	<p>ノーマルCon</p>		<p>面的に一樣な伝播速度分布である</p> <p>4,500 3,500 (m/sec)</p>
<p>ジャンカモデル</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・一方に偏った小さなジャンカ(14×14cm程度) ・薄いジャンカ(幅5cm程度) 	<p>ノーマルCon</p> <p>ポラスCon</p>		<p>劣化部のみ伝播速度の低下が認められる。</p> <p>4,500 3,500 (m/sec)</p>

3.5 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-

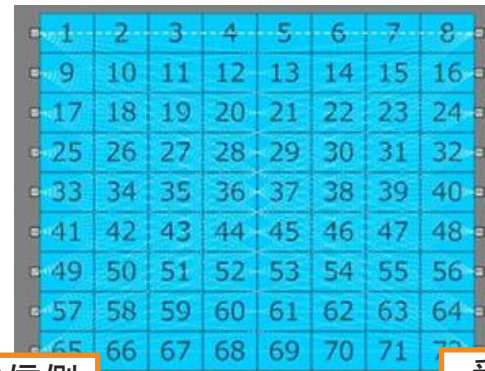
箱桁ウェブ側面に生じた変状(ジャンカ部)に対し、部材を透過するようにセンサを設置し、伝播速度の計測を行いトモグラフィ解析から内部の状況を確認した



対象構造物



変状(ジャンカ部)



発信側

受信側

メッシュ分割

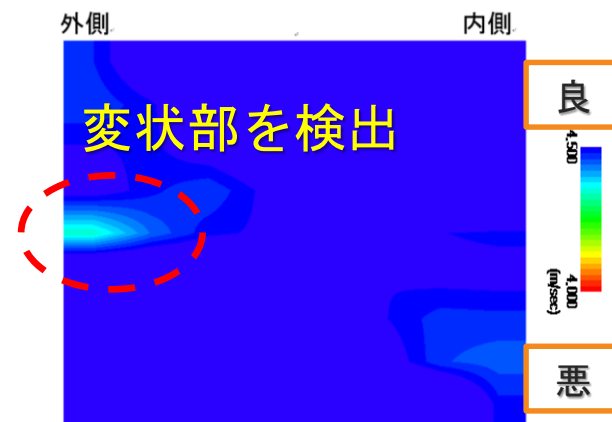


発信側



受信側

調査状況



解析結果

3.6 トモグラフィ調査 ドリル削孔

ドリル削孔トモグラフィ調査
透過法に対して、**1面からトモグラフィ
調査をおこなう手法**である。

ドリル削孔により深部から弾性波を
入力することが特徴である。

調査手順

- ①表層部にセンサを設置
- ↓
- ②弾性波の入力波鋼球を用いる
- ↓
- ③内部から弾性波を発生させるために
ドリル削孔を行い、打撃棒を挿入し、
打撃する
- ④削孔深さを深くし、計測を繰り返す
(削孔深さは表層から200mmピッチ程度)

