

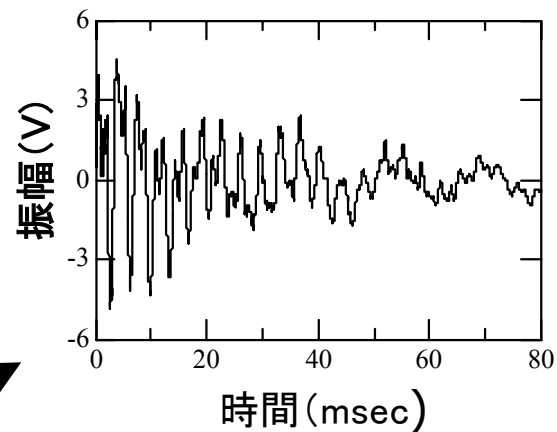
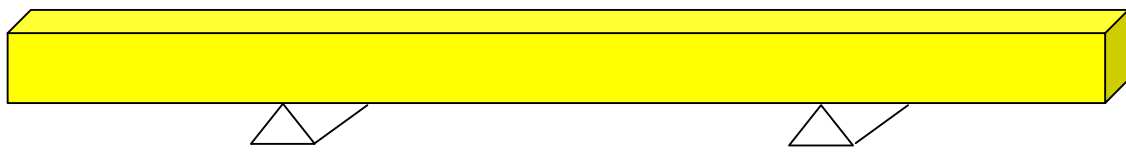
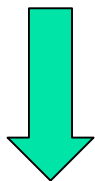


---

# 衝撃弾性波法の原理と応用

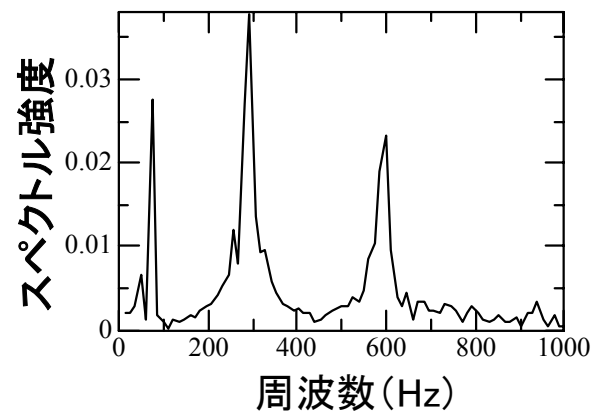
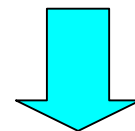
# 両端張出し梁の衝撃振動試験

