

コンクリート構造物の補修・補強に関するフォーラム 2020

コンクリートの非破壊診断技術の 有効活用に向けて

～ **使いたくなる技術**を生み出す**研究開発の進め方** ～

大阪大学大学院 工学研究科 鎌田 敏郎

講演内容

① 橋梁PC桁におけるグラウト充填不良の検出

かぶりコンクリートの品質の影響を除去するための

弾性波(接触型)から電磁場応答(非接触型)へのイノベーション

② 地中に埋設されたコンクリート下水管の健全度診断

ターゲット(評価対象)の絞り込みと

ユーザーのニーズをふまえた結果の見せ方

講演内容

① 橋梁PC桁におけるグラウト充填不良の検出

かぶりコンクリートの品質の影響を除去するための

弾性波(接触型)から**電磁場応答(非接触型)**へのイノベーション

② 地中に埋設されたコンクリート下水管の健全度診断

非破壊で得られた情報を

どこまで「本当に使いたくなる情報」に変えられるか？

PCグラウト充填不良による変状事例



横締めPC鋼棒の破断



鉛直締めPC鋼棒の破断

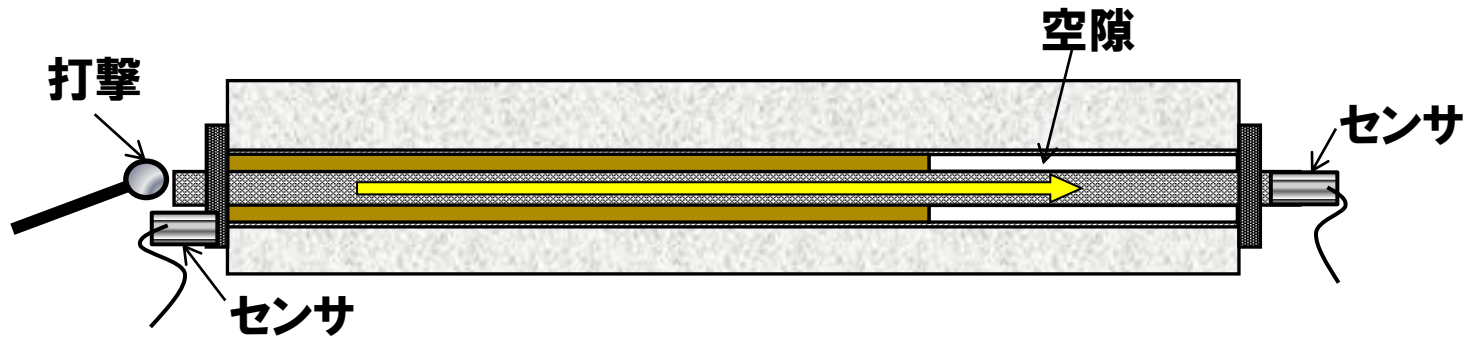
グラウト未充填箇所を非破壊で適確に検出したい



シースに沿ったひび割れ，エフロレッセンス

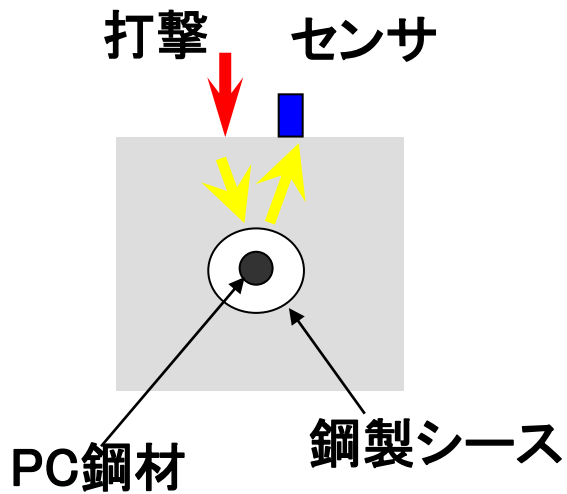
①全体的状況の把握(スクリーニング)

弾性波伝播速度による方法



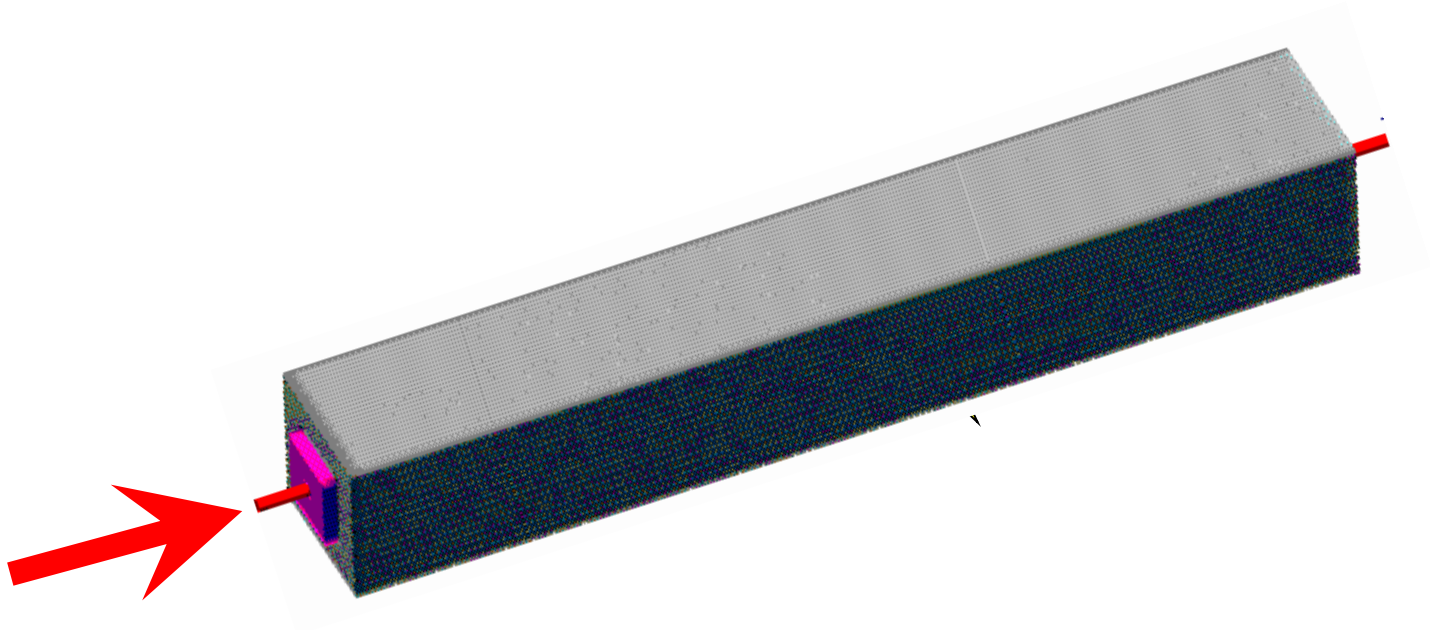
②局所的状況の把握（ポイント診断）

周波数特性による方法 (インパクトエコー法)

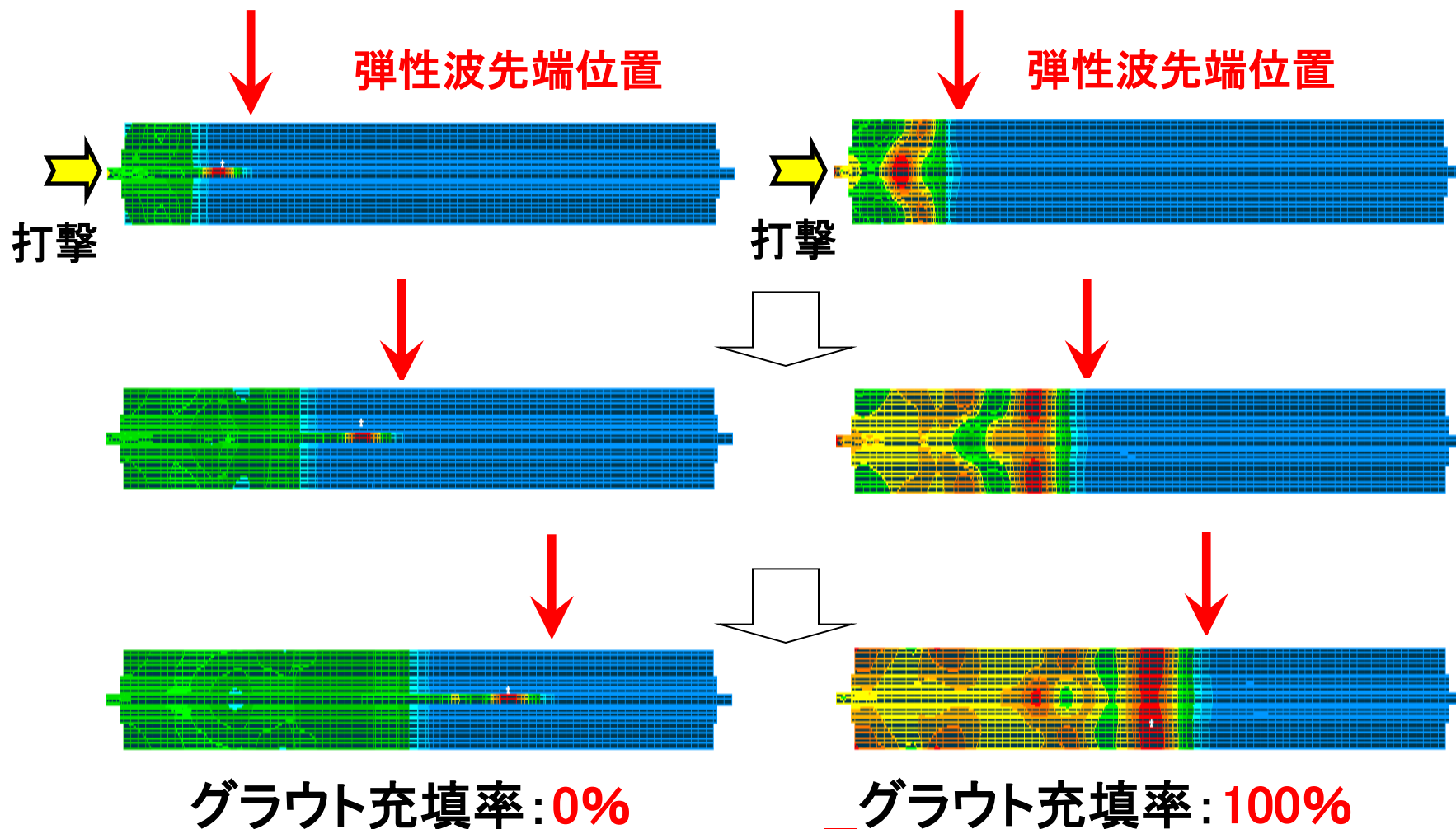


一般的な
従来法として
①および②

スクリーニングでの弾性波の伝播方向？



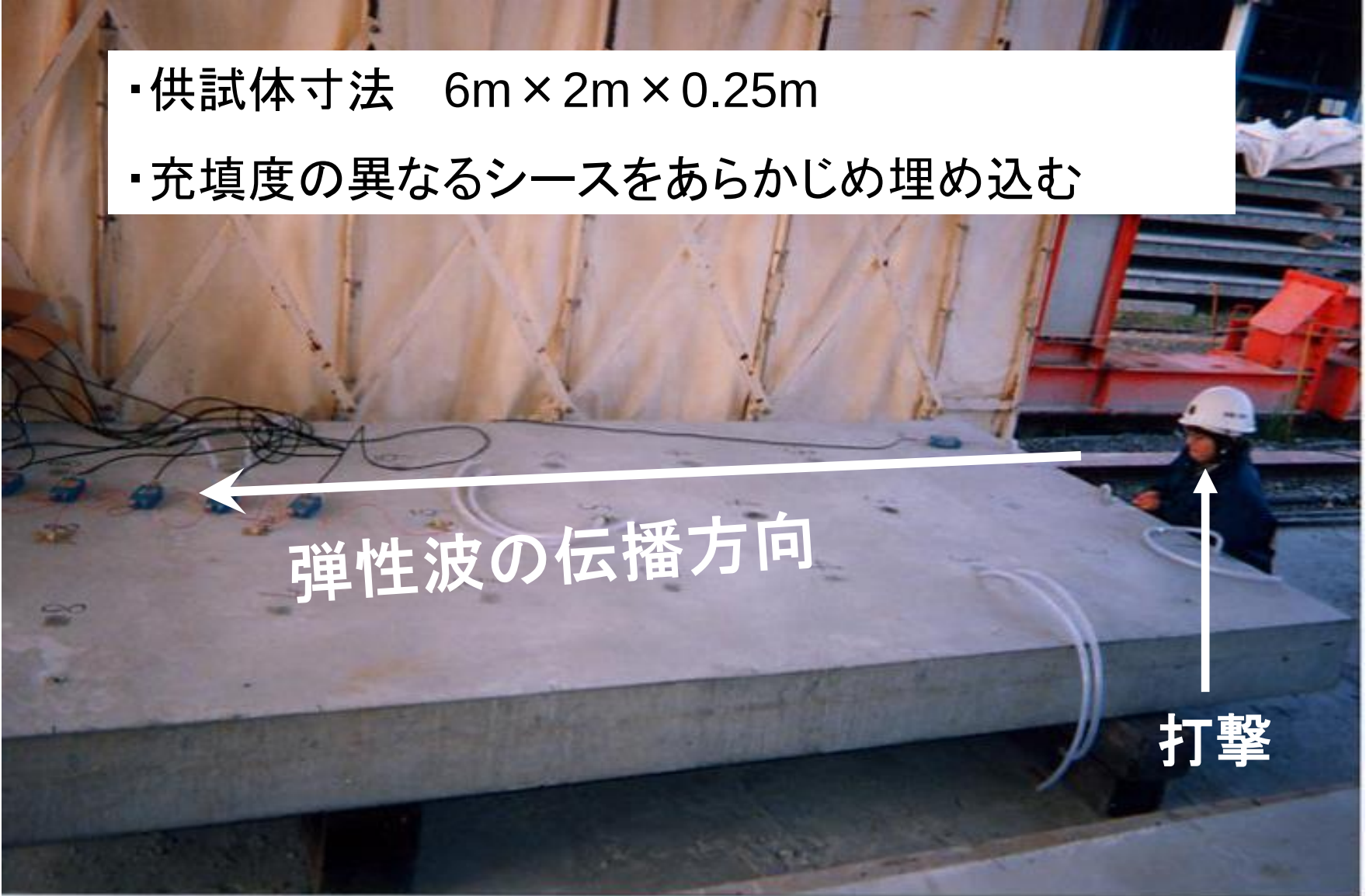
伝播速度による鋼棒1本当たりの スクリーニング



供試体実験

伝播速度とグラウト充填度の関係の把握

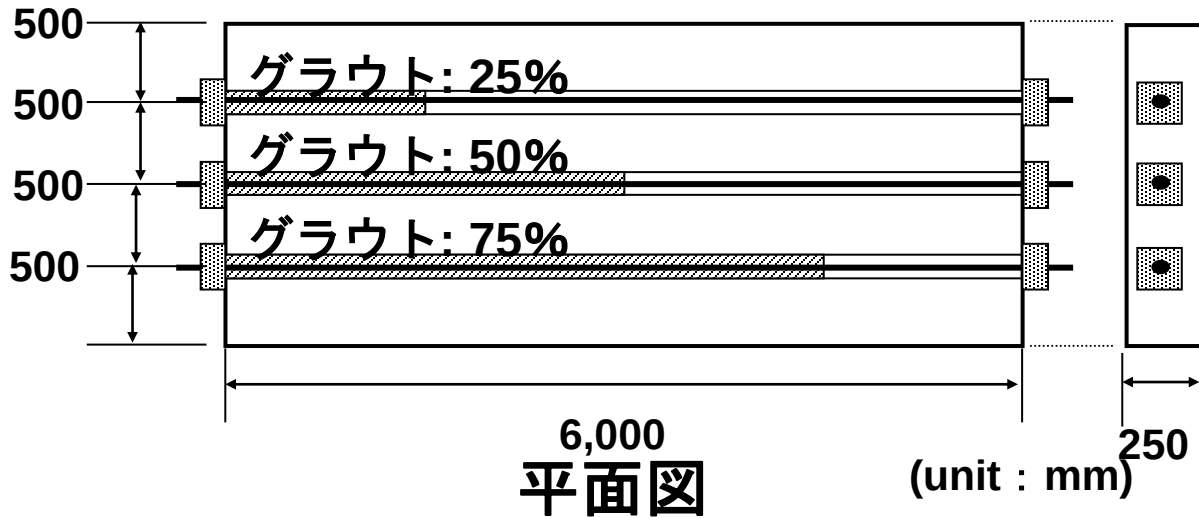
- ・供試体寸法 $6\text{m} \times 2\text{m} \times 0.25\text{m}$
- ・充填度の異なるシースをあらかじめ埋め込む