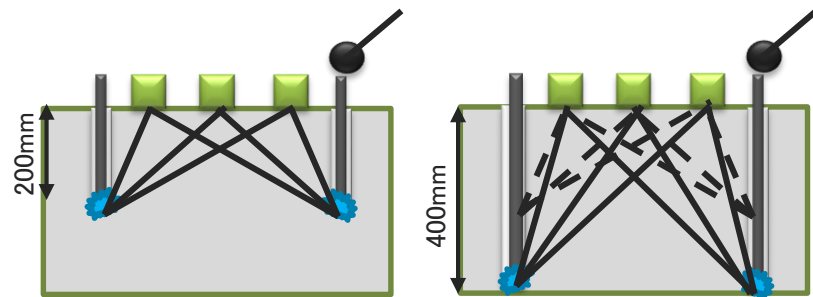


図- ドリル削孔トモグラフィ計測イメージ



図- センサ設置状況



図- ドリル削孔状況



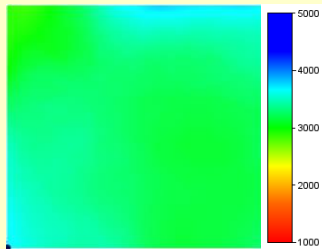
図- 計測状況^{0/56}

3.6 トモグラフィ調査結果 -健全部-

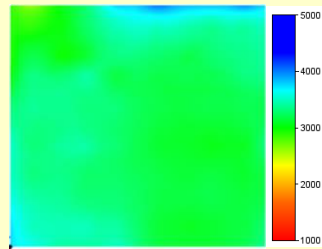


調査範囲
600×600mm
深さ
300mm

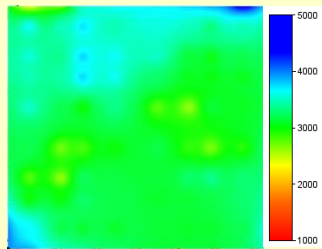
調査箇所 外観状況



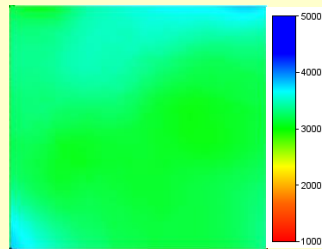
0mm



100mm



200mm



300mm

深さ方向における速度分布は一定である

CCD調査箇所



CCD調査結果



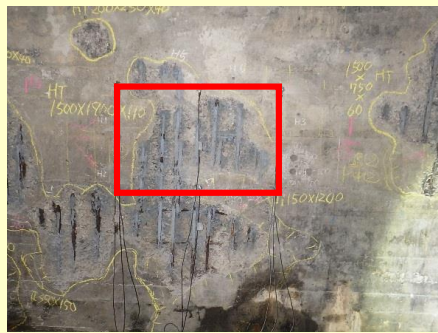
深度: 約200mm位置
状況: 変状なし



深度: 約500mm位置
状況: 変状なし

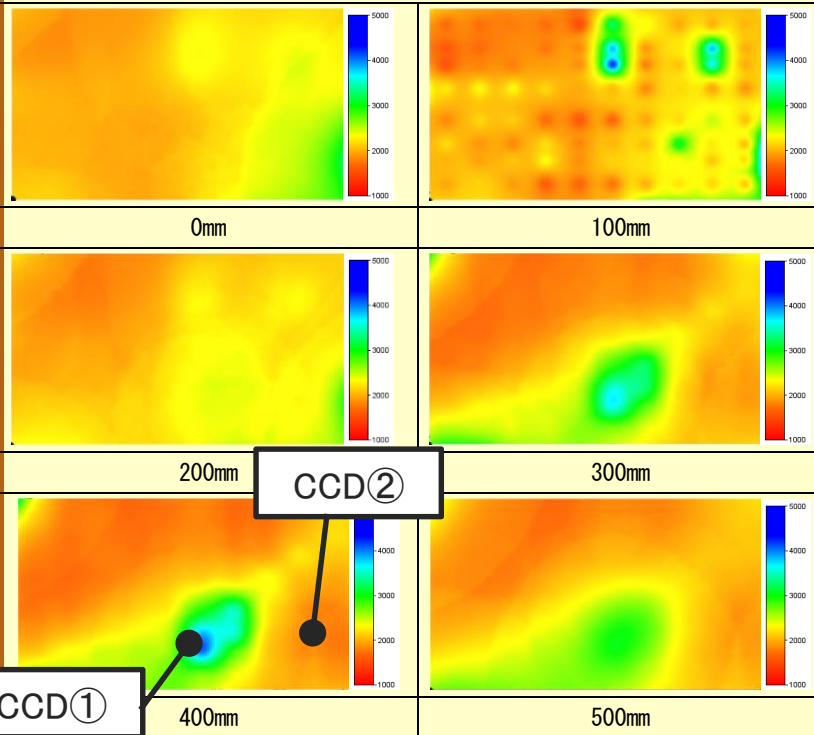
深さ方向における変状は確認されなかった

3.6 トモグラフィ調査結果 -劣化部-

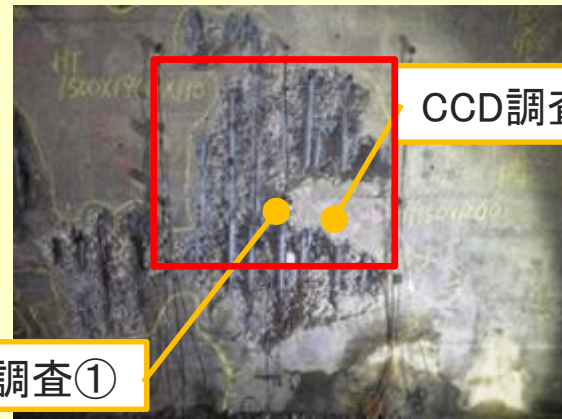


調査範囲
600 × 1200mm
深さ
500mm

調査箇所 外観状況



トモグラフィ結果



CCD調査①

CCD①



深度100mm,変状有り



深度500mm,変状無し

CCD②



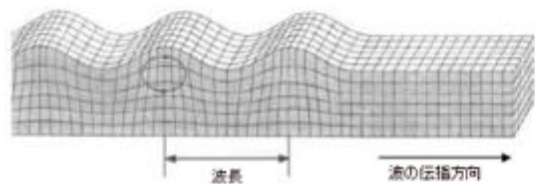
深度100mm,変状有り



深度500mm,変状有り

3.7 実現場での弾性波計測

解析ケース-入力鋼球径と着眼する波

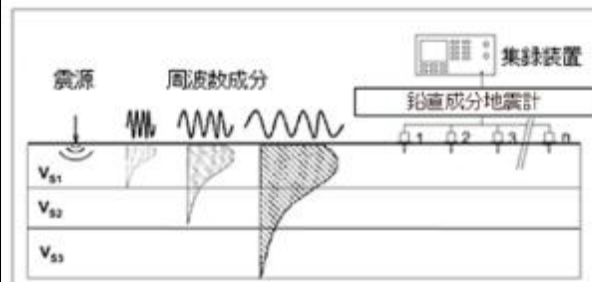


レイリー波は、波長の異なる波の集合（波群）ですが、長波長の波動は地表面から深部まで到達するために、より深部の速度構造の影響を受ける。

影響を受ける深さは、1/2波長程度である。すなわち、レイリー波の短波長の波は地表面近くの浅層のS波速度、長波長の波は深層の速度情報を含んでいる。こうした波長ごとの位相速度の変化を示したものを分散曲線という。

<http://www.m-gs.co.jp/technology/technology5.html>

MATSUNAGA GEO SURVEYより引用



鋼球を打撃した場合の接触時間は、既往の実験式より、 $TC=0.0043D$ を採用。

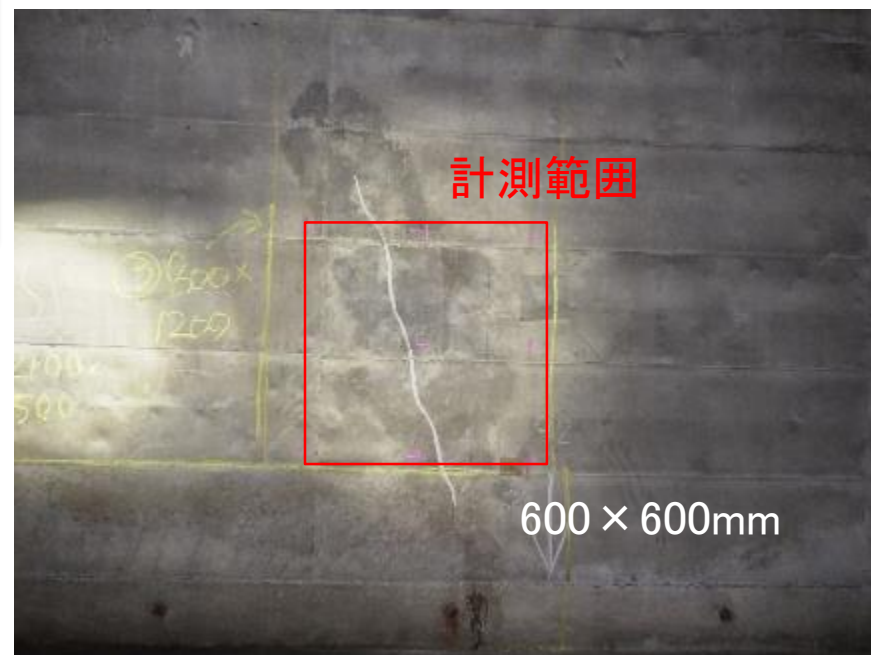
この接触時間×2を1波長として周波数及びレイリー波の1/2波長を、速度を2,400m/sと仮定して計算すると、下表の通りとなる。

鋼球直径 (m)	接触時間 T_c (μs)	重心周波数 (kHz)	レイリー波の1/2波長(mm)
0.003	12.90	38.8	31.0
0.010	43.00	11.6	103.2
0.020	86.00	5.8	206.4