衝撃

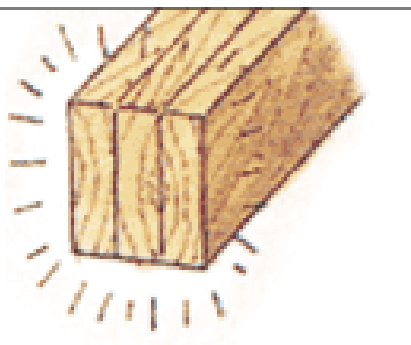


受振波形

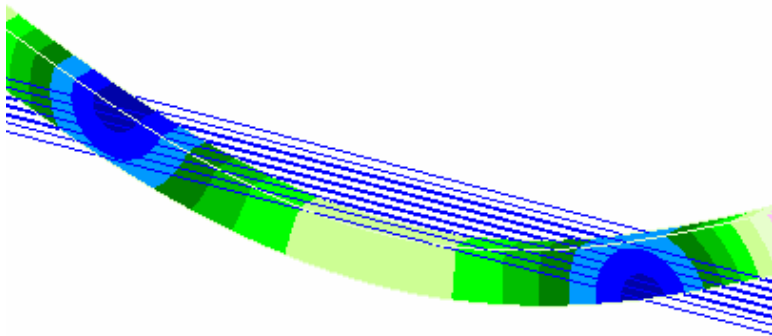
FFT



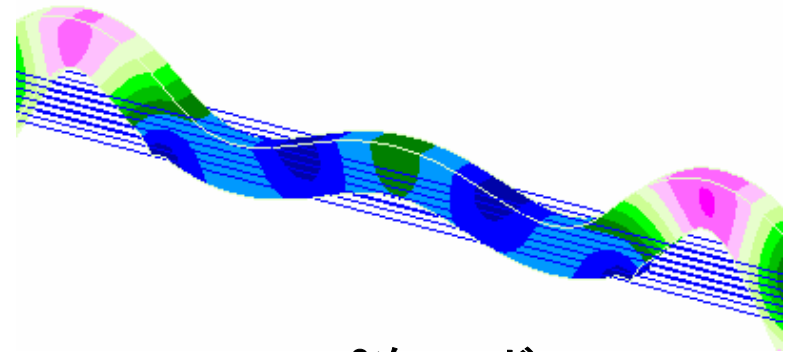
周波数分布



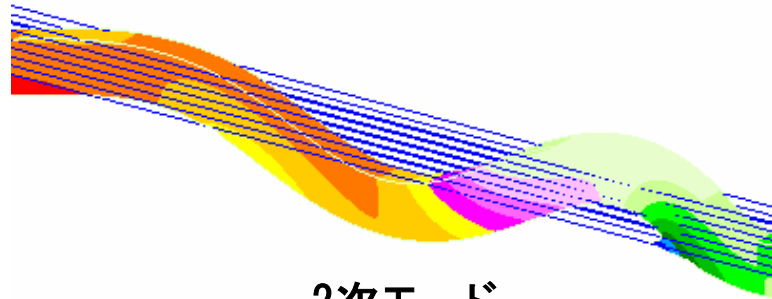
集成材の接着不良  
の検出への適用



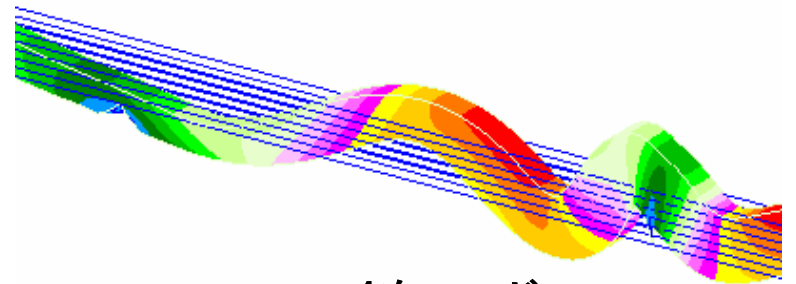
1次モード



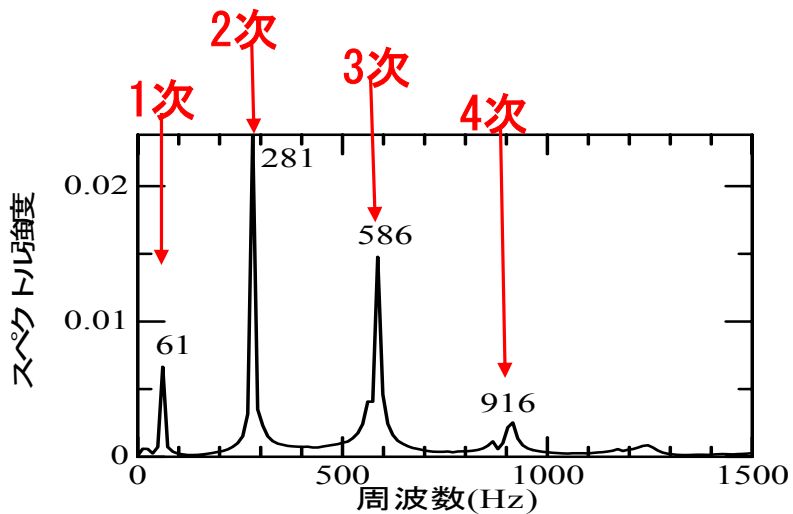
3次モード



2次モード



4次モード



「各振動モードの固有振動数」

に着目する方法が

**衝撃振動試験**

(これも**衝撃弾性波法**のひとつ)