弾性波の伝播方向

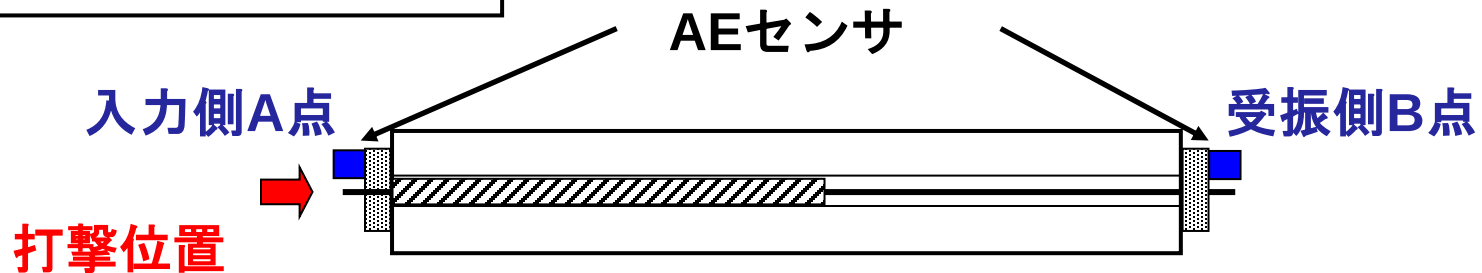
打撃

供試体の詳細



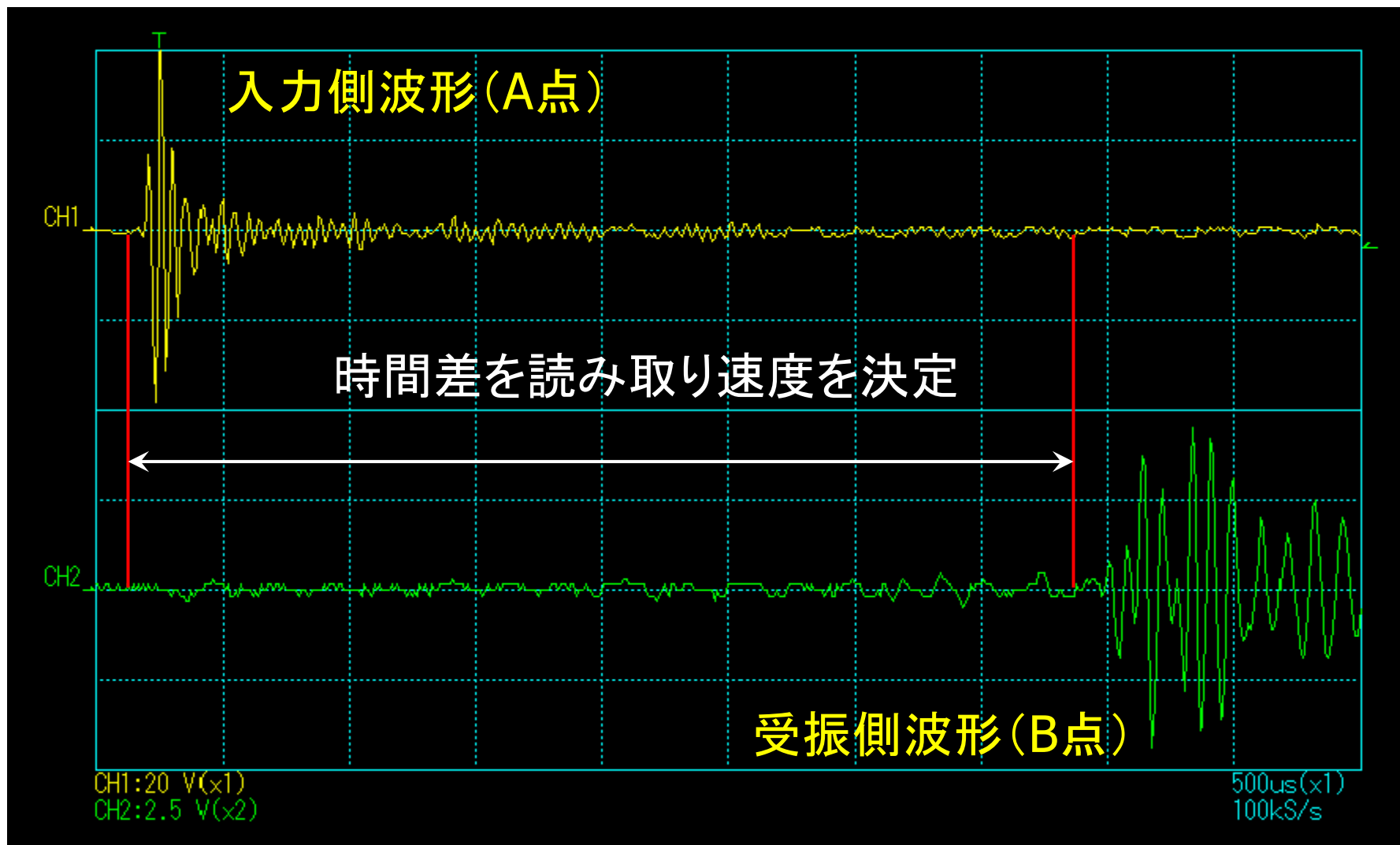
0%: 完全未充填

100%: 完全充填

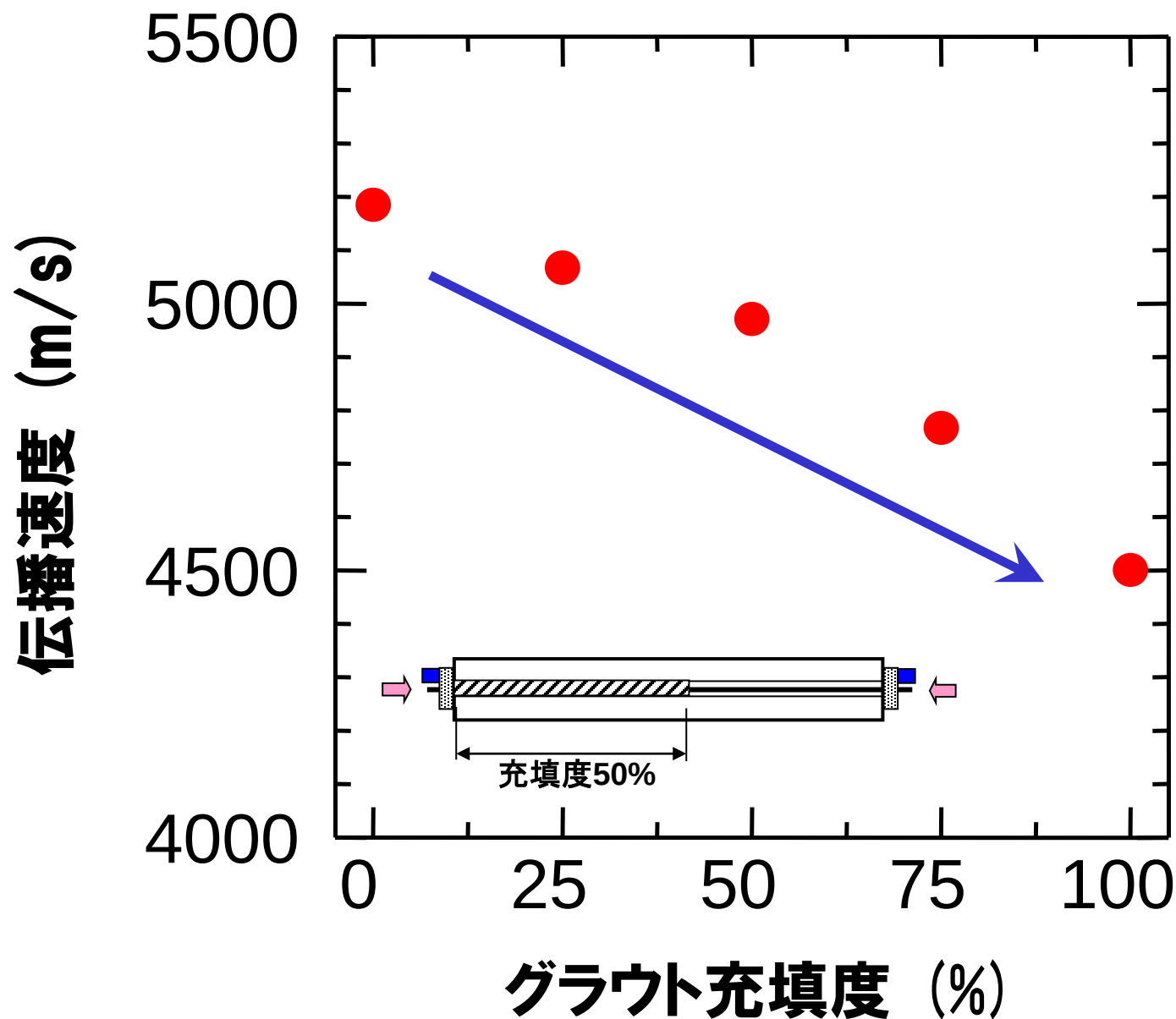


側面図

2点(A, B点)での弾性波の計測

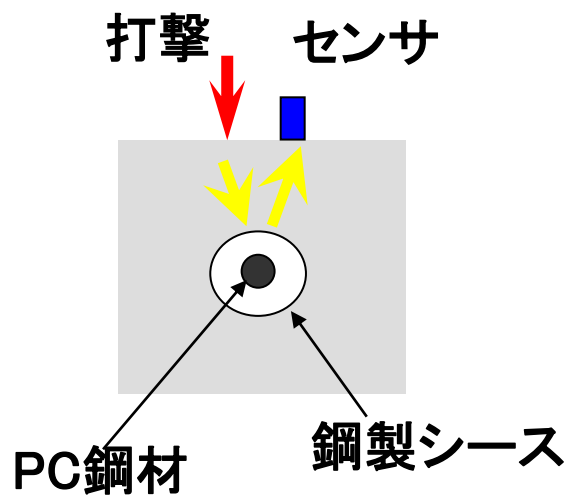


グラウト充填度と伝播速度の関係(実験)



②局所的状況の把握（ポイント診断）

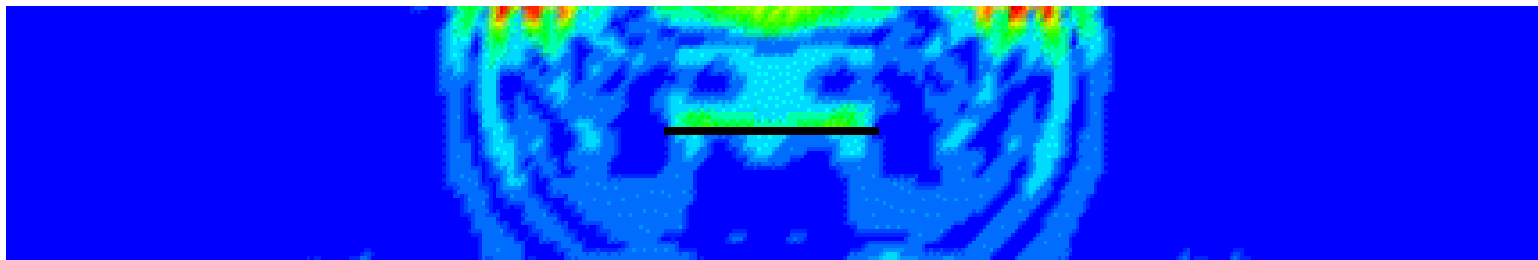
周波数特性による方法
（インパクトエコー法）



一般的な
従来法として
①および②

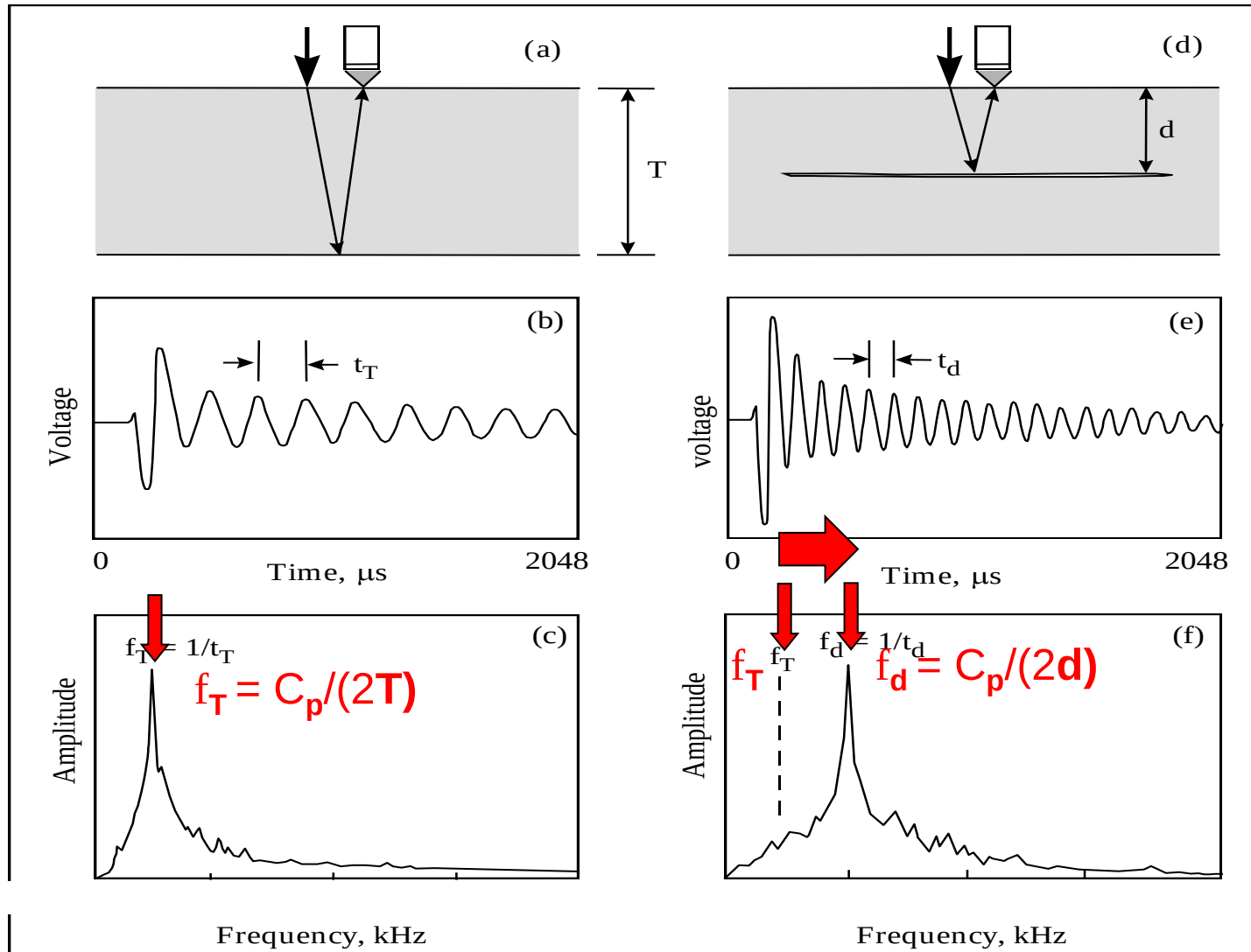
インパクトエコー法によれば
板状部材では、弾性波の多重反射のスペクトル
ピークから、何と！！欠陥深さがわかる。

水平ひび割れがある場合



インパクトエコー法の欠陥検出原理

(版厚: T , 欠陥深さ: d , 縦波伝播速度: C_p)