3.7 実現場での弾性波計測

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。

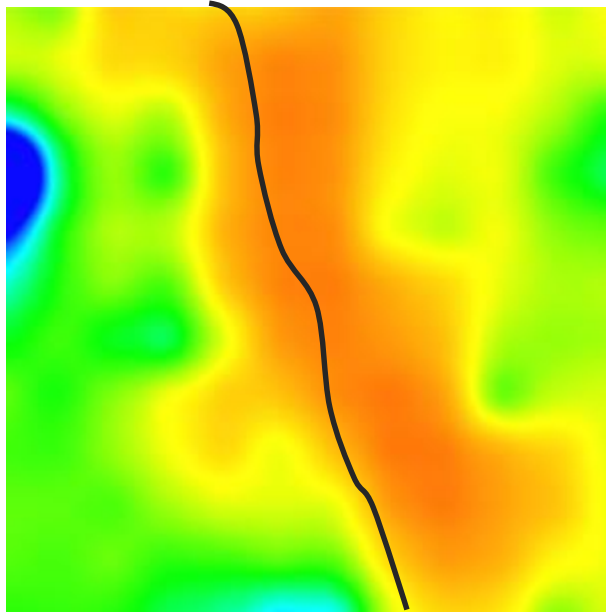


- 調査範囲
- ひび割れ

図-1.1 調査箇所

3.7 実現場での弾性波計測

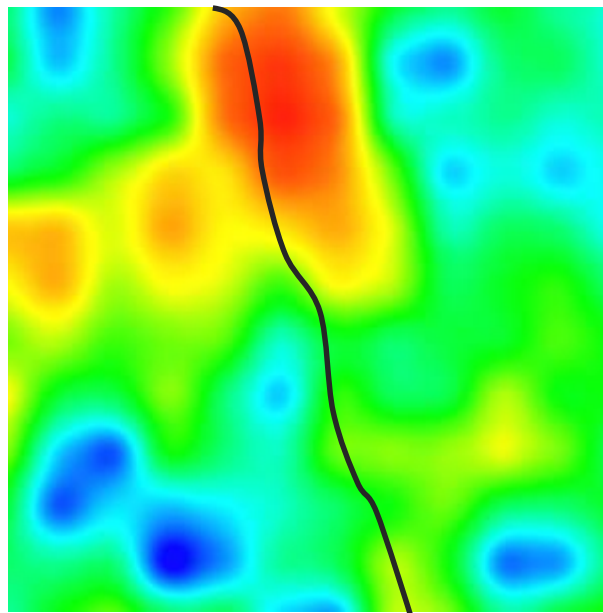
The results of the analysis -Comparison by diameter of the impact steel ball



CASE 3: D3

1/2 of wavelength of
Rayleigh wave (mm)

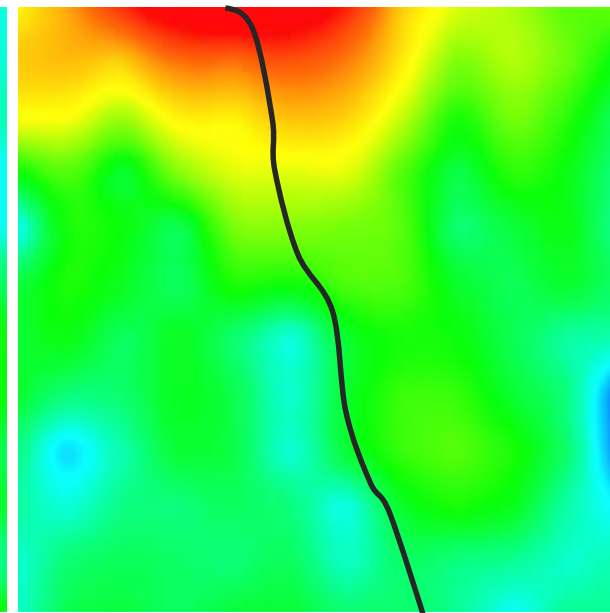
: 31 mm



CASE 4: D10

1/2 of wavelength of
Rayleigh wave (mm)

: 103 mm



CASE 5: D20

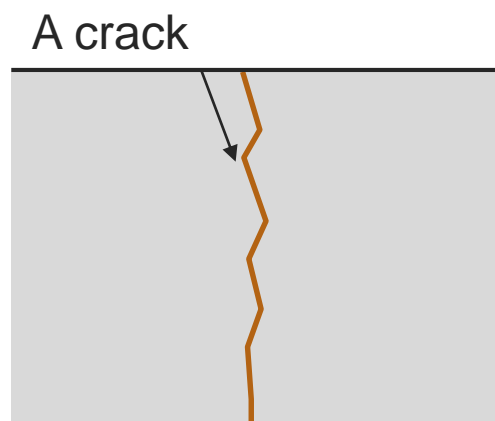
1/2 of wavelength of
Rayleigh wave (mm)

: 206 mm

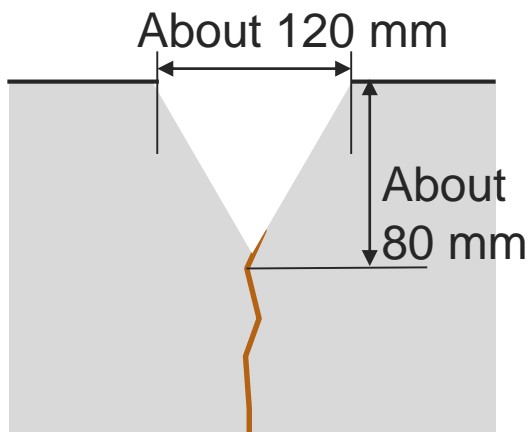
3 types of the steel balls were used. As the result, it was concluded, that only surface cracks occurred, and there is high probability that internal parts of the structure are not damaged.

3.7 実現場での弾性波計測

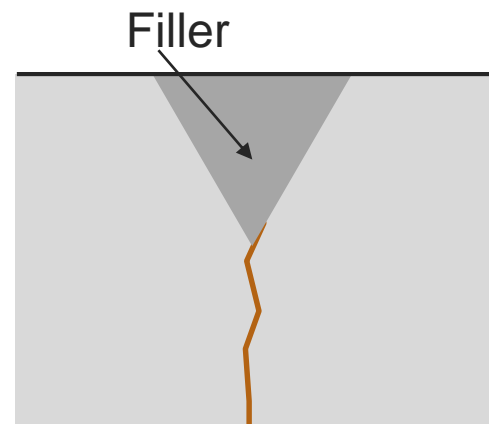
Surface wave tomography is another option to observe the repaired efficiency of leakage. Visual observation is performed by surface wave tomography instead of conventional visual inspection.



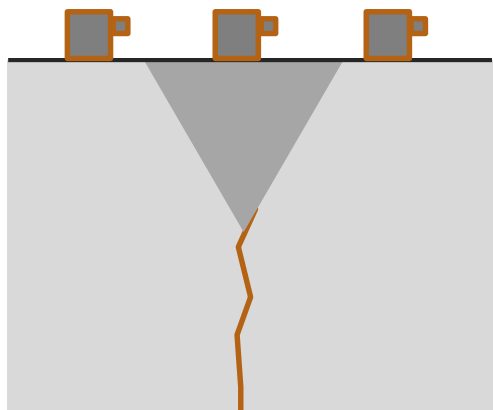
(a) A crack was found.