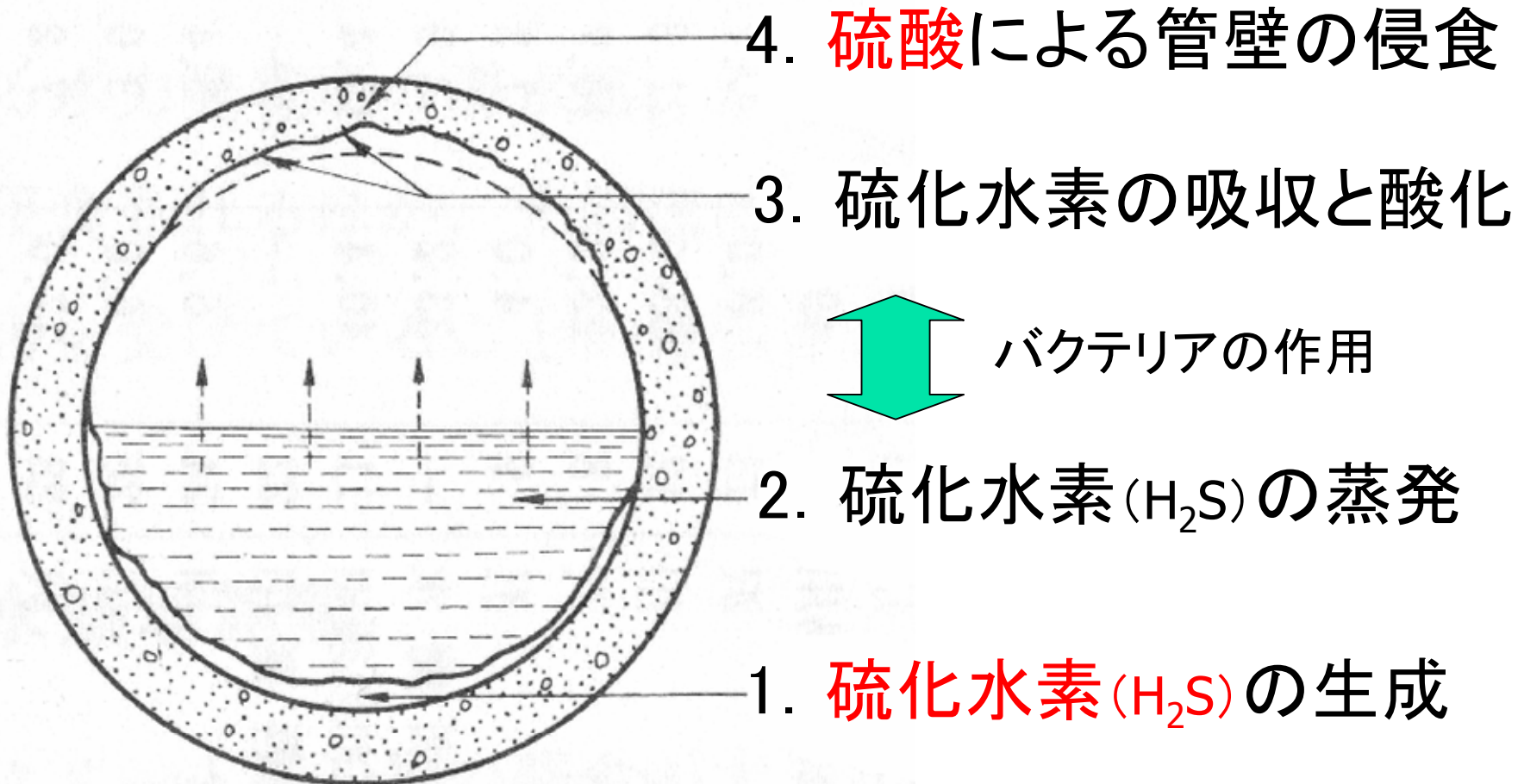


---

# 衝撃弾性波法の原理と応用

埋設管の健全度評価への適用

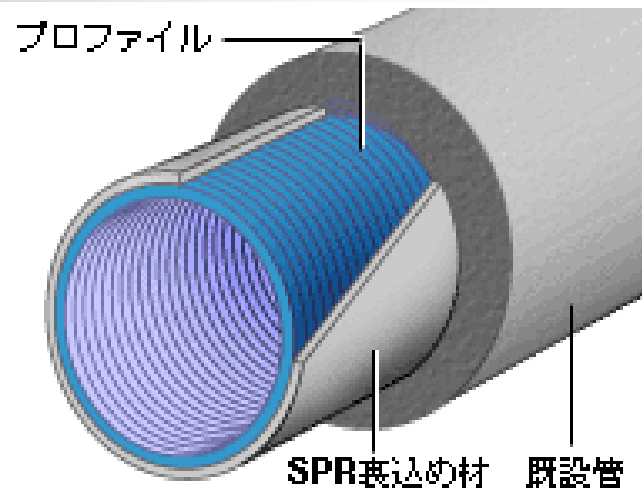
# コンクリート下水管の腐食のメカニズム



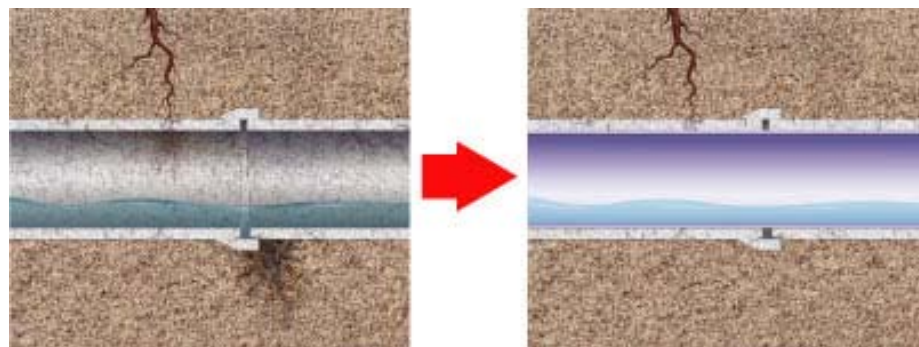
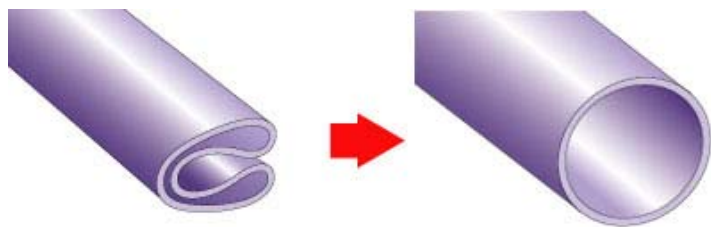
我が国では、下水道管の老朽化に起因する

道路陥没は年間数千件以上