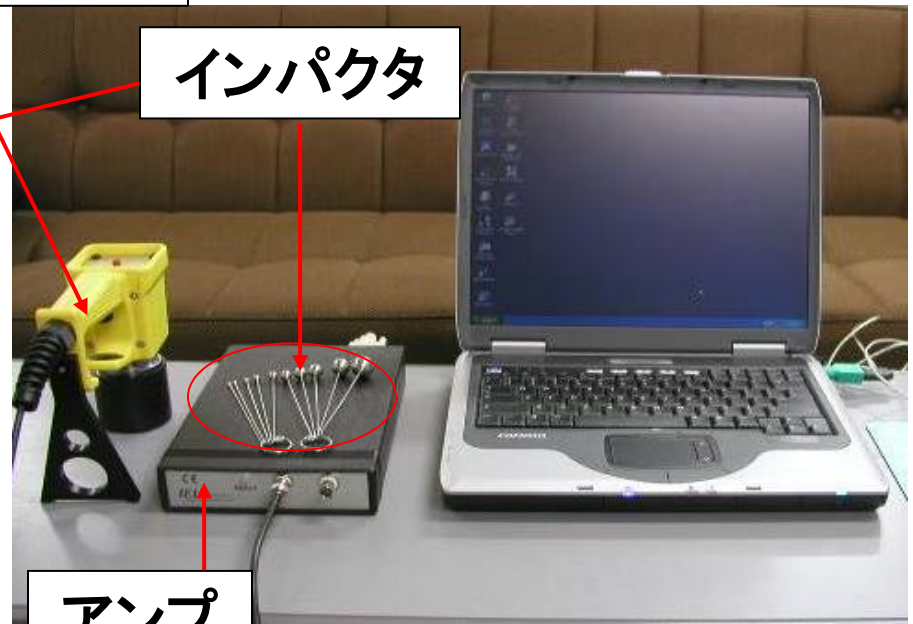


計測装置（インパクトエコー法）

コニカル型変位振動子

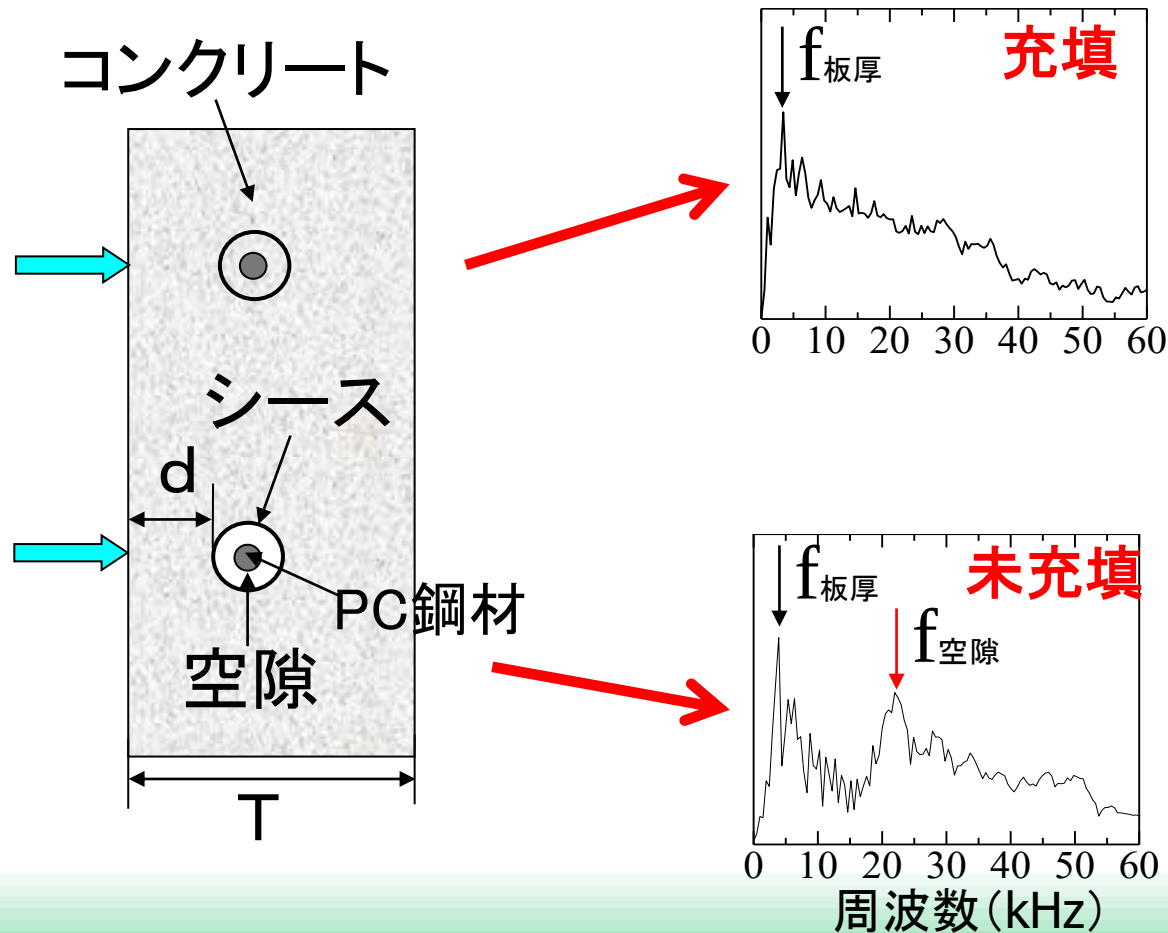


インパクト

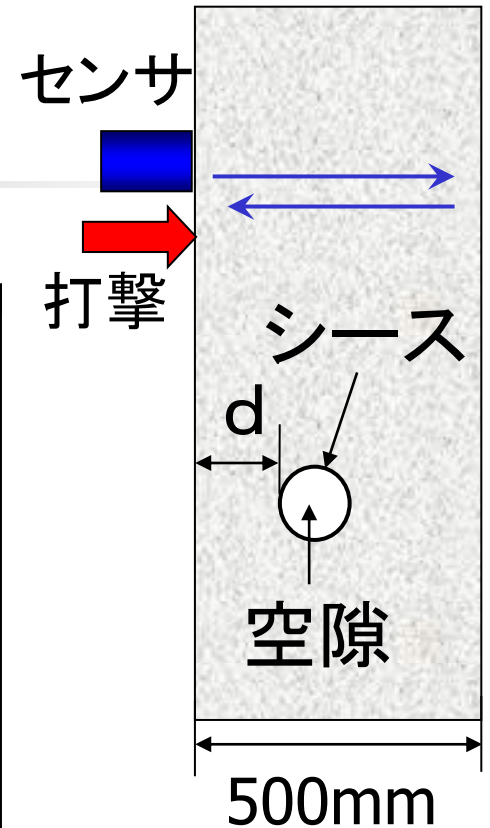
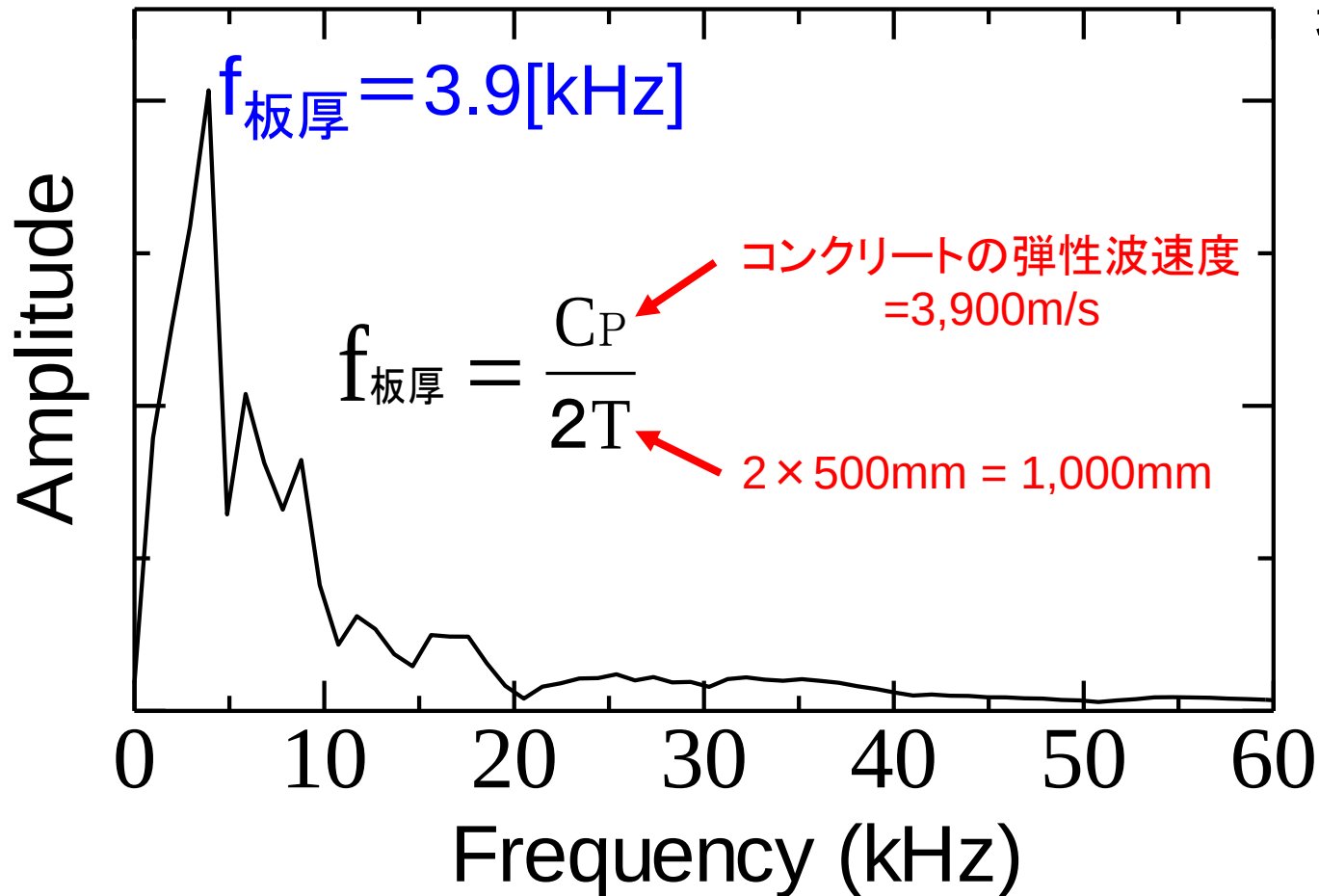
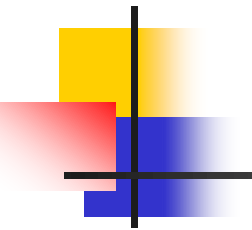


アンプ

同じ原理をPCグラウトの問題に適用

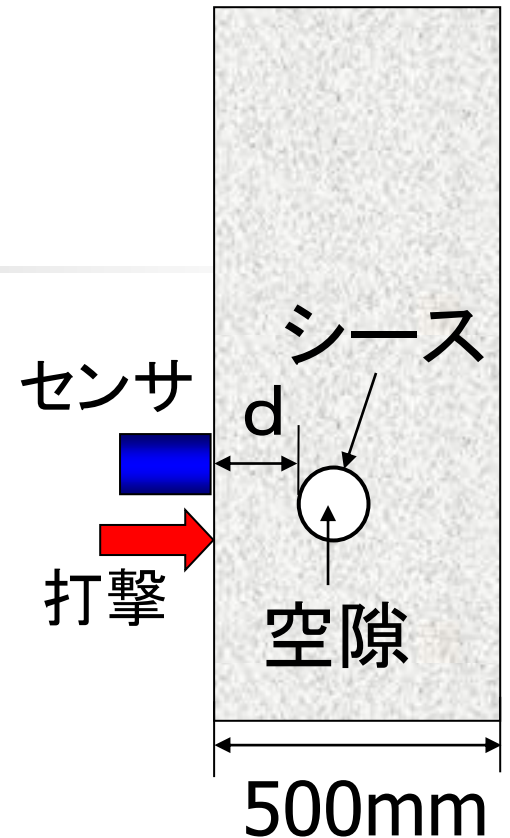
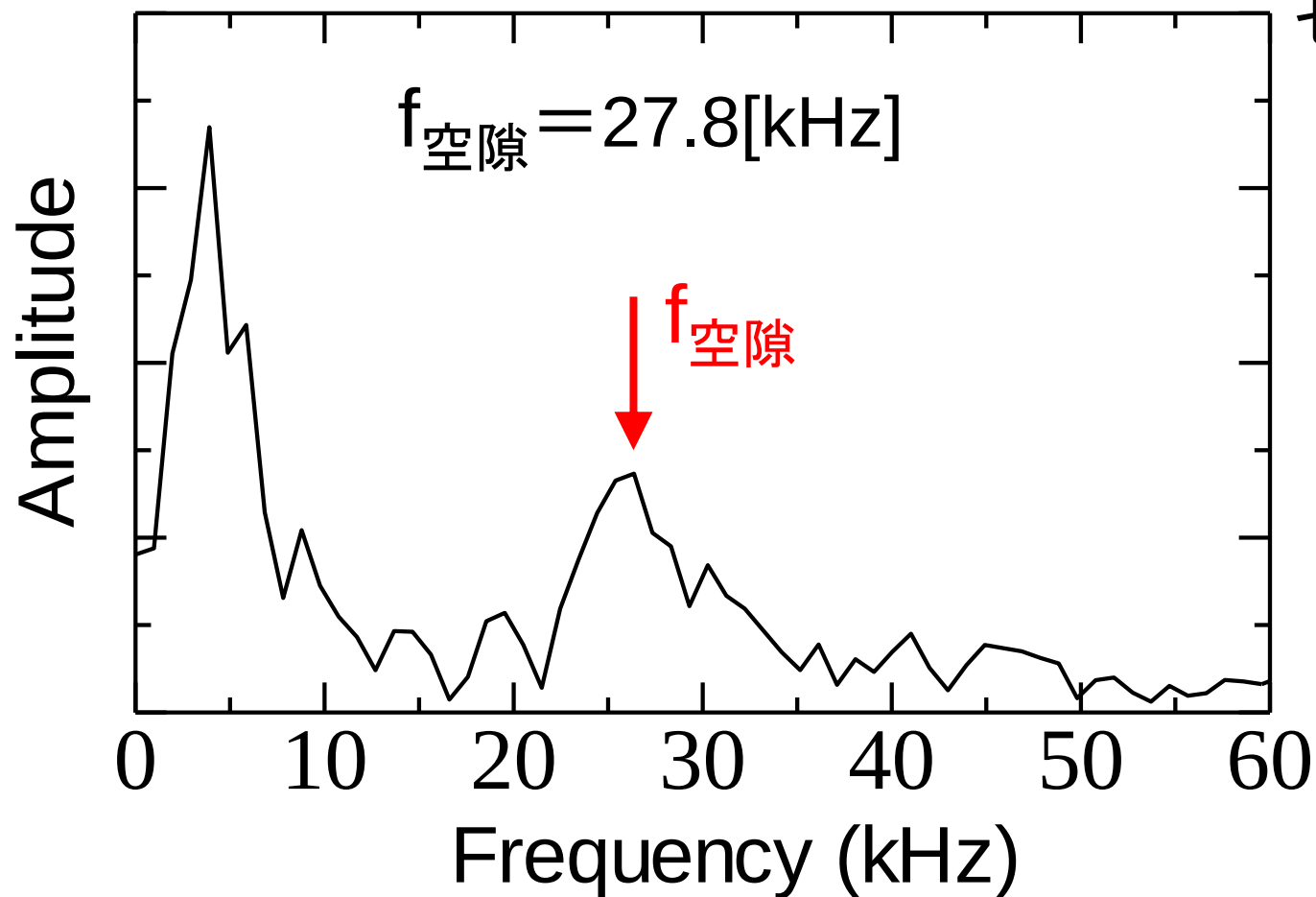


計測結果の例(健全部)



計測結果の例

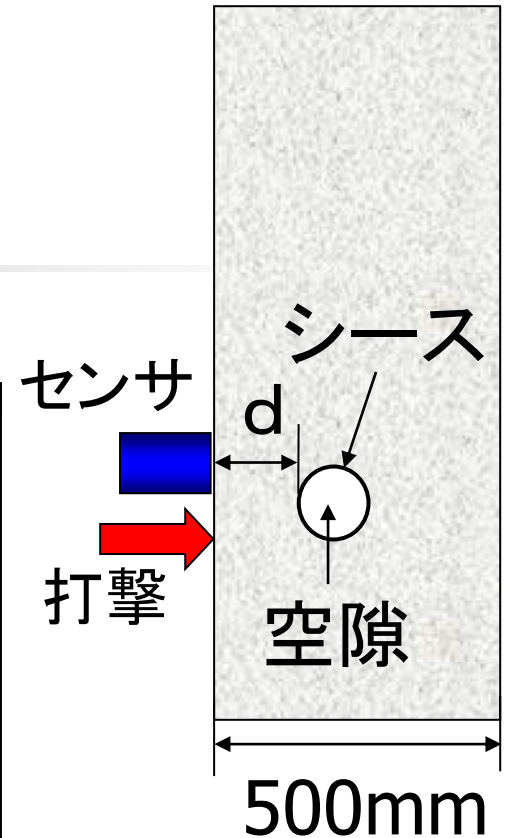
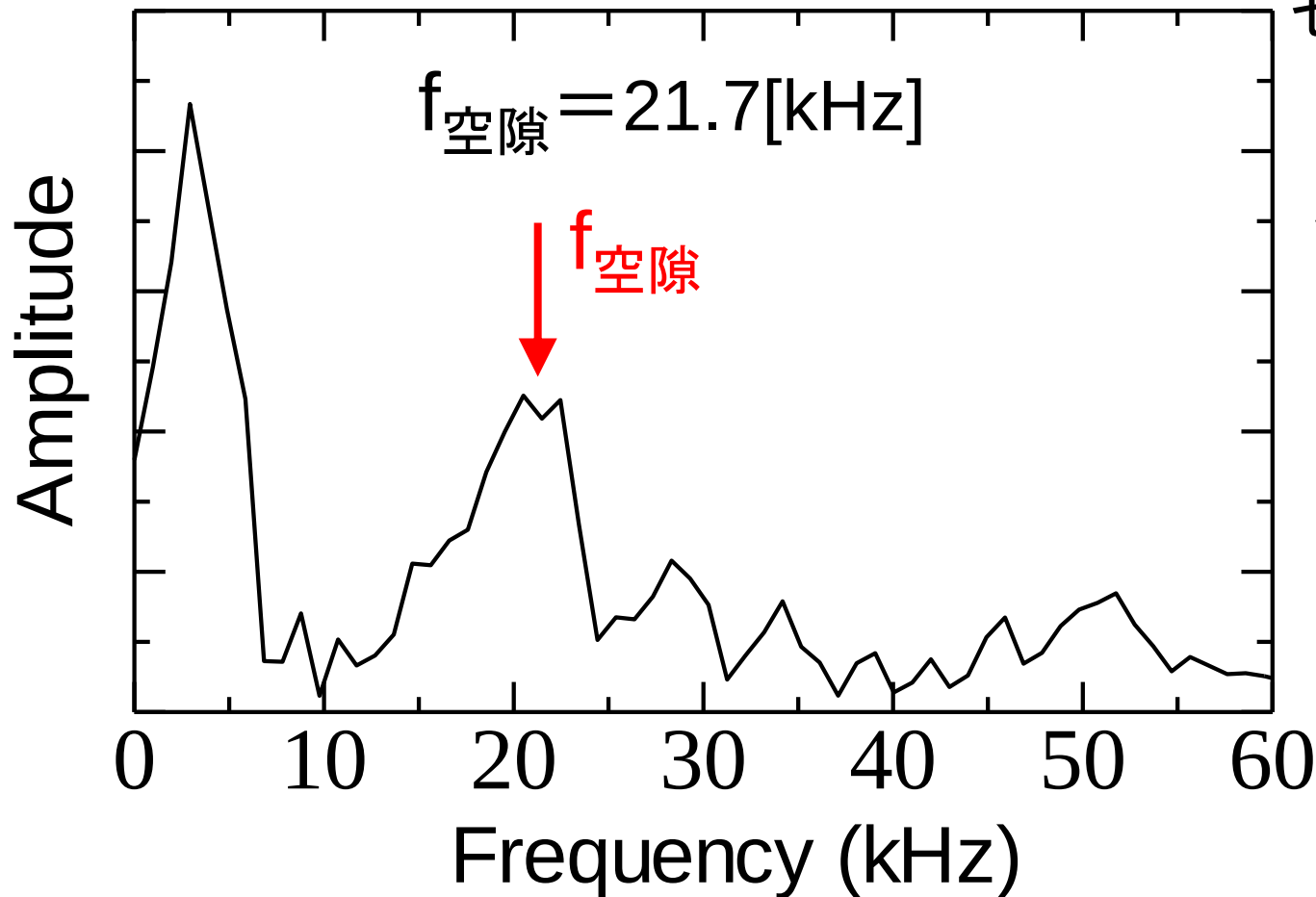
(空隙深さ $d=70\text{mm}$ 、 ϕ 90mm)



$$f_{\text{空隙}} = \frac{C_P}{2d}$$

計測結果の例

(空隙深さ $d=100\text{mm}$ 、 ϕ 90mm)