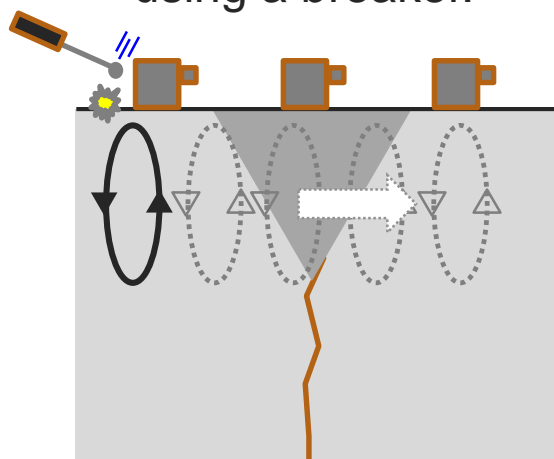
(b) Remove the crack by using a breaker.



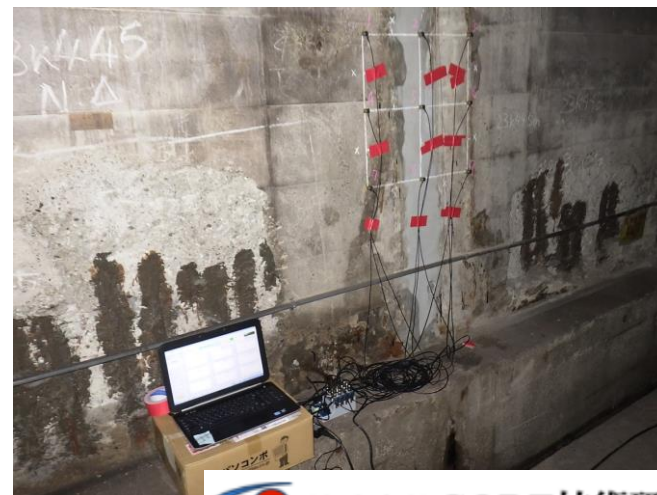
(c) Seal the crack with filler.



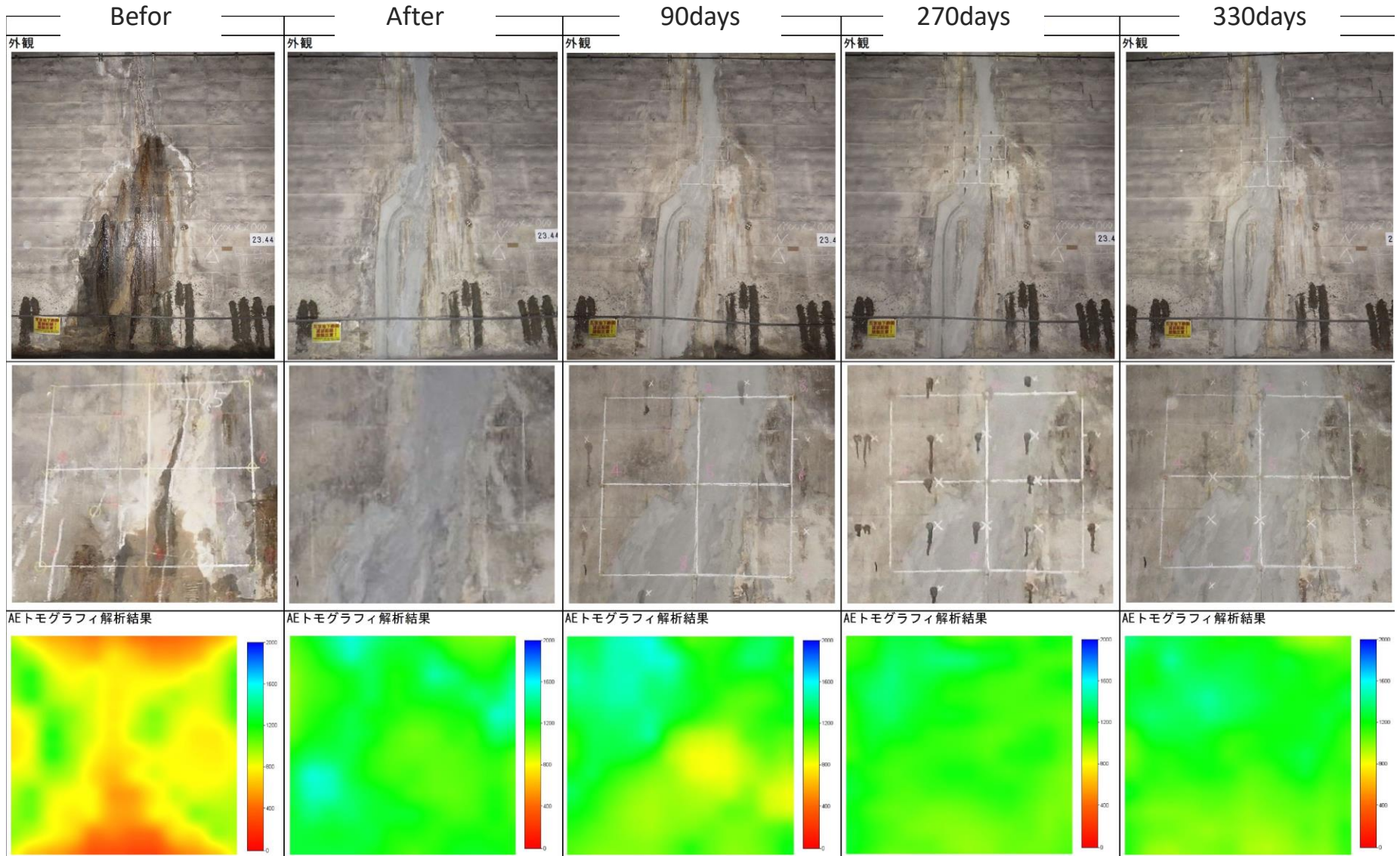
(d) Install AE sensors on the concrete surface.