# 非開削での診断と補修(更生)



## 更生工法の例

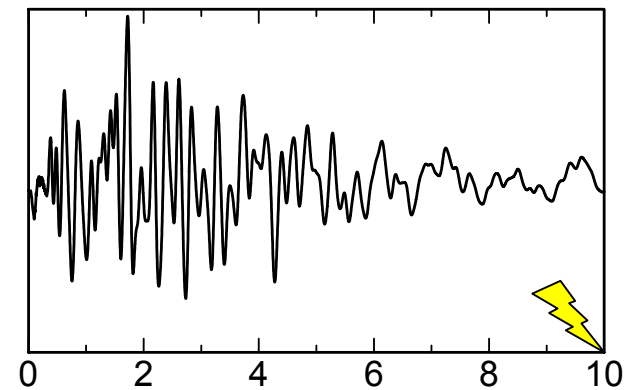
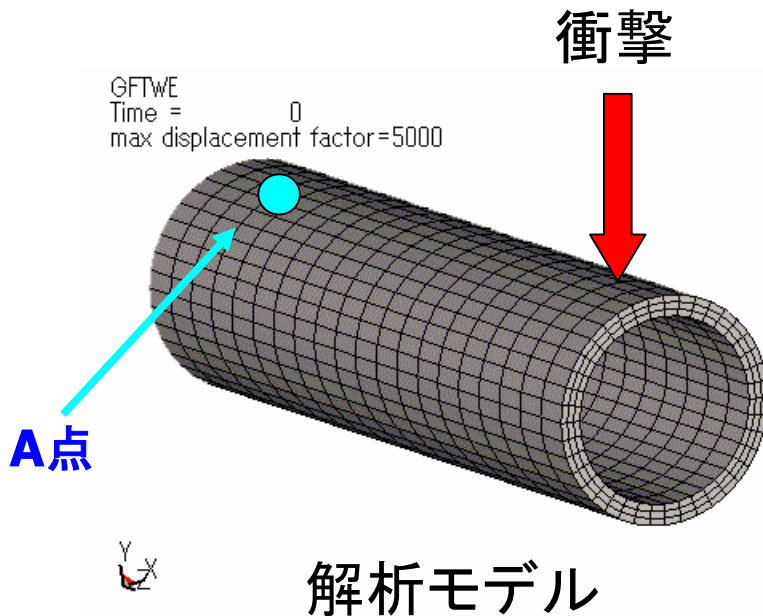


しかし、従来、人の入れない中小口径管では、TVカメラによる調査以外に有効な診断方法がなかった！

ひび割れ・減肉などにより弾性波挙動の変化

→ 波形の変化を定量化

→ 劣化状況の定量化(客観的データへ)



A点での受振波形の例

# 衝撃弾性波法でカバーする範囲

(TVカメラの弱点を補い、最も重要な情報をキャッチ)