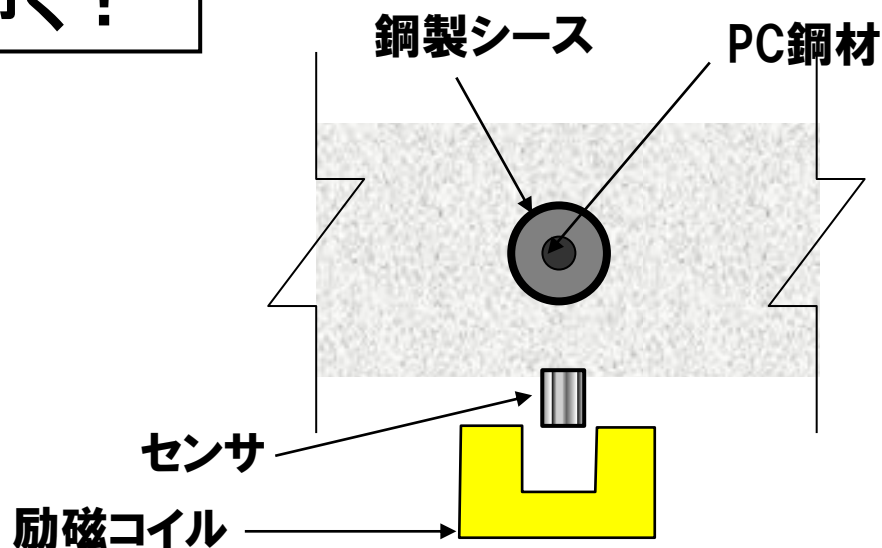
$$f_{\text{空隙}} = \frac{C_P}{2d}$$

イノベーション: Step 1

シースを何とか非接触で叩けないか？

③非接触シーす打撃による局所的状況（ポイント診断）

電磁パルス法により
シーすを**非接触**で叩く！



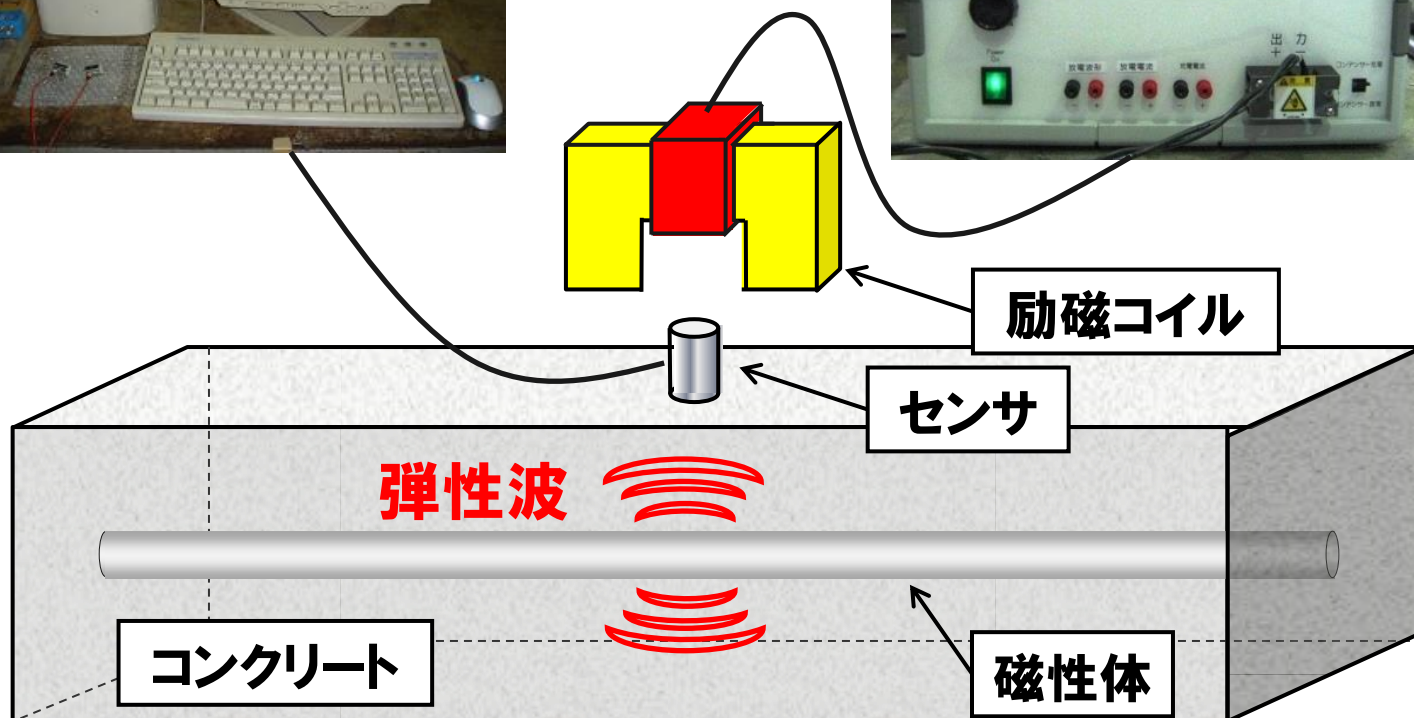
電磁パルス法

パルス状の電磁力によりコンクリート内部の磁性体を非接触で加振

波形収集装置

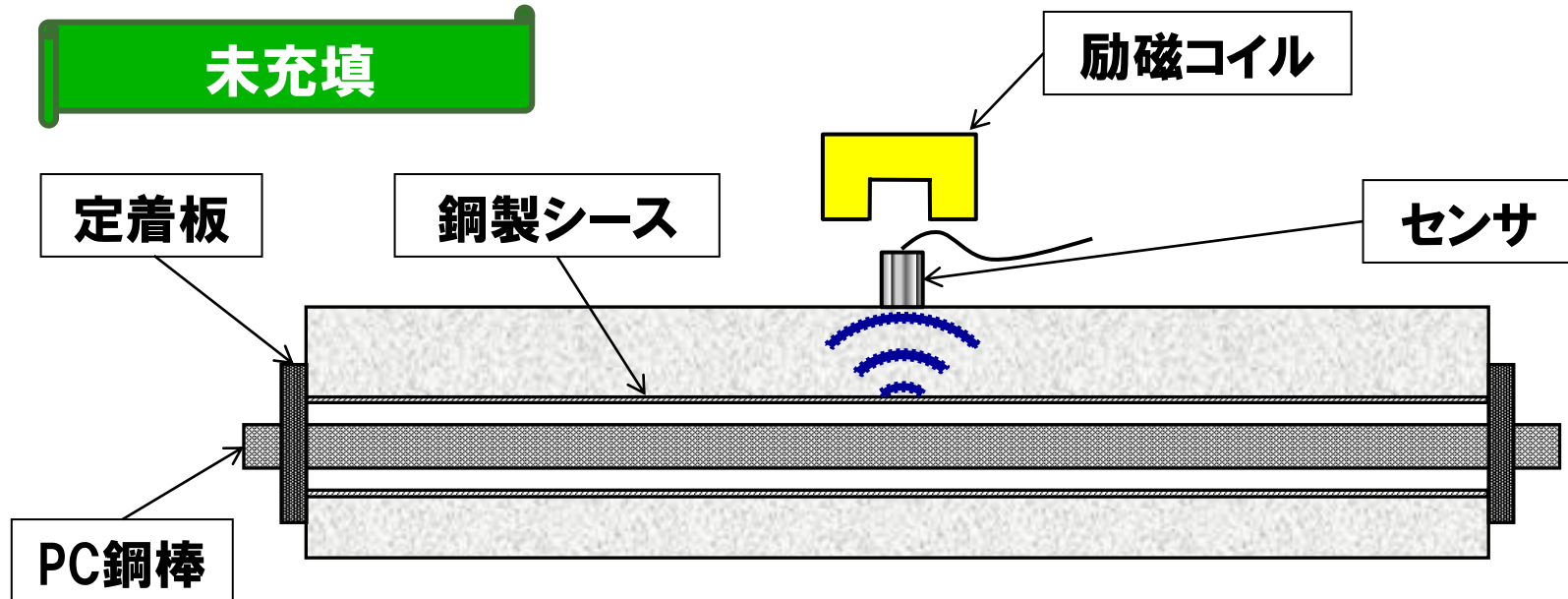


定電圧定電流発生装置

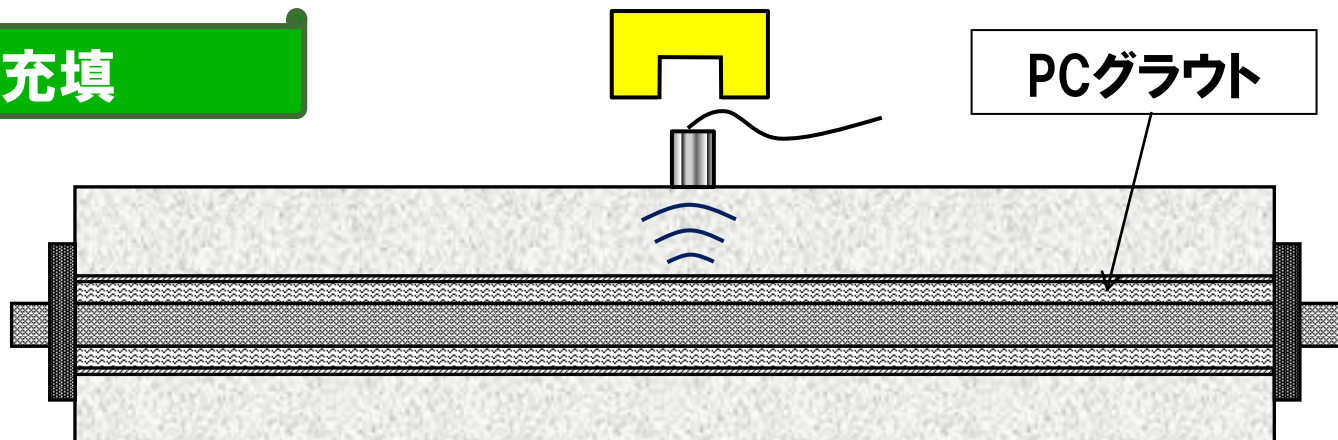


シースを電磁パルスにより**非接触**で叩いて評価

未充填



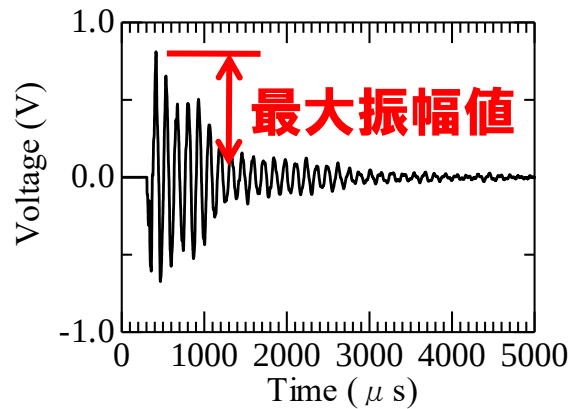
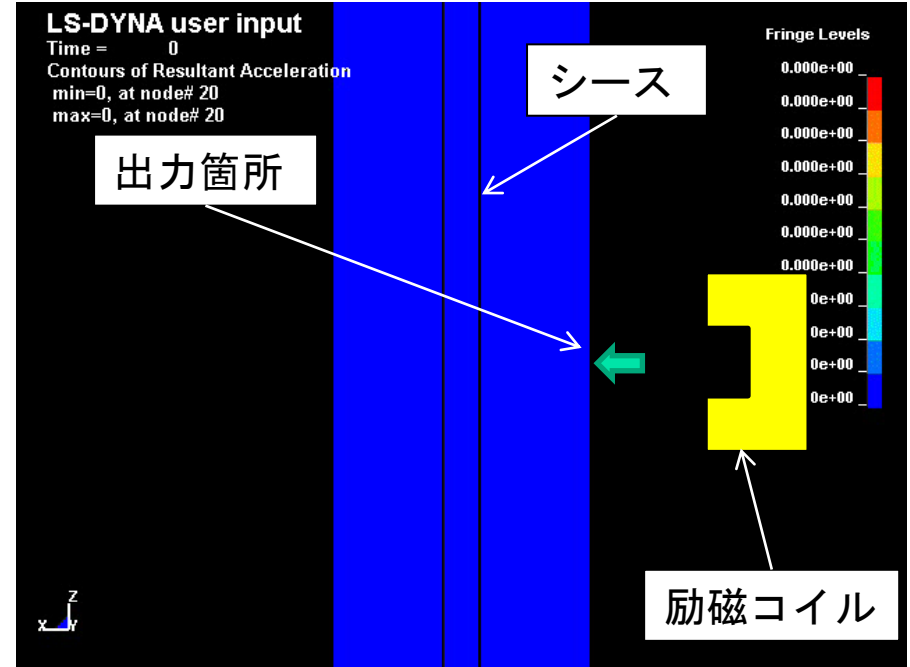
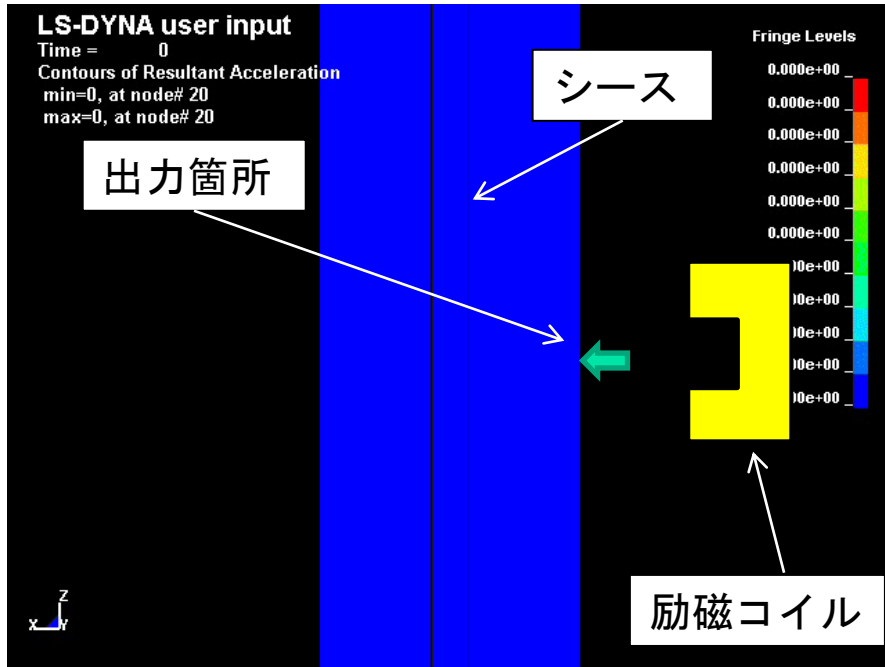
充填