(e) Impact the surface



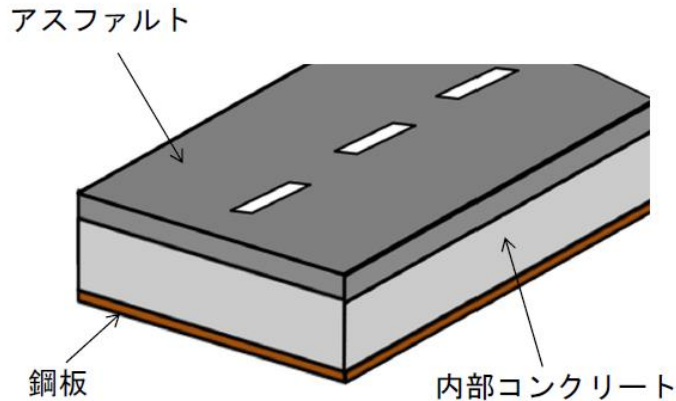
3.7 実現場での弾性波計測



3.8 実現場での弾性波計測(アンカーセンシング)

鋼板接着工法実施部の劣化に対して、内部のコンクリートの損傷状況を把握するために、鋼板接着工法で使用する**仮止めアンカー**を**センシング**として活用する新たな衝撃弾性波の計測方法である。

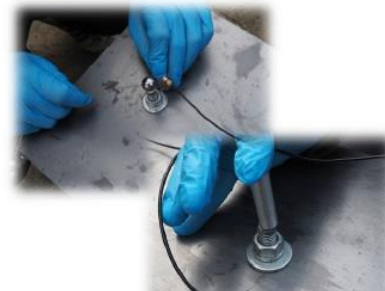
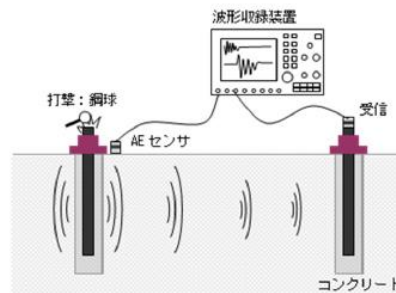
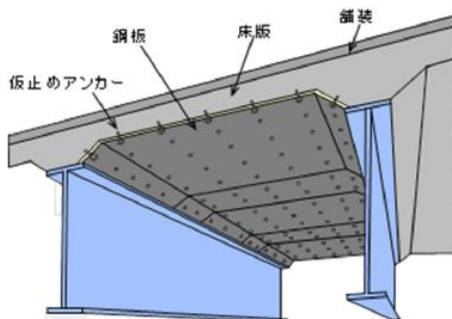
*本技術は、京都大学インフラ先端技術研究講座の中で、京都大学、Nexco西日本、阪神高速、CORE技術研究所の4社で共同開発した技術です。



上下挟まれたRC床版(内部のコンクリート)の劣化状態(健全性)を直接的に評価できる検査手法の開発

求める検査手法

- 1) 構造物にダメージを与えない
- 2) 規制等の交通障害をしない



3.9 実現場での弾性波計測(アンカーセンシング)

打音検査において、鋼板にうきが見られる箇所に対して、アンカーセンシングを実施した。

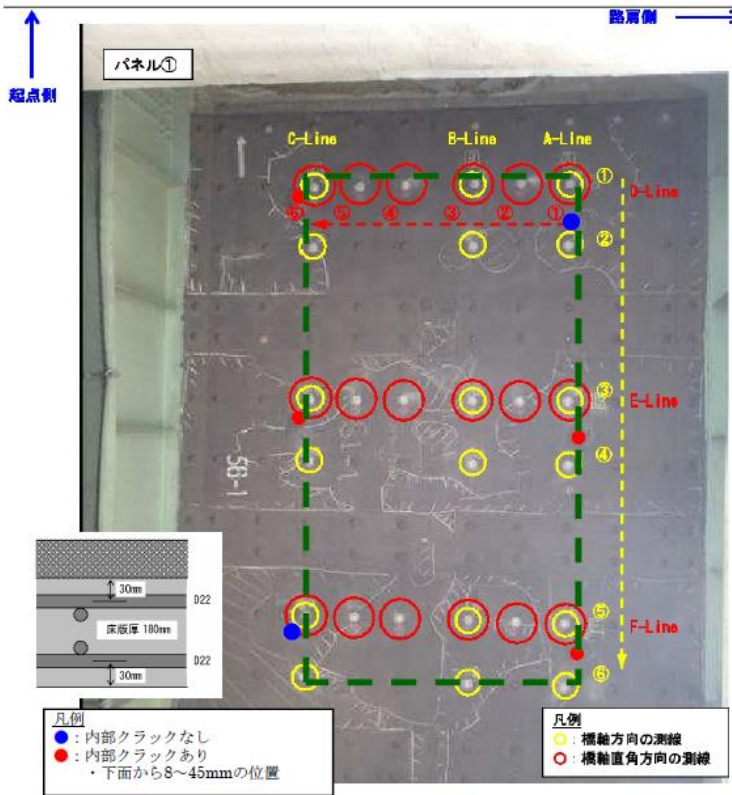


図- 鋼板接着の打撃状況

図- 受信センサ設置状況

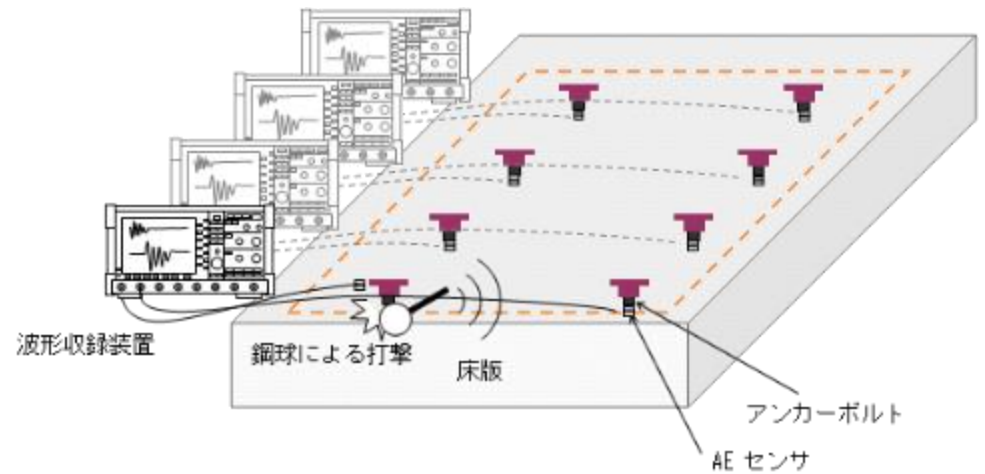


図- 調査概要図

3.8 実現場での弾性波計測(アンカーセンシング)

本手法は、鋼板を直接伝わってくる弾性波の影響を除去するために、レイリー波に着目した。

また、レイリー波を解析したところ卓越周波数12kHz帯において劣化に対して敏感に変化することが確認されており、計測されたレイリー波(12kHz)の伝播速度分布を解析することで、鋼板内部のコンクリートの変状状況を把握することとした。