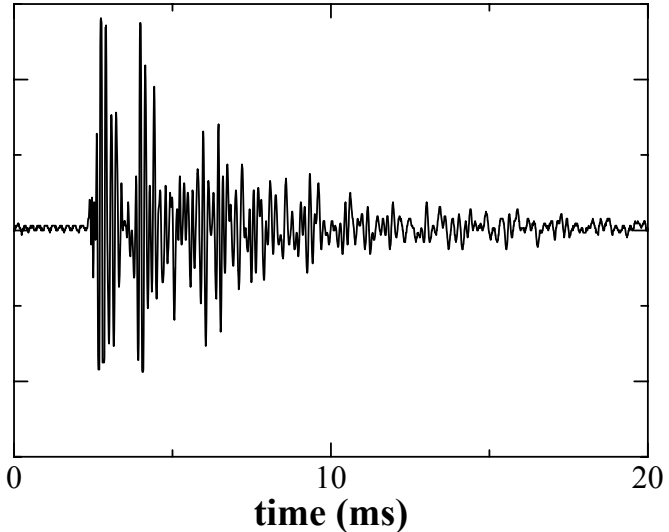
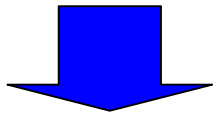
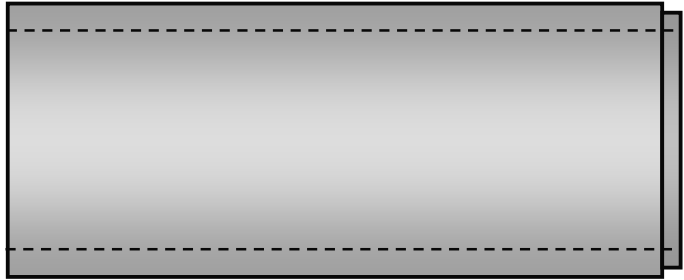
評価項目 \ 調査手法	テレビカメラ	衝撃弾性波法
管の腐食(管厚減少)	?	●
管の軸方向クラック	?	●
管の周方向クラック	?	●
たるみ(管路の上下)	○	
管の継手ズレ	○	
浸入水	○	
取付管の突出し	○	
油脂の付着	○	
樹木根の侵入	○	
モルタル付着	○	

劣化項目  
↓  
特に、管の  
**剛性**等に影響  
を与える因子

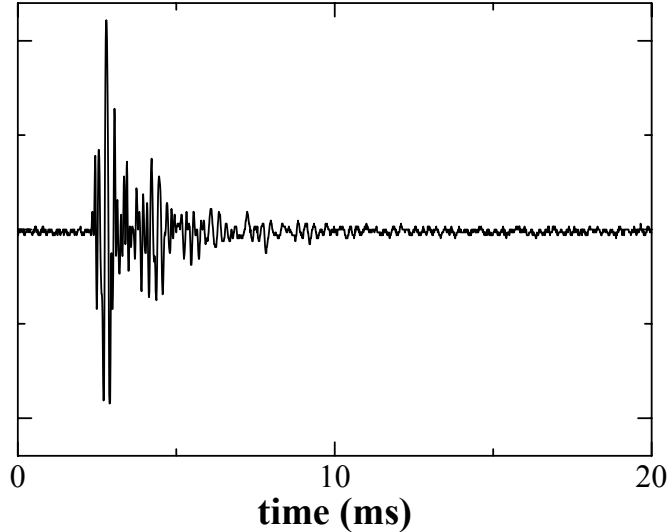
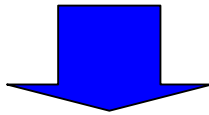
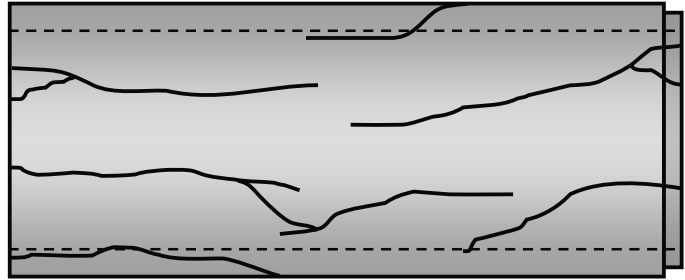