弾性波伝播シミュレーション

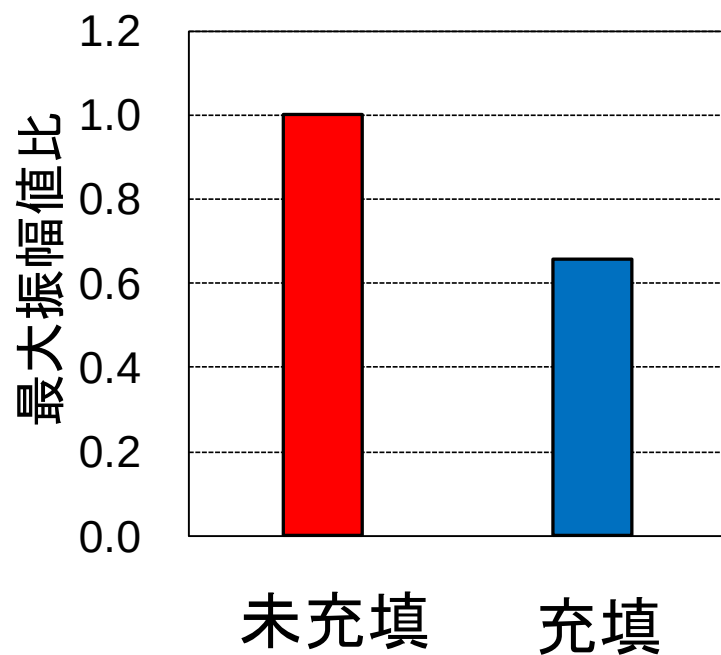
未充填

充填

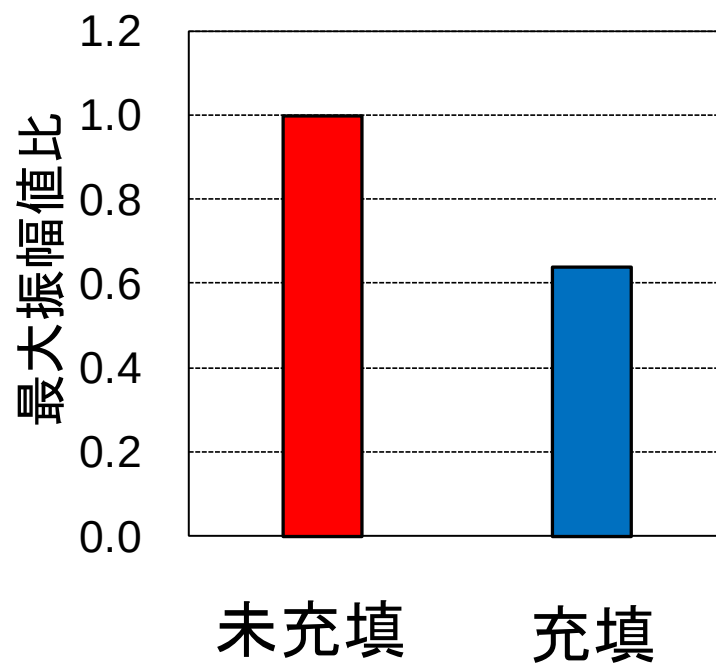


最大振幅値の比較

解析結果



実験結果（供試体）

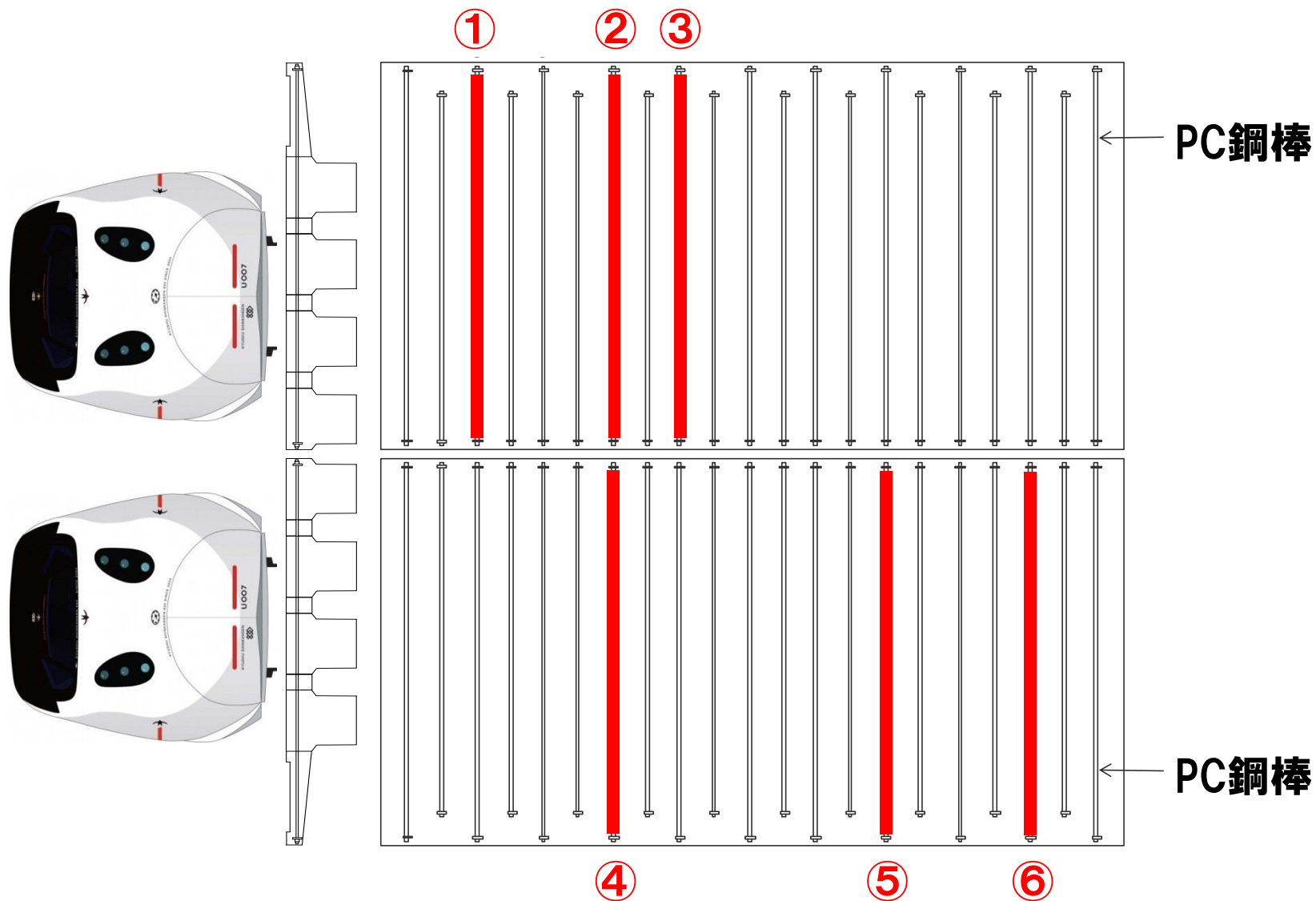


対象とした橋梁PC桁



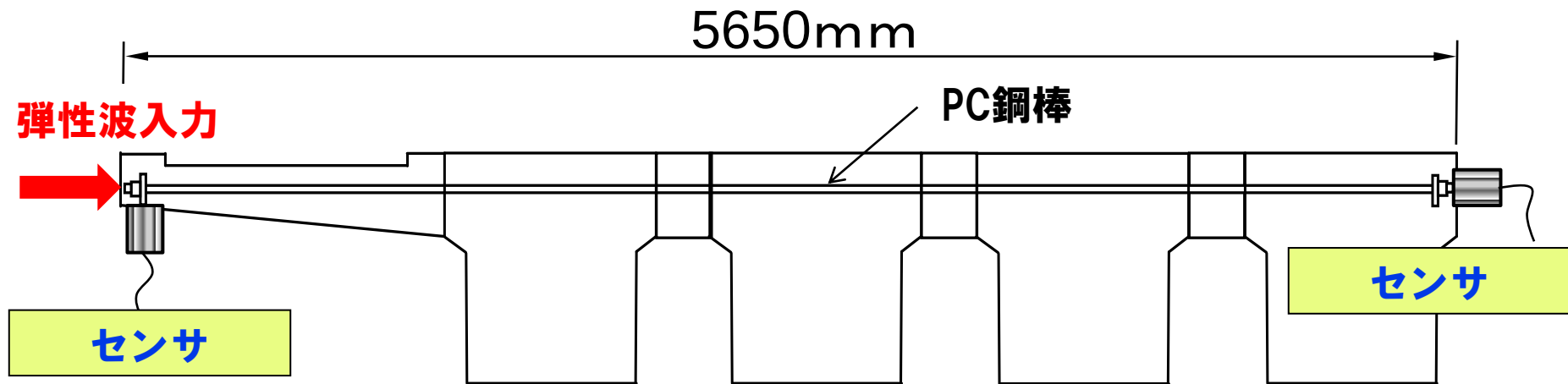
- 支間長：15m
- 鋼棒径24mm
- シース径35mm

横締め鋼棒 を対象

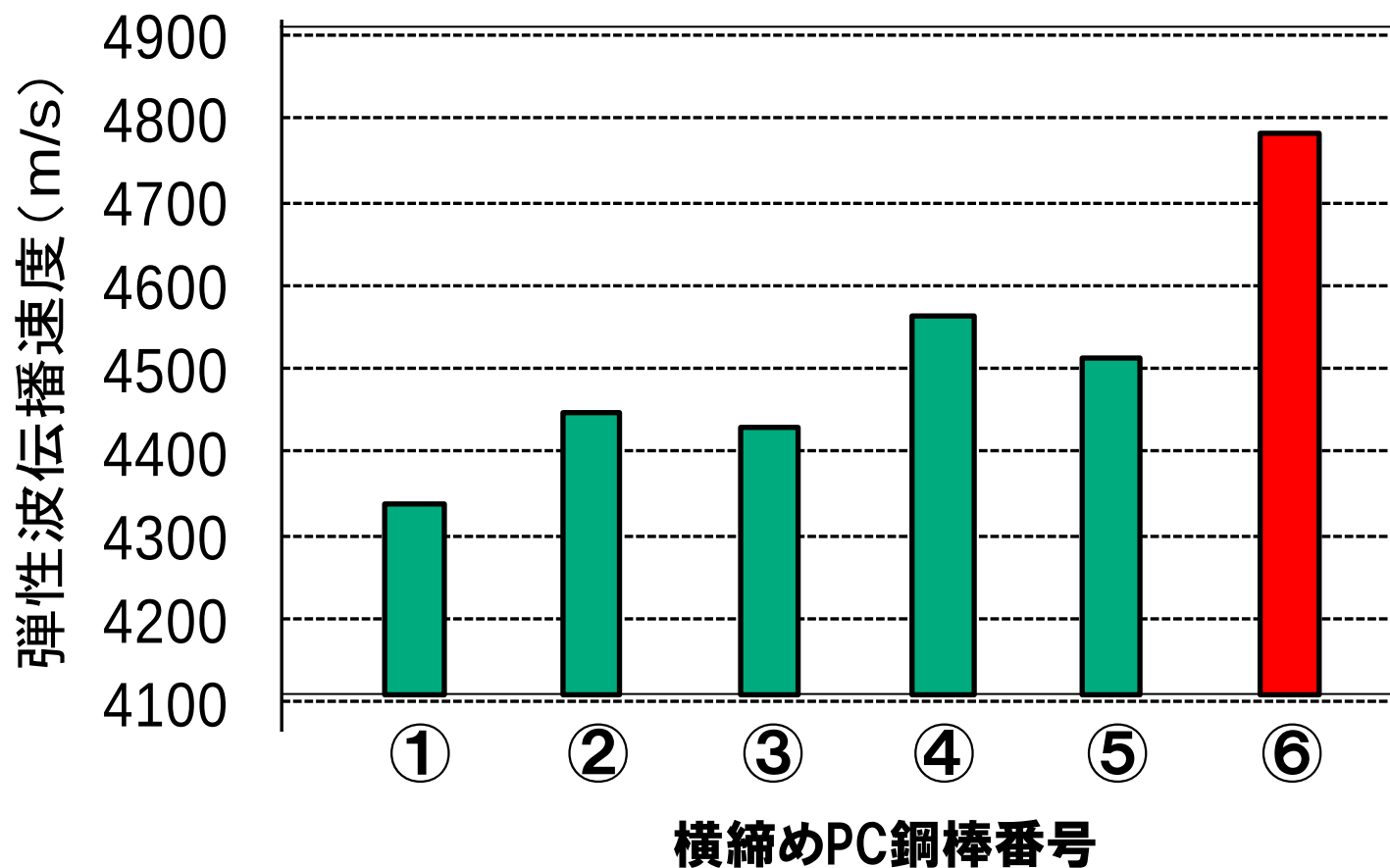


平面図

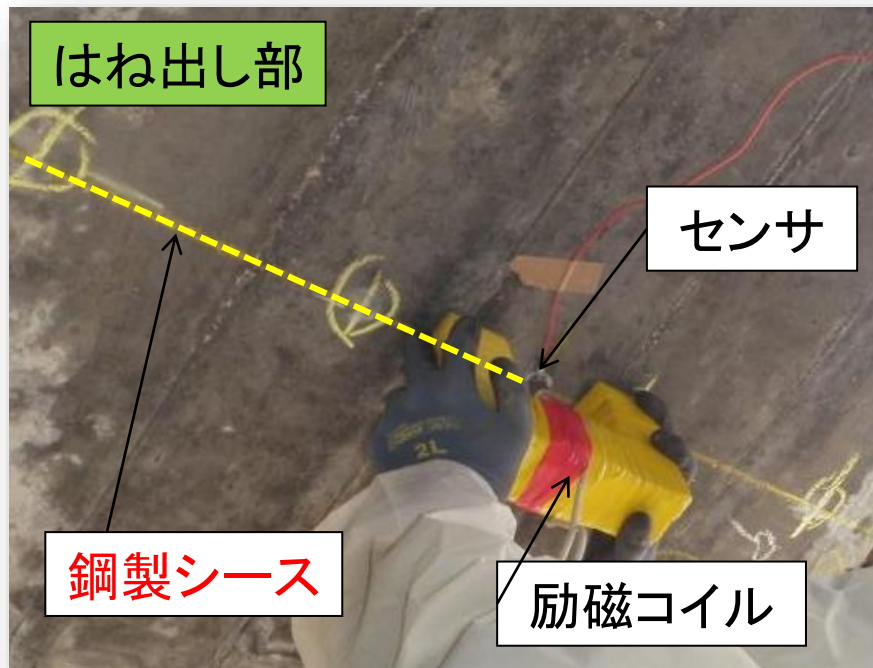
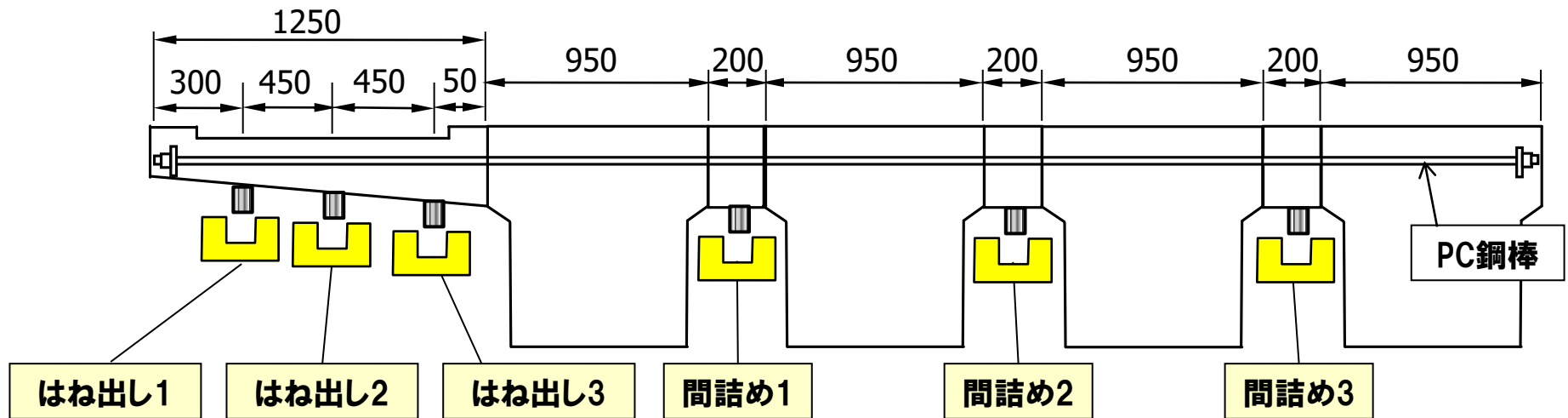
まずは伝播速度で、スクリーニング



伝播速度の計測結果



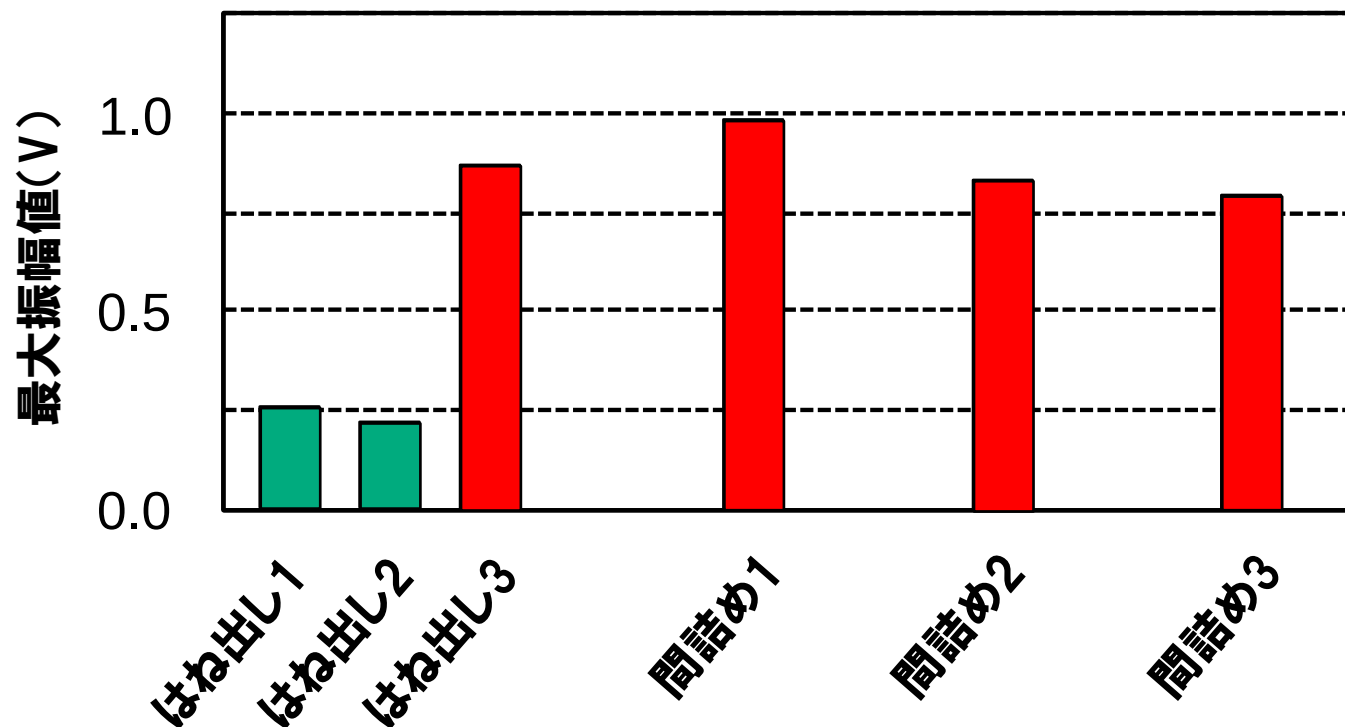
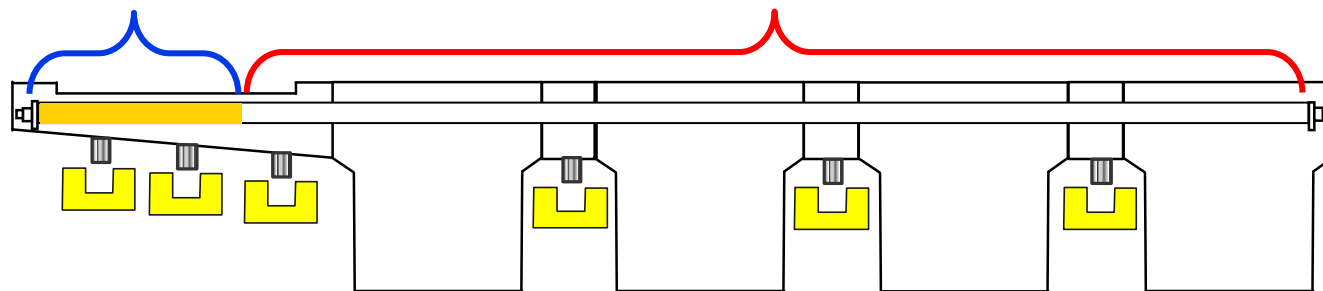
最大振幅値の計測概要(対象:PC鋼棒番号⑥)