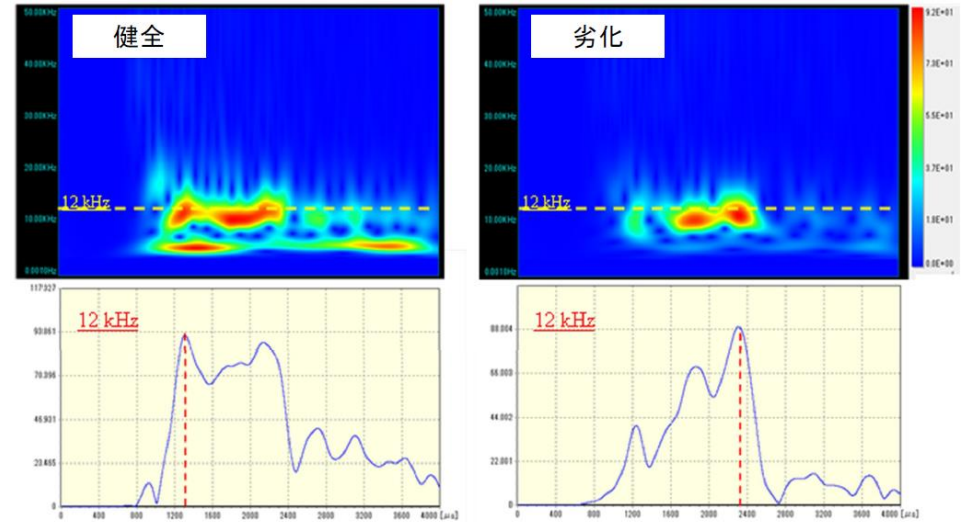
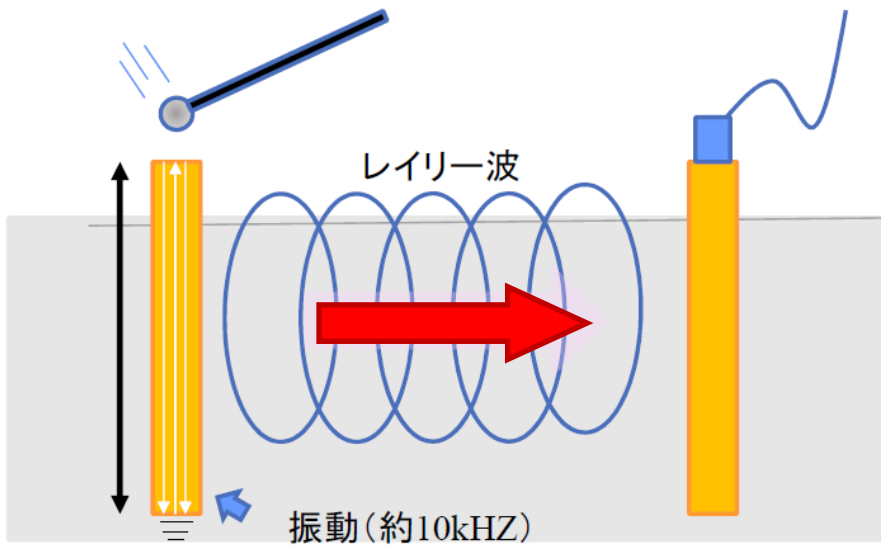


図- レイリー波の伝播イメージ

図- 12kHzのエネルギー変化

3.8 実現場での弾性波計測(アンカーセンシング)

打音検査において、鋼板にうきが見られる箇所に対して、アンカーセンシングを実施したところ、内部の弾性波の伝播速度の解析結果よりコンクリートの変状状況を把握することができた。

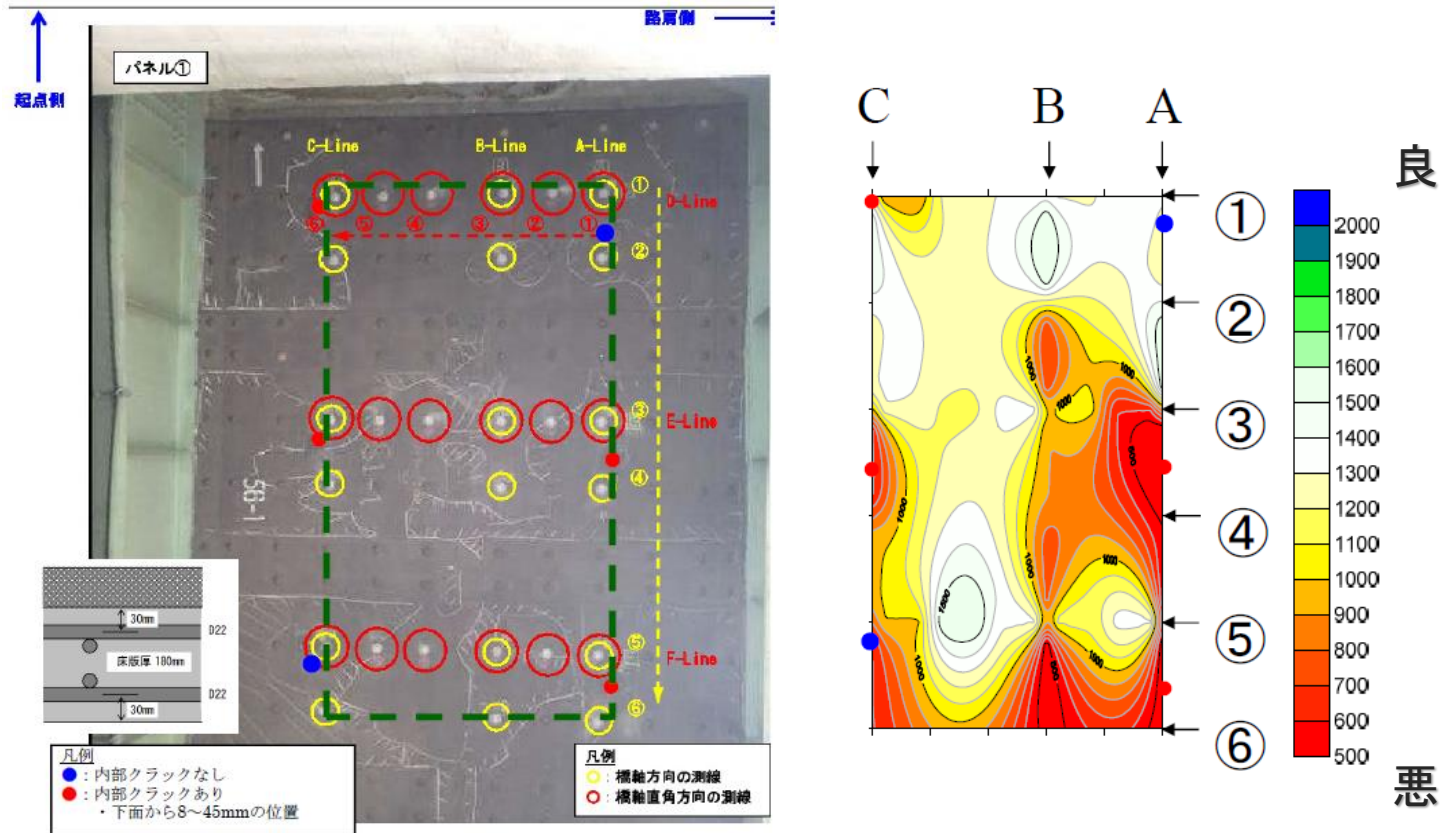


図- アンカーセンシング調査結果

3.8 実現場での弾性波計測(アンカーセンシング)