# 波形の比較

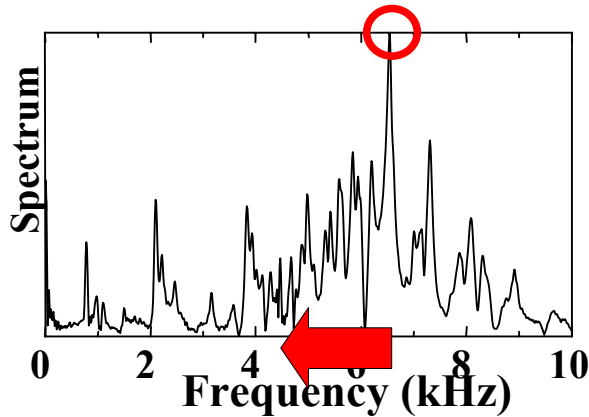
健全管



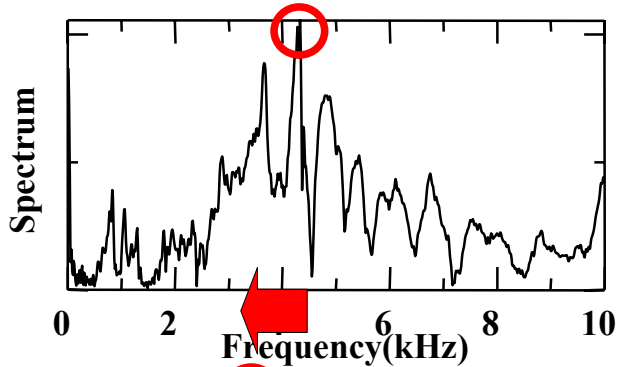
ひび割れ管



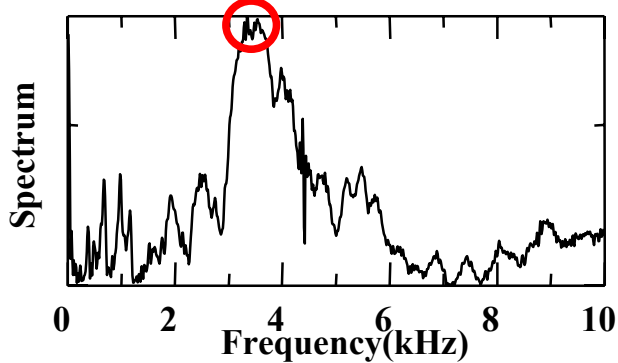
# 受振波形から求めた周波数分布の比較



**健全管**

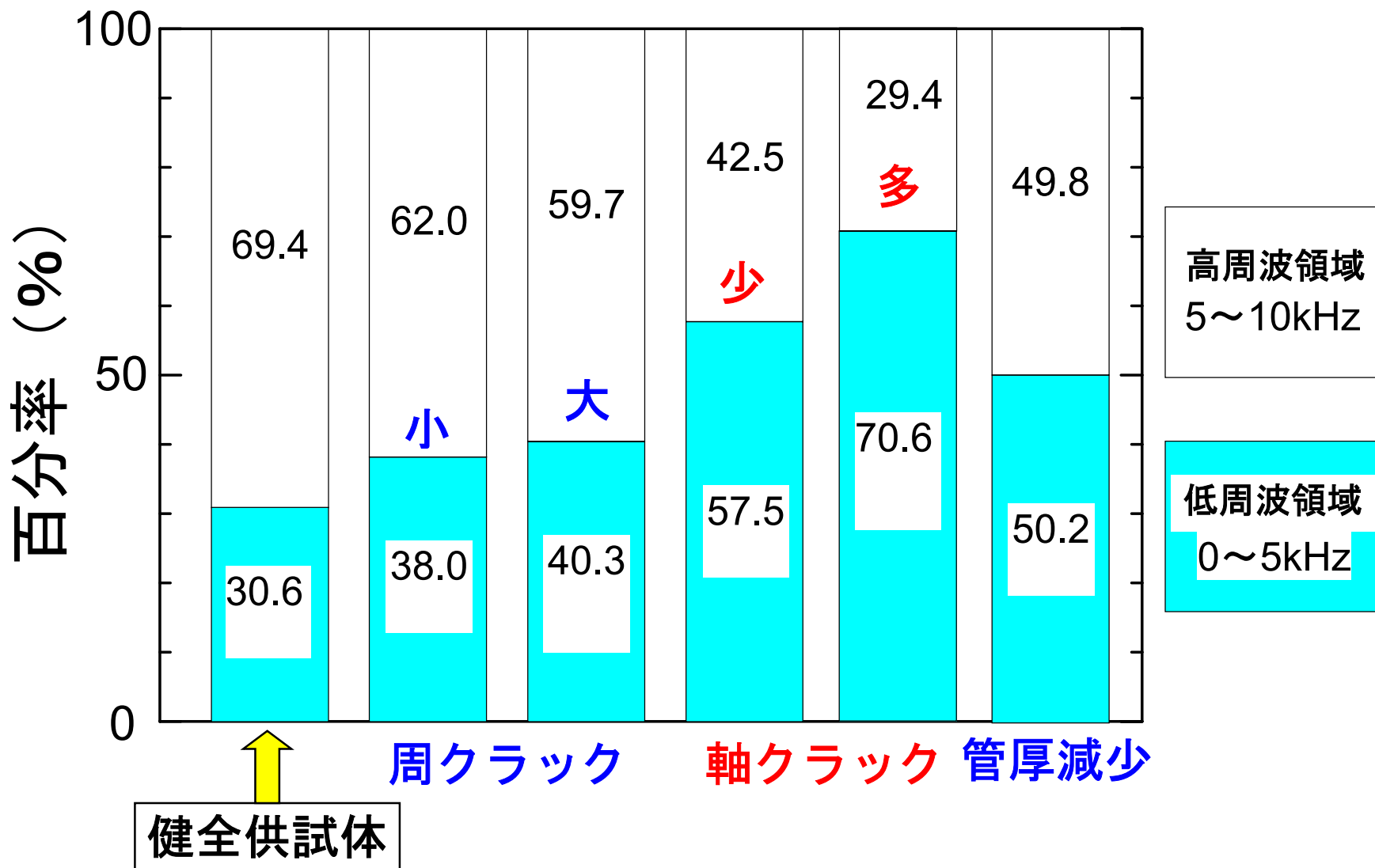


**軸方向クラック 少**



**軸方向クラック 多**

# 定量化による劣化グレーディング



# この診断システムの運用上の特徴

(岐阜大・積水化学で特許共同出願)

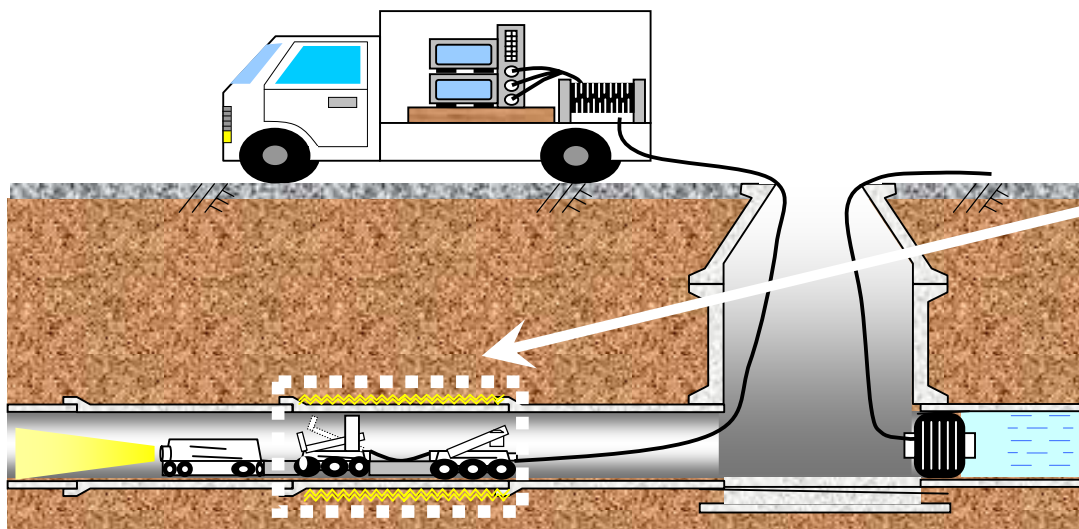