最大振幅値の計測結果

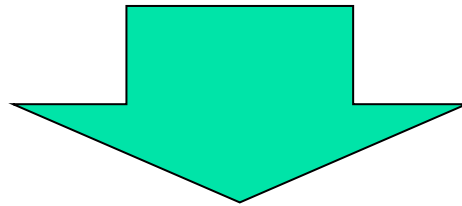
グラウトが充填されている
と推定した区間

グラウト充填不足による空隙が存在
していると推定した区間



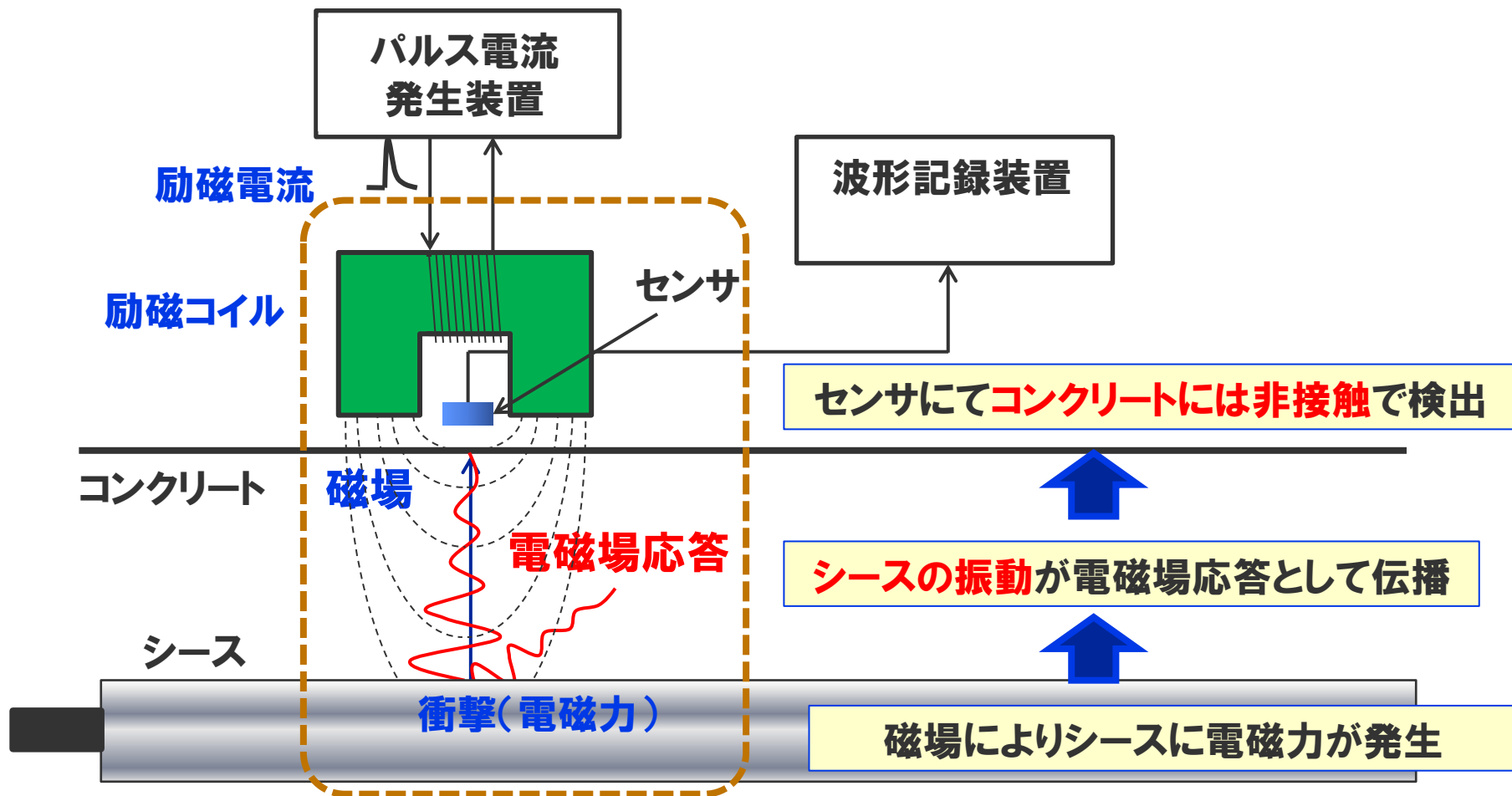
イノベーション: Step 2

次はシースの応答を非接触で受信できないか？

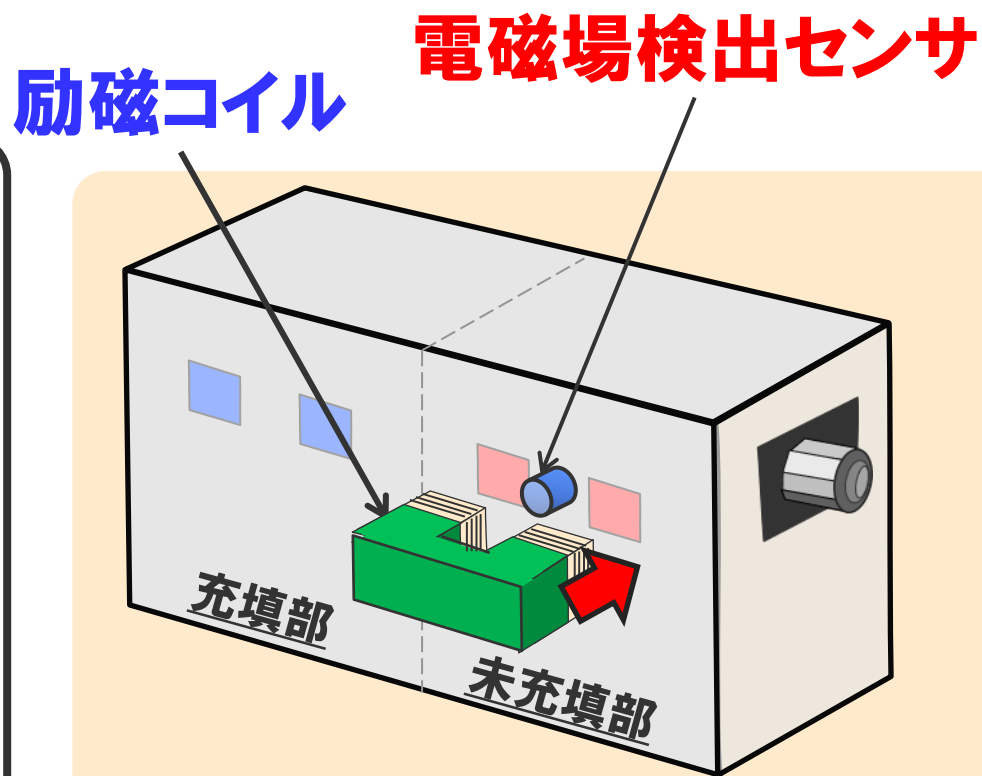
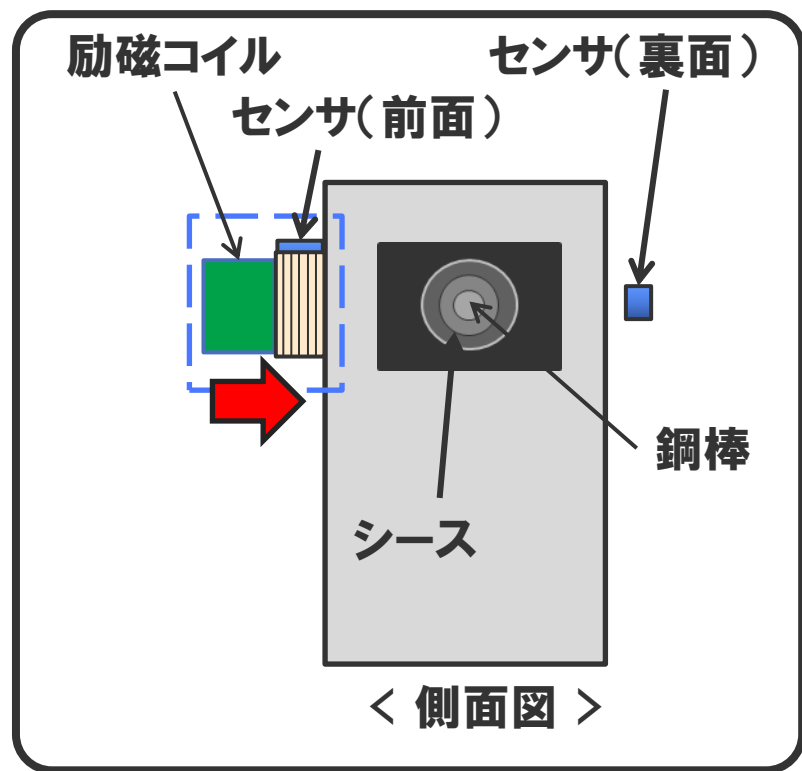


それができれば、入力／受信と
完全非接触となり、かぶりコンクリート品質
の影響を受けずに済む！！

新たなチャレンジ「電磁場応答」



供試体での基礎実験





講演内容

① 橋梁PC桁におけるグラウト充填不良の検出

かぶりコンクリート品質の影響を除去するための

弾性波(接触型)から電磁場応答(非接触型)へのイノベーション

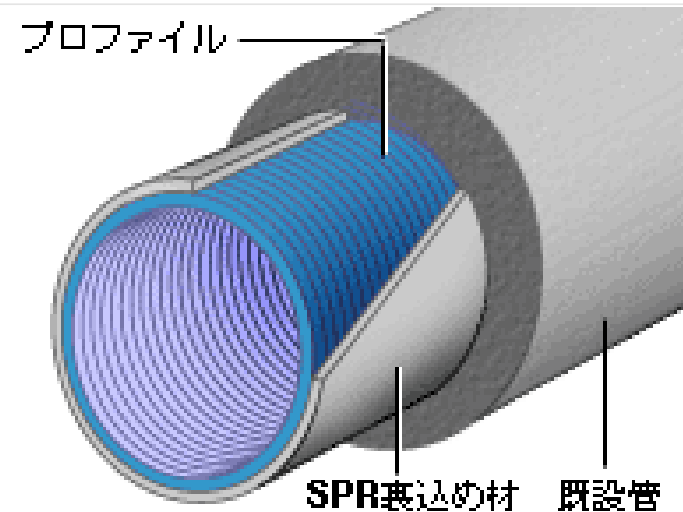
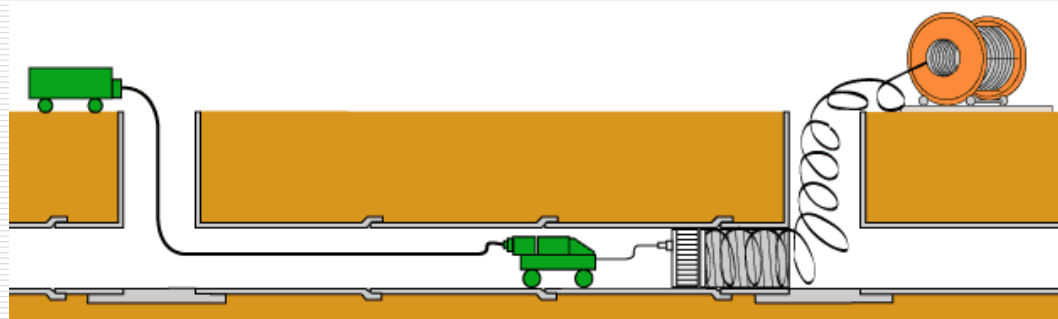
② 地中に埋設されたコンクリート下水管の健全度診断

ターゲット(評価対象)の絞り込みと

ユーザーのニーズをふまえた**結果の見せ方**

非開削での対策(管更生工法)

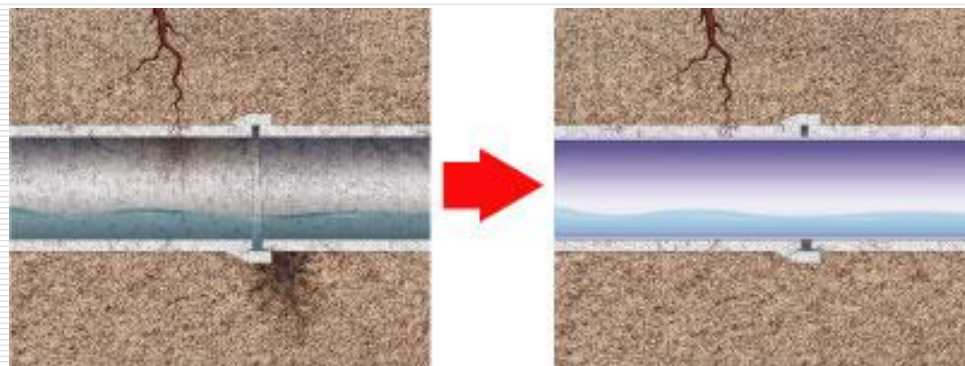
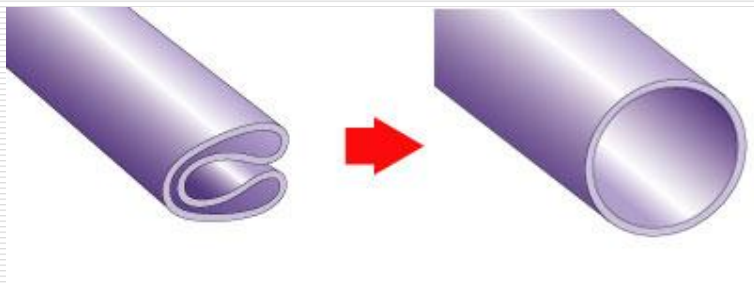
①大口径を対象とした製管工法



②中小口径を対象とした形成工法

自立管タイプ (損傷度 大)

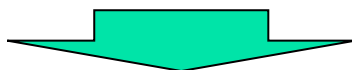
複合管タイプ (損傷度 中～小)



積水化学工業(株) HPより

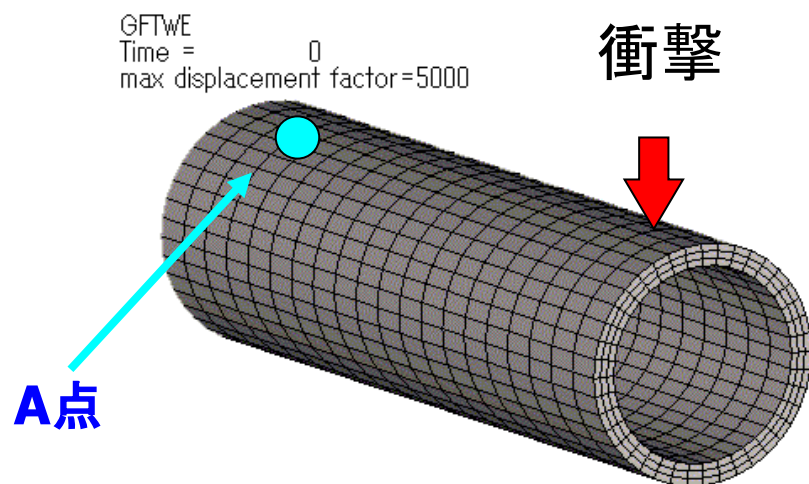
どのようなレベルの更生を行うのが適切かを決定するには、
劣化の現状の適確な【診断】が不可欠！

→ 従来の目視(TVカメラ画像)では困難

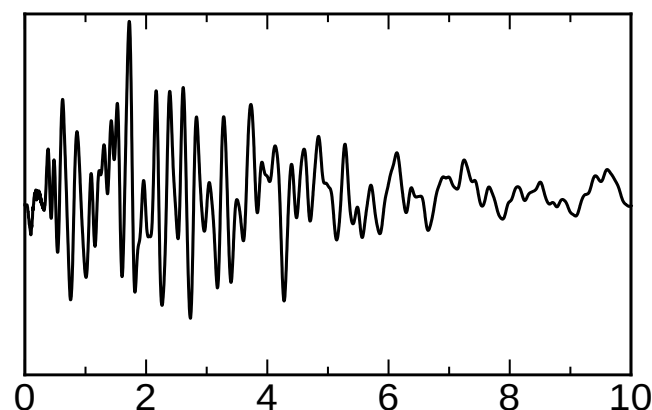


叩いて生じた弾性波の挙動によりひび割れ・減肉を評価

→ 波形の特性より劣化状況の定量化



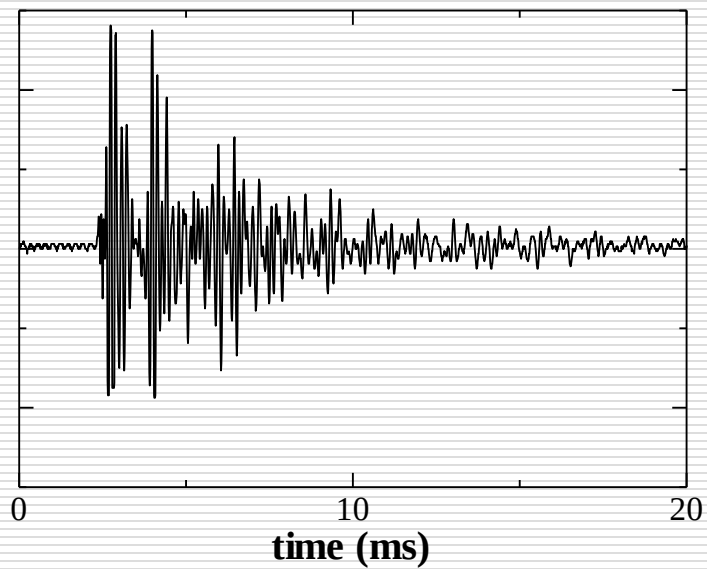
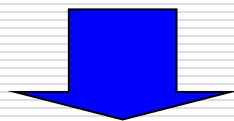
解析モデル