橋梁概要

上り線、上流側のコンクリートでは、塩害による劣化が顕著



3.8 実現場での弾性波計測(アンカーセンシング)

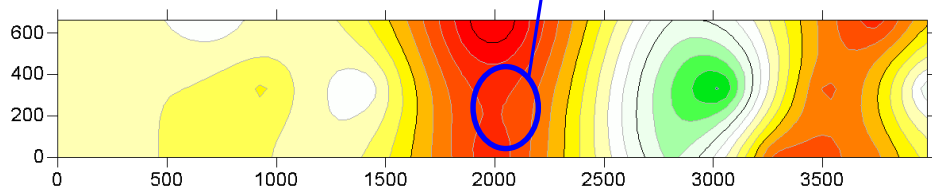
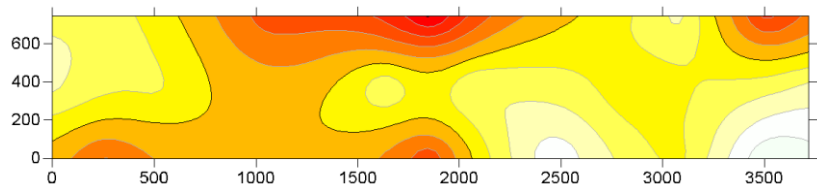
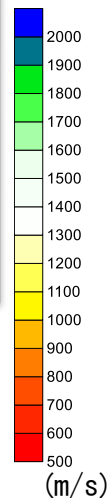
計測結果