埋設管1単位(長さ約2m)ごとに

ロボットにより管内面で衝撃を与え、 

受振波形から劣化状況を評価

健全管での

基準値データベース  
と比較



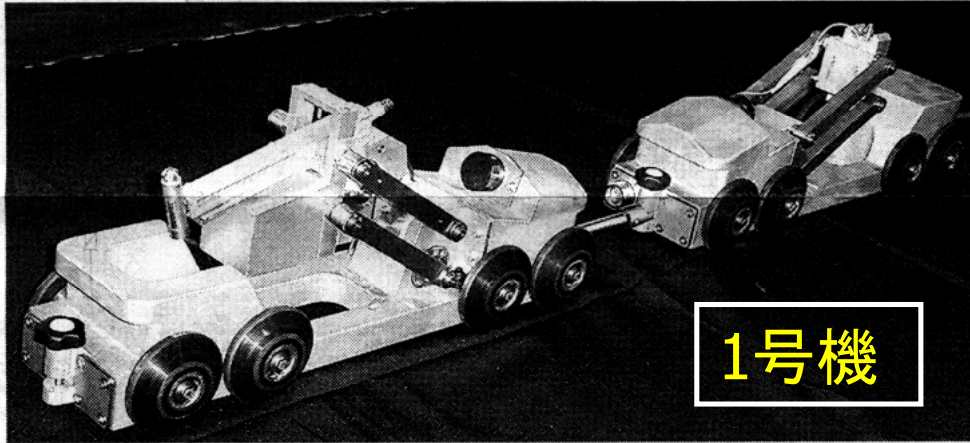
埋設管1単位(約2m)  
ごとに評価を実施

# 打てば響く出来るやつ!

1号機

2002.7.23

中日新聞 夕刊



1号機

開発された下水管路劣化診断ロボット

# 簡易な下水管診断ロボ

岐阜大工学部の鎌田敏郎助教(三つと積水化学工業(大阪市)は共同で、下水管のひび割れなどを管の振動を利用して素早く手軽に検出する「下水管路劣化診断ロボット(仮)」を開発、二十三日から名古屋市のポートメッセなごやで始まった「下水道展」(日本下水道協会主催)で発表し、注目を集めている。