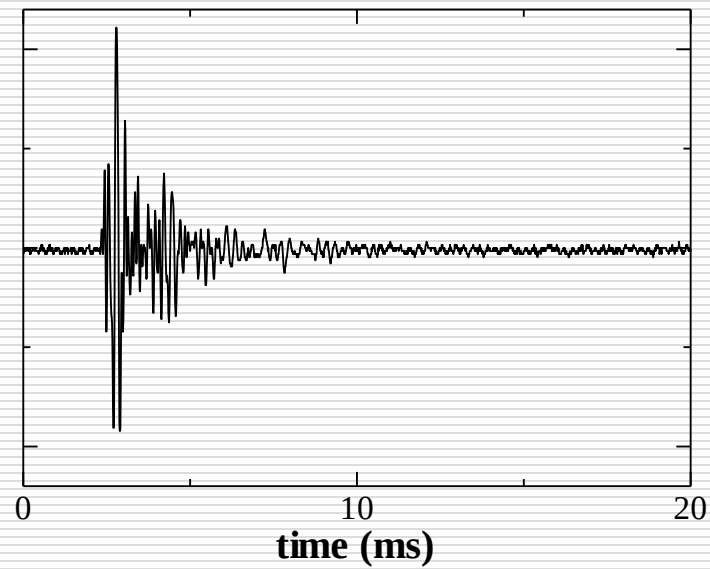
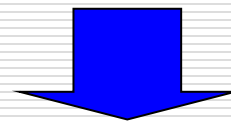
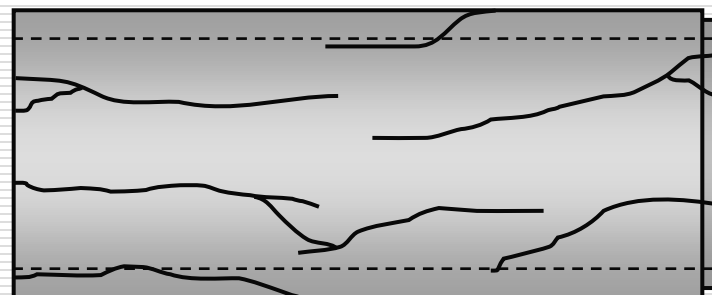
A点での受振波形の例

波形の比較

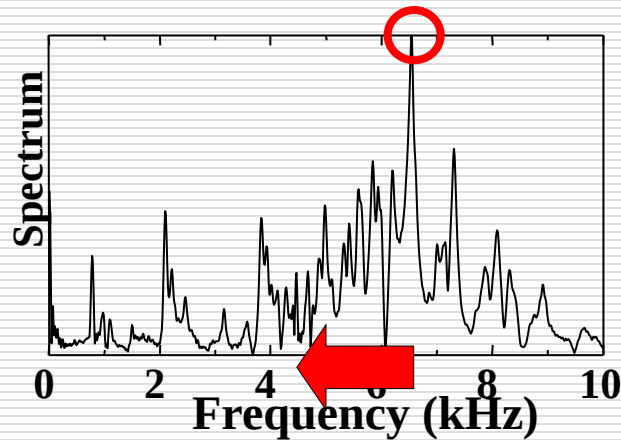
健全管



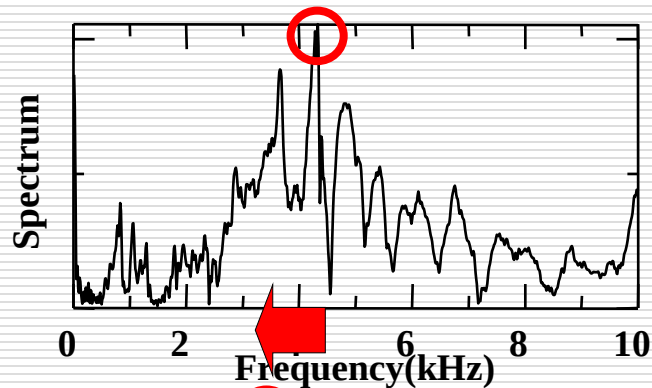
ひび割れ管



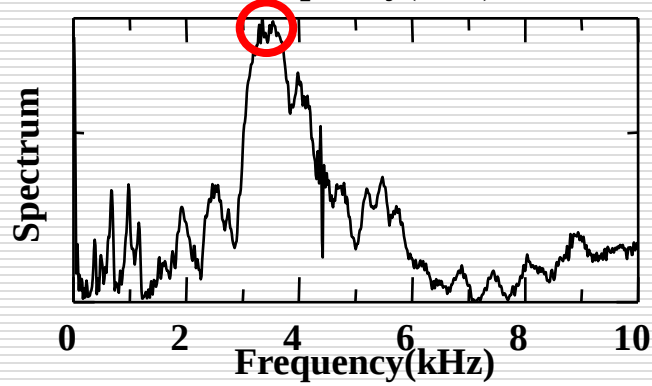
受振波形から求めた周波数分布の比較



健全管

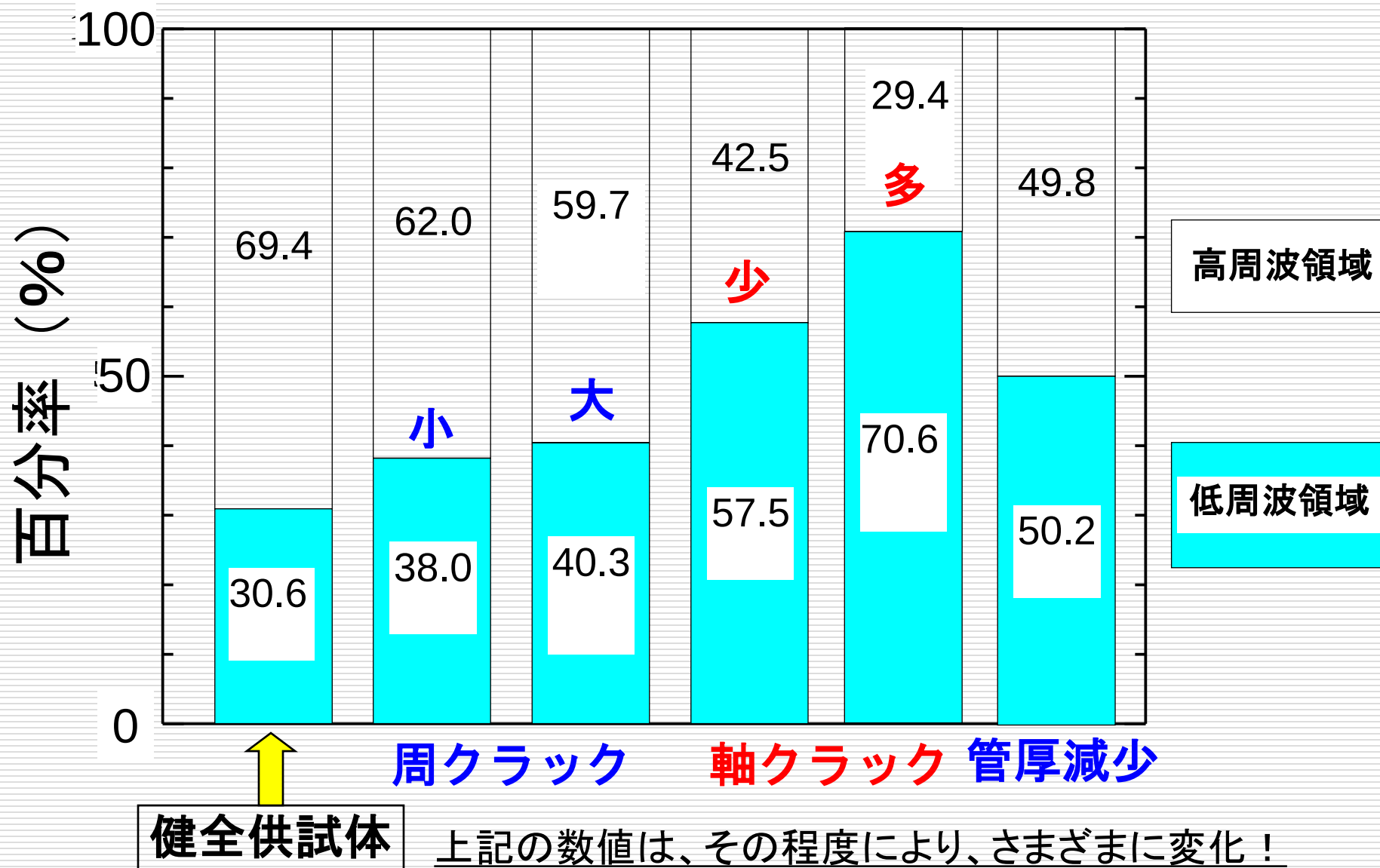


軸方向クラック 少



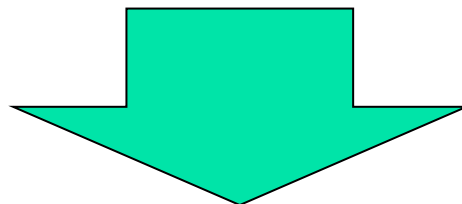
軸方向クラック 多

定量化による劣化グレーディング



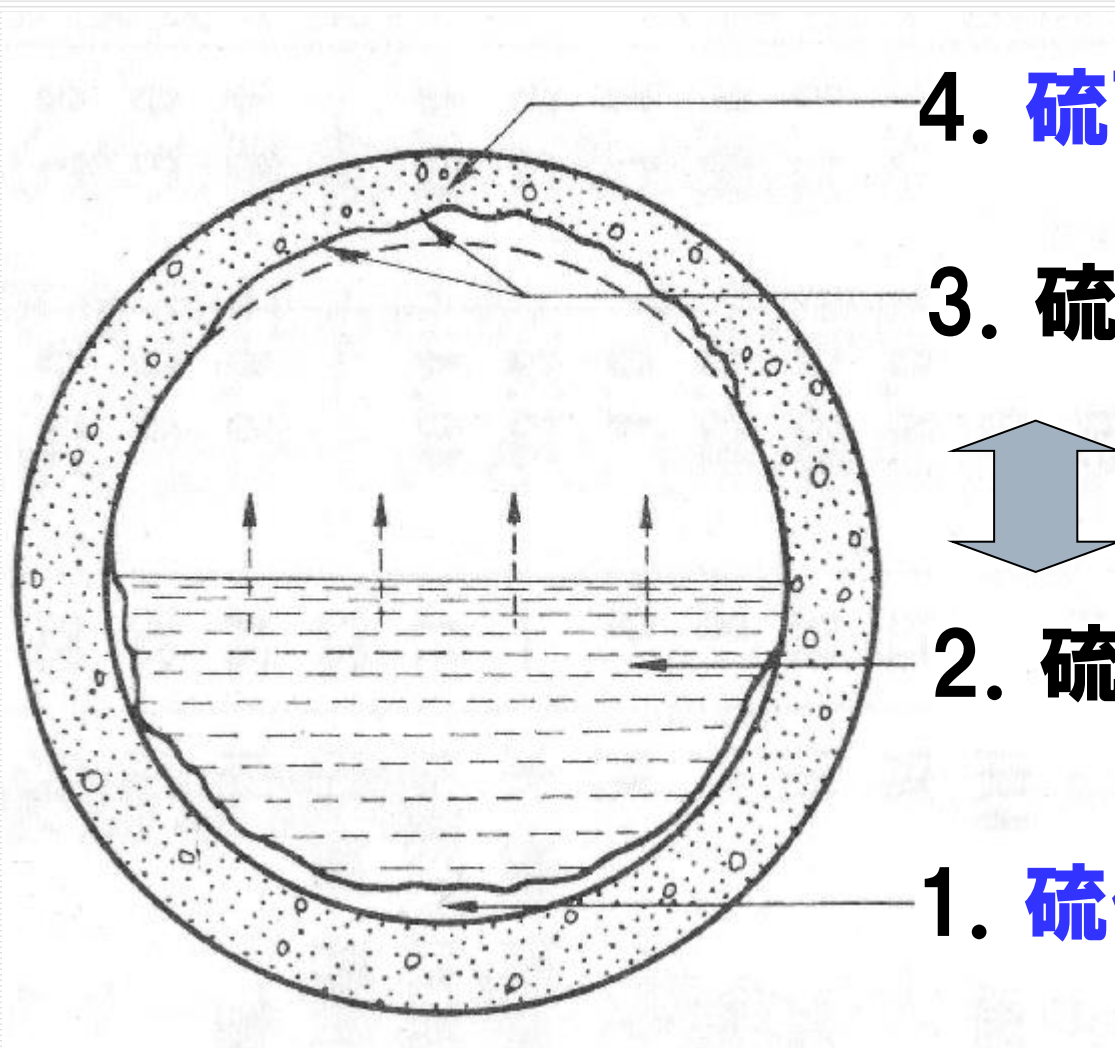
次へ向けての Step 1

定量化した非破壊試験データから、劣化指標
(変状の程度など)を上手く数値化できないか？



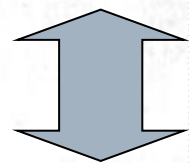
そのためには、劣化の特性を踏まえて
評価対象とするターゲットを
絞り込むのが重要！

コンクリート下水管の**硫酸腐食**のメカニズム



4. **硫酸**による管壁の侵食

3. 硫化水素の吸収と酸化



2種類のバクテリアの作用

2. 硫化水素(H_2S)の蒸発

1. **硫化水素(H_2S)**の生成

ターゲットを管厚の減少(減肉)に！

コンクリート下水管の劣化 に起因する道路陥没

＜道路陥没の例＞



(東京都墨田区 平成15年)



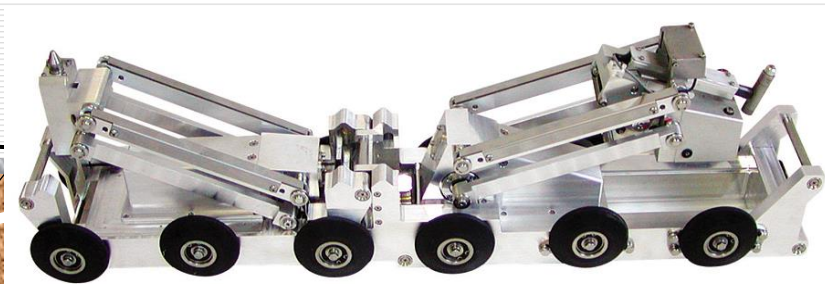
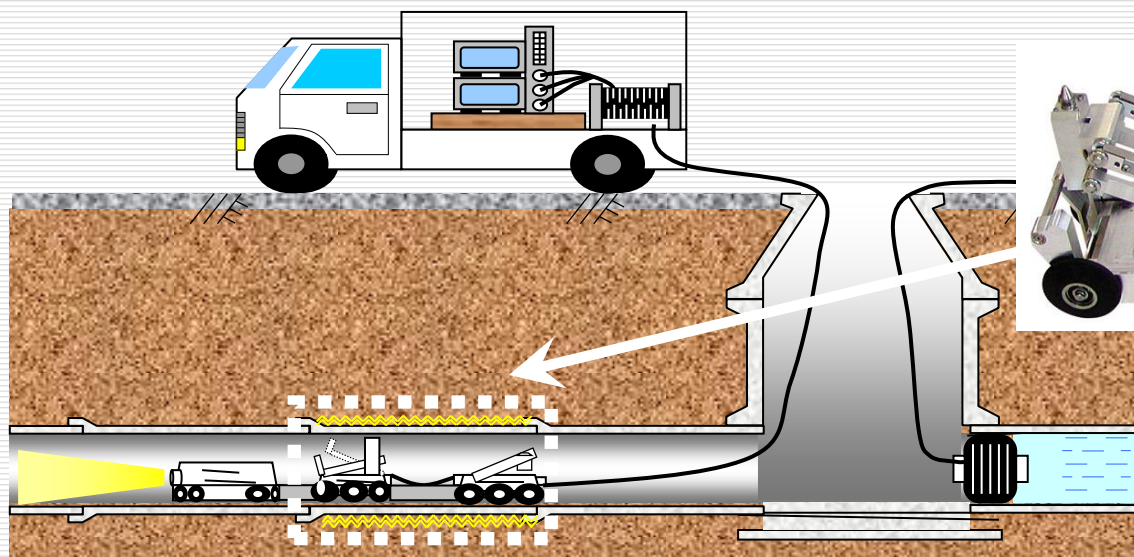
2010.3.14 大阪城公園
天守閣前広場での路面陥没

衝撃弾性波計測機能を搭載したロボット による劣化診断システム

埋設管1単位(長さ約2m)ごとに

ロボットにより管内面で衝撃を与え、 ➡
受振波形から減肉状況を評価

健全管(JIS)での
基準値データベース
と比較もできる！



非破壊試験データから劣化指標（減肉状況） を求めるデータベースの作成にあたっては

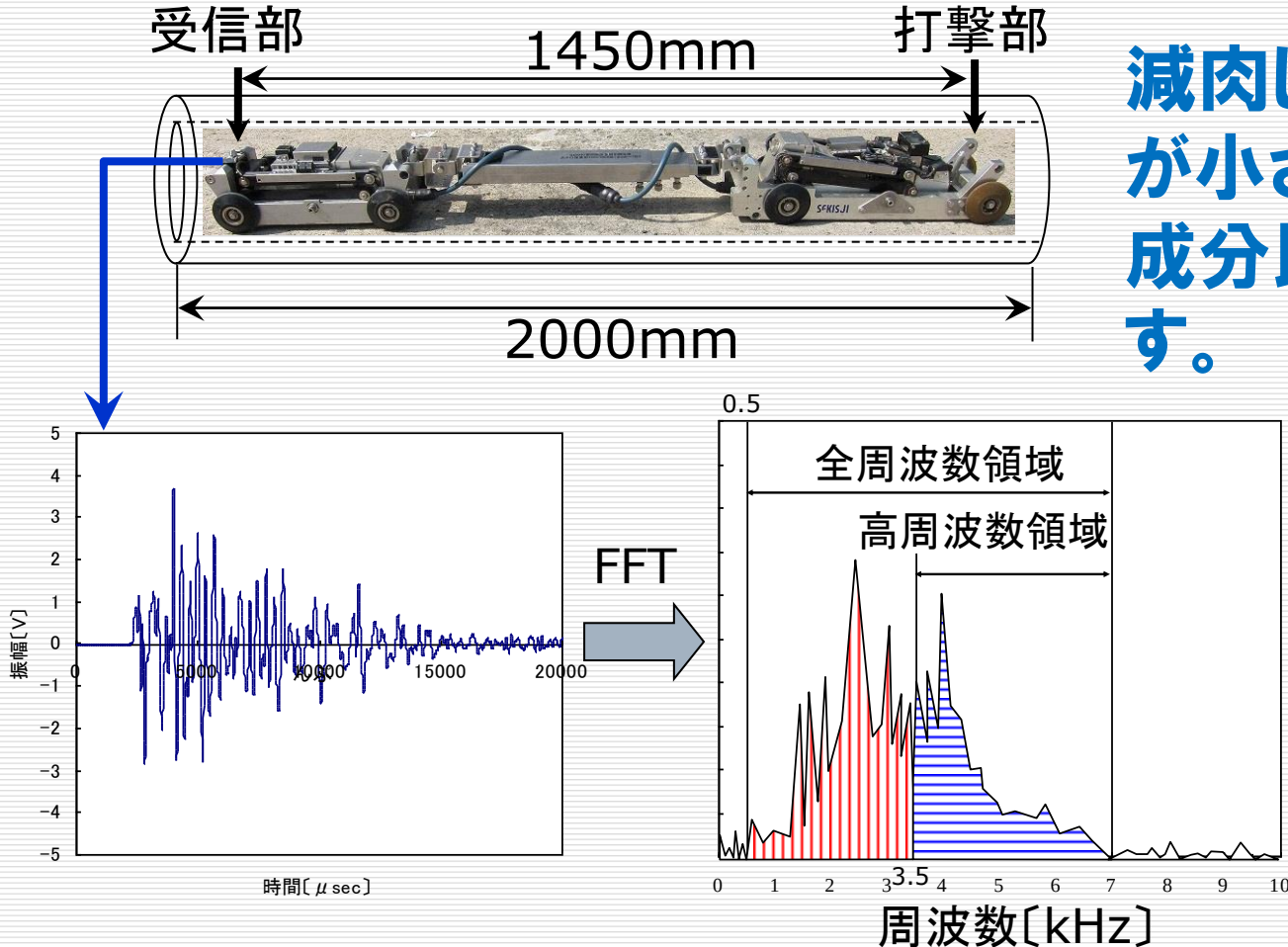
管厚の異なる鉄筋コンクリート管供試体
において衝撃弾性波計測を行い、**受振波の
周波数特性値**と管厚との関係から、
管厚（減肉状況）の推定式を求めた。