過年度点検で舗装にひびわれが発生した箇所である。

現在は補修されひび割れは確認できない。



舗装にポットホールが生じている。
調査の結果、ポットホール位置とアンカーセンシングの位置が一致している

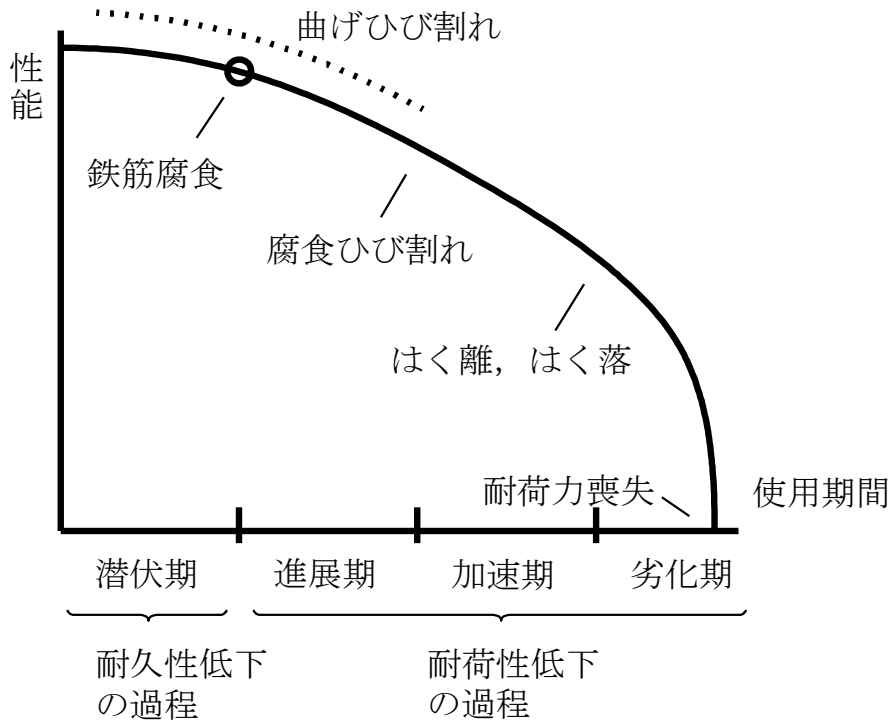




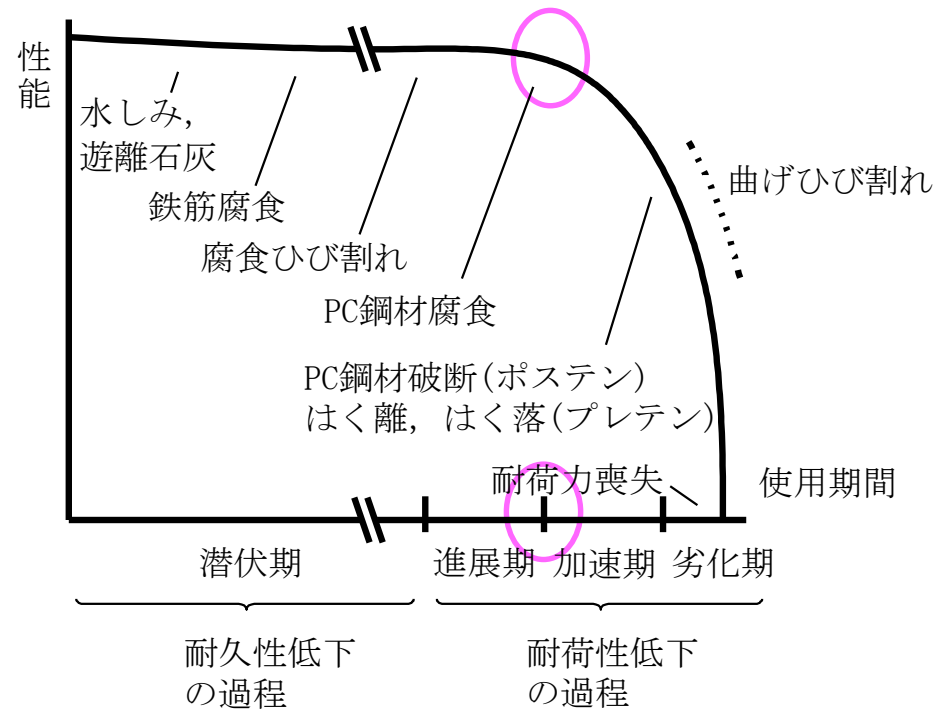
評価・診断 補修・補強



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

4.2 構造特性と耐荷力

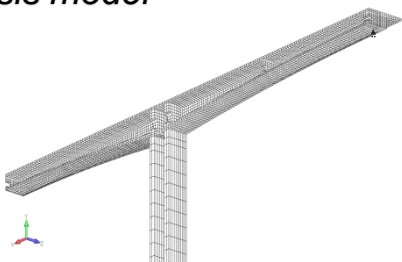
構造特性が耐力に及ぼす影響要因の例

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	耐力の余裕量の違い

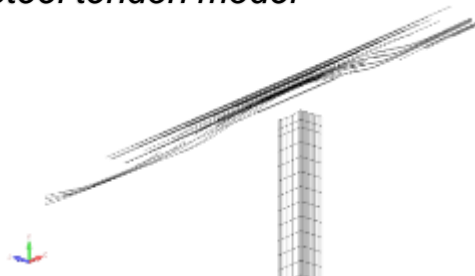
4.3 PC構造物の診断 【時間依存性解析】

- 持続荷重(プレストレス、死荷重)によるクリープひずみを解析
- 各施工ブロックのコンクリート材令の差を考慮した乾燥収縮ひずみを解析

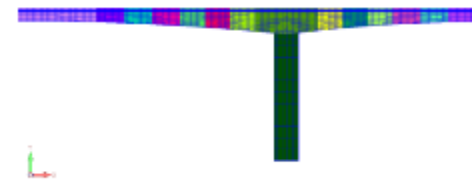
Analysis model



Steel tendon model

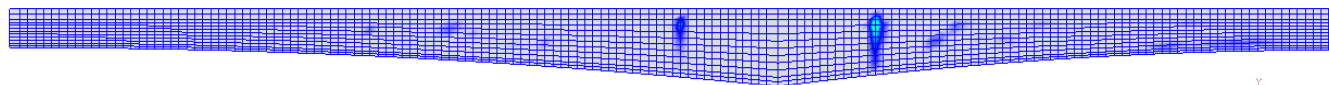


Creep and drying shrinkage settings

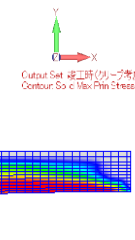
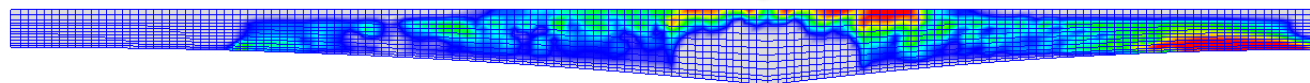


Analysis result (side of a web)

At completion



After 20 years



Checking the creep and drying shrinkage strain in the web 20 years after the completion

4.4 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	○	

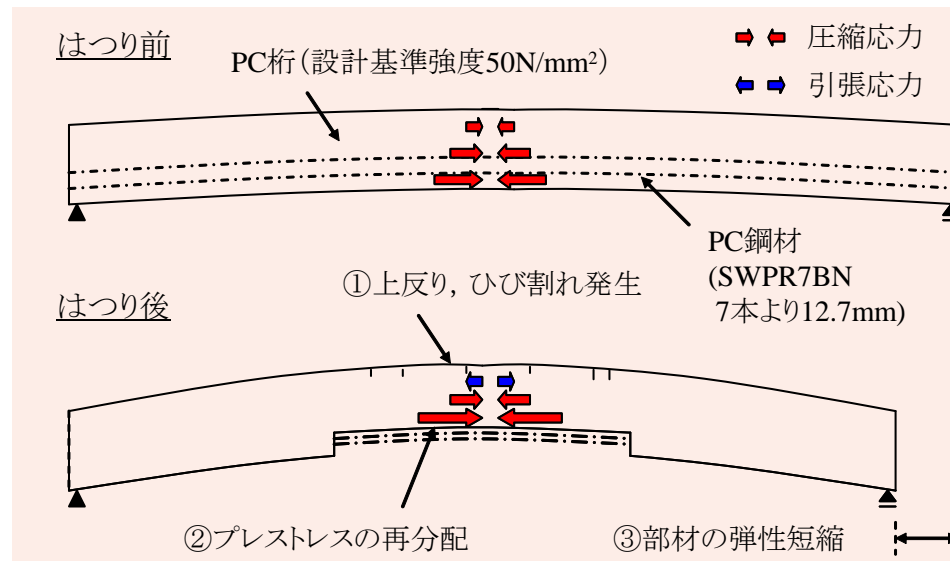
4.4 補修および補強

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		○		

4.5 対策における留意点

① 塩害対策における留意点

- 断面修復工法を適用する場合は、プレストレスの再分配に対する安全性の検討を行う。



断面はつりがPC部材の挙動に及ぼす影響

- 電気化学的補修工法を適用する場合は、電流量によるPC鋼材の水素脆化に対する考慮が必要。

4.6 補修材料

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。

自己治癒経過

(a) 3日後 (b) 7日後
(c) 14日後 (d) 28日後
(e) 40日後 (f) 200日後

普通コンクリート

膨張反応

防水材料

断熱反応

CSA系膨張材

炭酸基系化学混和材

ジオマテリアル

[1] 膨張反応 [2] 膨張反応 [3] 化学反応

補修前

補修後

5本入/箱

SERIC
Sustainable Engineering Research
Innovative Consultant Japan

Crackey


4.6 補修材料 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

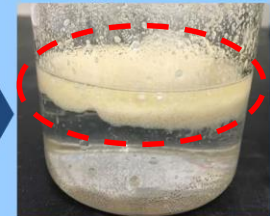
油類環境

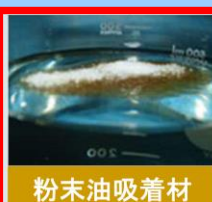


特殊混和材添加




油分のゲル化

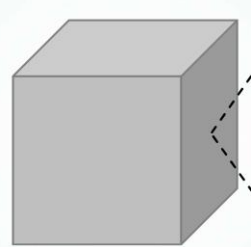




粉末油吸着材



自己治癒材料



補修材orコンクリートへ混入

油吸着材

自己治癒

油吸着材

自己治癒

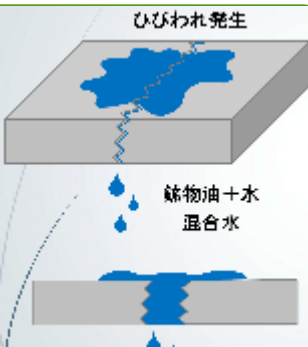
油吸着材

自己治癒

油吸着材

自己治癒

Power-Healing-A0 イメージ



ひびわれ発生

疎油油+水
混合水



第1段階

ゲル化

第2段階


析出

自己治癒成分と水が反応し、
析出を生成

0.25mmのひび割れに油を浸漬

油類吸着と止水性能確認



以降
油分の浸透なし

浸透方向

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。

Thank you for your attention!