φ600鉄筋コンクリート管[JSWAS A-1]

管厚	50mm (基準)	44mm (-6mm)	38mm (-12mm)	32mm (-18mm)	24mm (-26mm)
写真					

※管長:2430mm

計測方法(条件は固定！)と高周波成分比

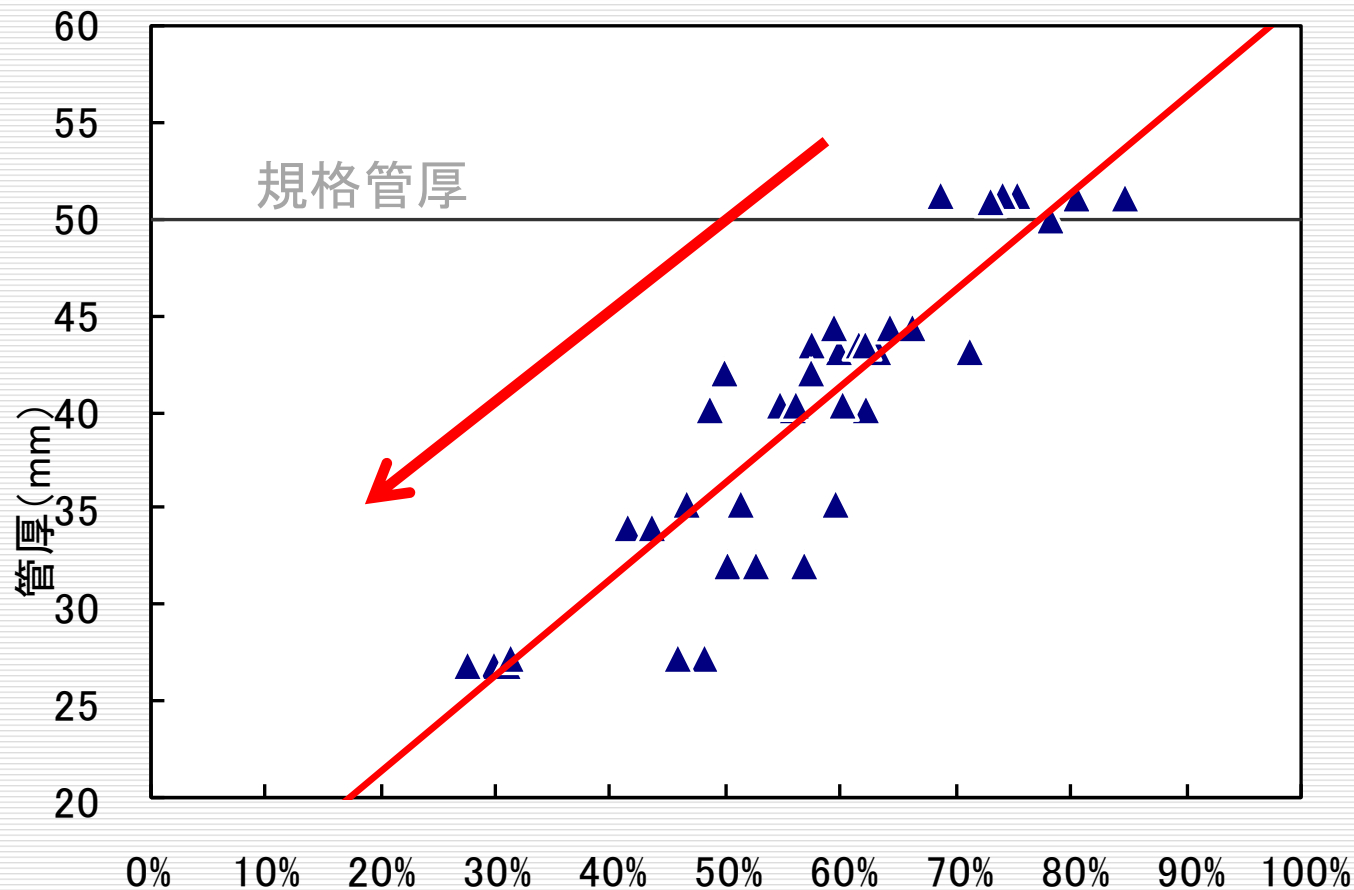


減肉してば、管の剛性が小さくなると高周波成分比は小さくなります。

$$\text{高周波成分比} = \frac{\text{3.5} \sim \text{7.0kHzの面積}}{\text{0.5} \sim \text{7.0kHzの面積}}$$

高周波成分比と管厚の関係

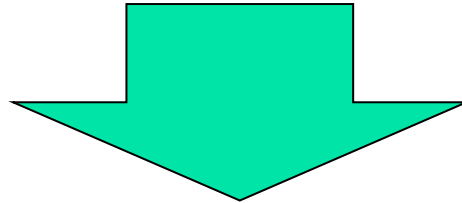
□ Φ600ヒューム管の衝撃弾性波試験結果



高周波成分比から管厚が推定可能

次へ向けての Step 2

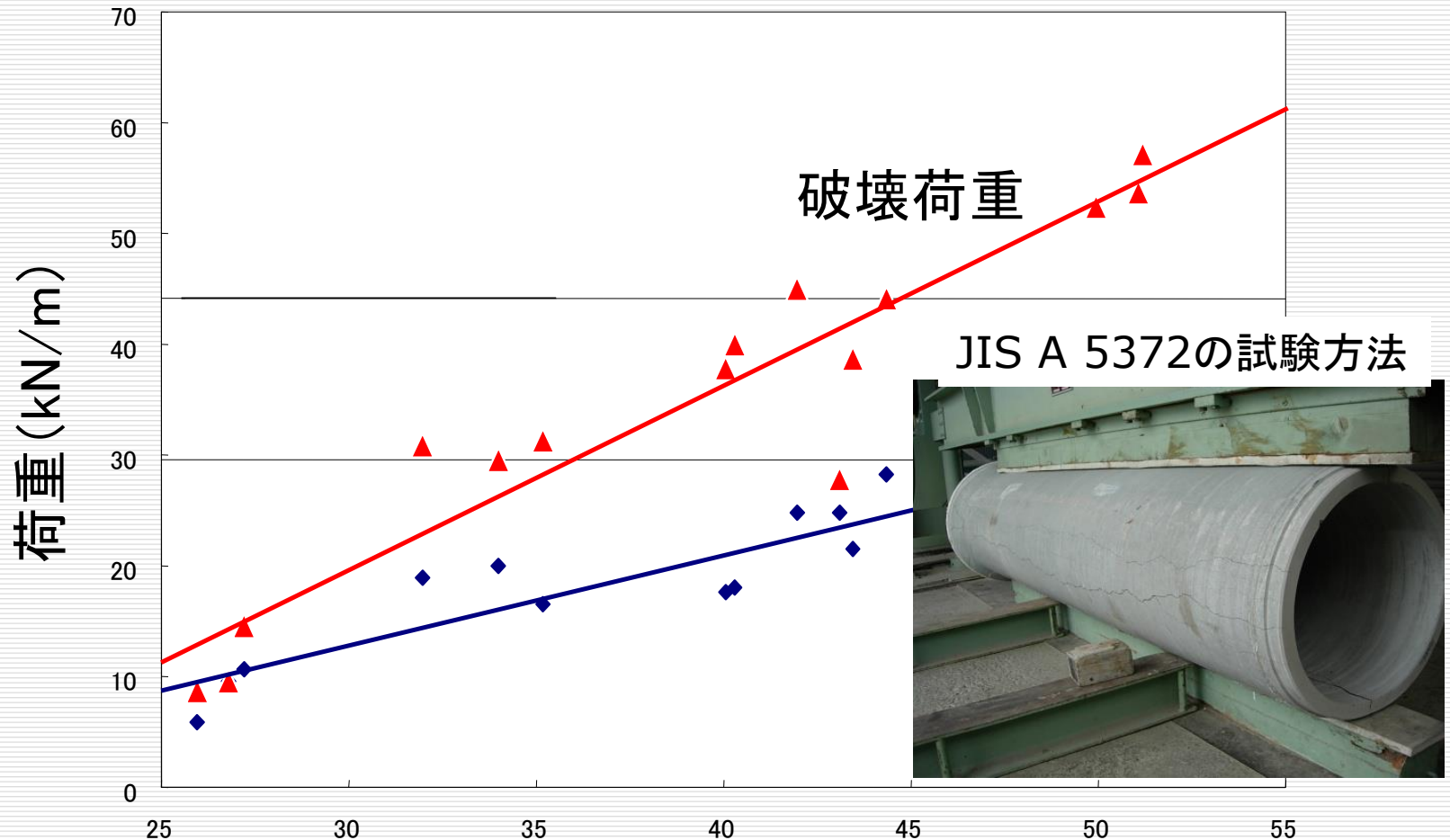
ユーザーが求めているのは、管厚の推定値か？
**結果をどのように見せれば、もっと使いたくなる
技術になるのか？**



下水道局等の施設管理者からのヒアリング等
では、**管の耐荷力**のようなものがわかれば、
更生（補強）設計にも役立ち、助かる！との声

管厚と破壊荷重(耐荷力)の関係

□ Φ600ヒューム管の載荷試験結果



高周波成分比 ⇒ 管厚 ⇒ 破壊荷重(耐荷力)

現場計測結果の例

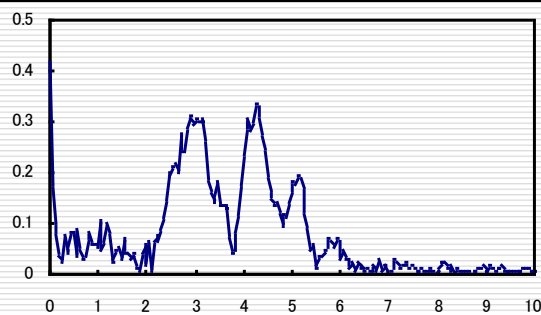
□ φ600ヒューム埋設管の衝撃弾性波試験結果

ケースA



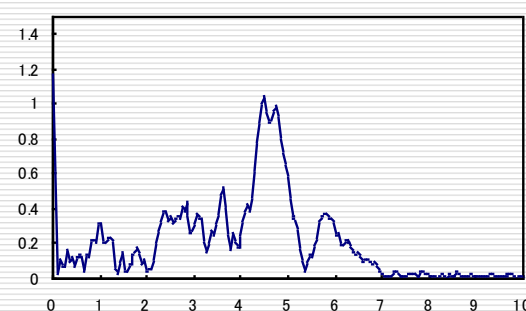
40.7%

ケースB



50.3%

ケースC



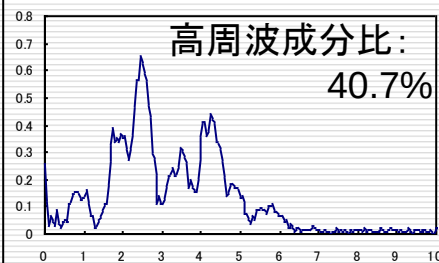
66.2%

高周波成分比

調査 → 診断 → 管更生設計 の流れ

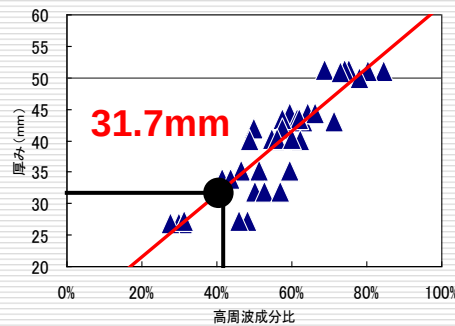
調査

調査実施
〔TV・衝撃弾性波〕



診断

管厚推定
耐荷力推定



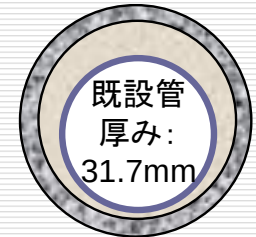
構造安全性検討

耐荷力
作用荷重

から、「安全率」
を算定

管更生設計

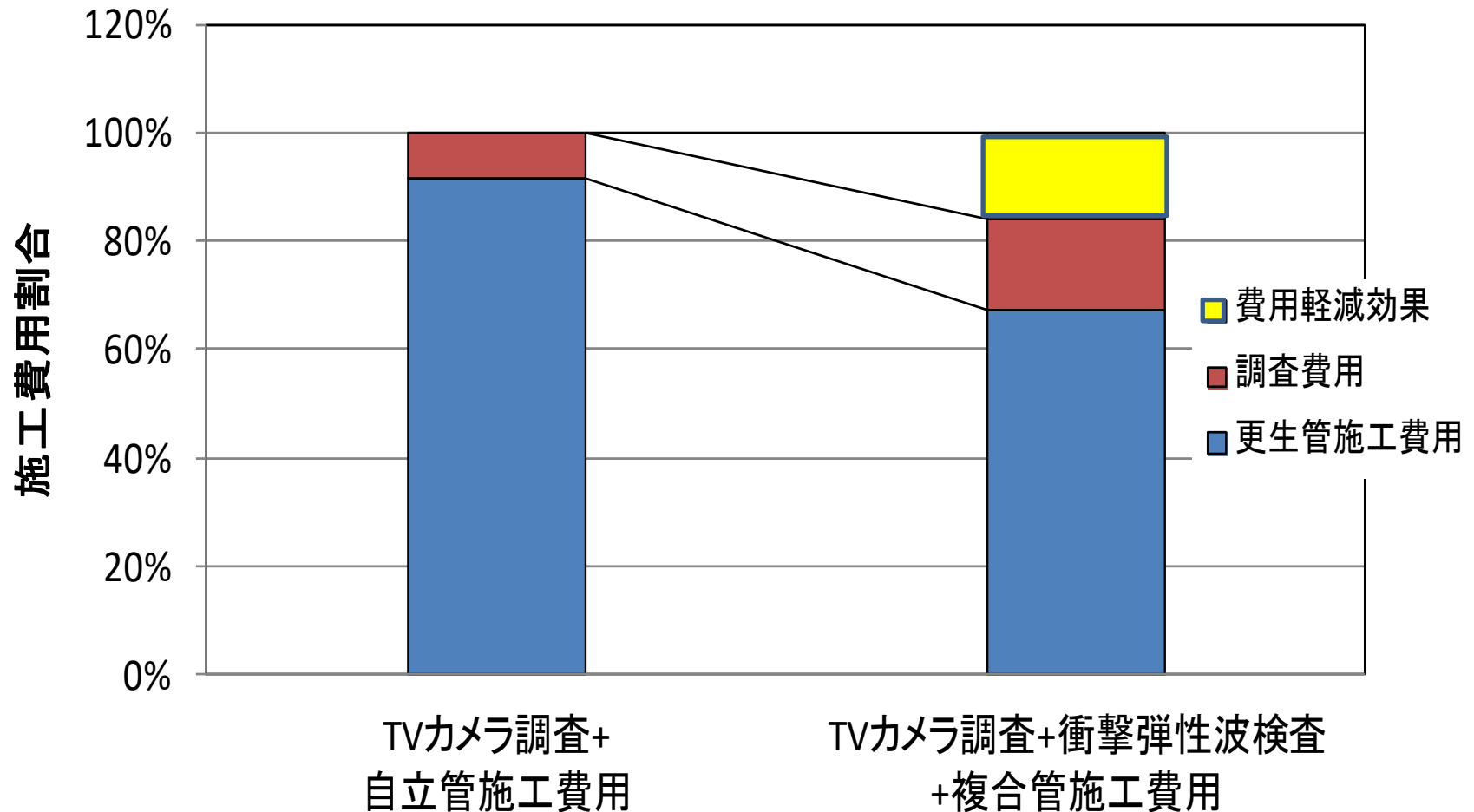
管更生設計



耐荷力を考慮した
複合管モデルで検討

根拠に基づいた
複合管工法選定

本システムを用いた場合の費用対効果



調査に本システムを導入することにより、**複合管の選定**
(**現有の耐荷力を活用した更生管設計**)が可能となり、
→ 全体コスト縮減へ

ご清聴ありがとうございました。

大阪大学

吹田キャンパス

千里門

Osaka University

Senri Gate of Suita Campus