## 岐阜大助教の開発



鎌田敏郎助教

このロボットは、高さ十八センチ、長さ五十七センチ、幅十八センチの車輪付き機械を一台連結させてある。一台に小さなハンマーが、もう一台に振動センサーが積まれている。ロボットは下水管内を動きながら、ハンマーで管を直接たたき、管を伝わった振動の波形をセンサーがキャッチ。下水管が腐食して厚さが薄くなったり、ひび割れしている場合には、正常な管に比べて振動の波形の大きさや長さなどが特徴的に

## コストと時間 大幅に削減

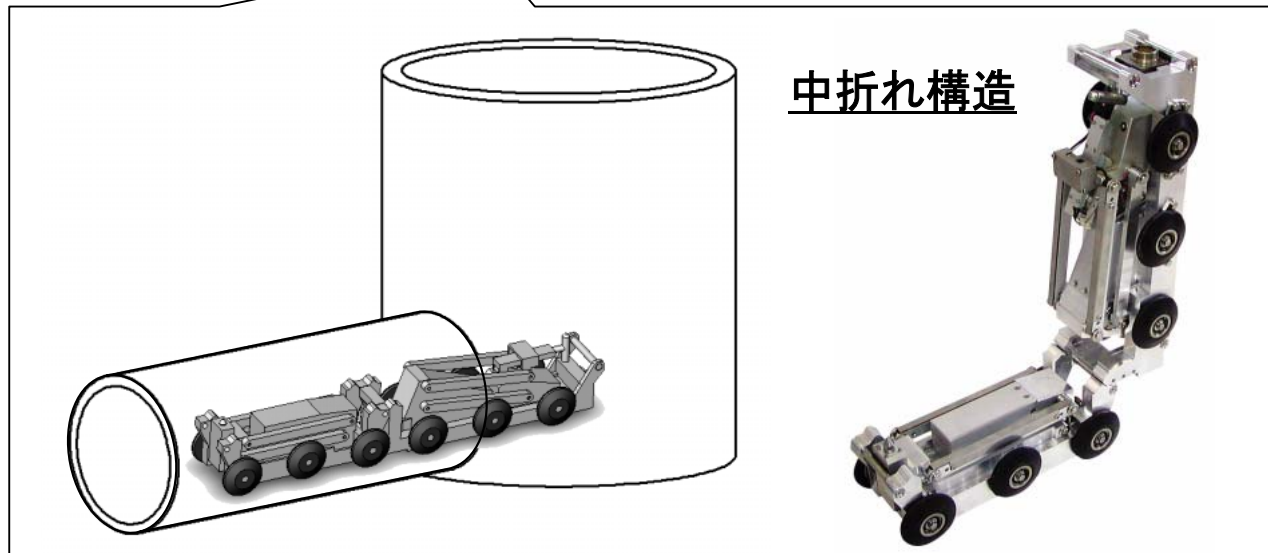
変わるため、判断できるという。これまでの劣化診断は、テレビカメラを搭載したロボットを下水管内に走らせ、管の内側を映した画像を専門家がチェックしていたため、時間とコストがかかるのが難点だった。新ロボットだとどちらでも大幅に削減できる。鎌田助教によると、下水管は国内で三十二万本ほど張り巡らされており、うち八割は人が入れない直径四十五センチ以下の管。二〇一〇年以降は耐用年数が切れる下水管が急激に増えるという統計もあり、簡易な診断ロボットの開発が期待されていた。鎌田助教は「産学の連携でいいロボットができ、うれしい。多くの人に有効活用してもらいたい」と話し、早い時期の商品化を検討している。



# ロボット1号機の製作(2002年度)



# ロボット2号機の製作(2003年度)



# ロボット3号機の製作(2004年度)

NEDOからの委託により

カメラ・衝撃弾性波計測ユニット一体型ロボットとして製作

→ 愛・地球博(プロタイプロボット展)で出展



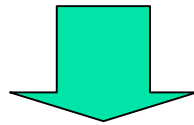
**ドクター・インパクト**

(岐阜大・積水化学)



# 定量的劣化診断の手順

①劣化程度（ひび割れ状態など）の定量化  
（衝撃弾性波試験の実施）



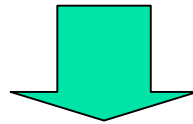
たとえば、鉄筋が50%

足りない！

②管の性能の定量化  
（自立指数の算定）

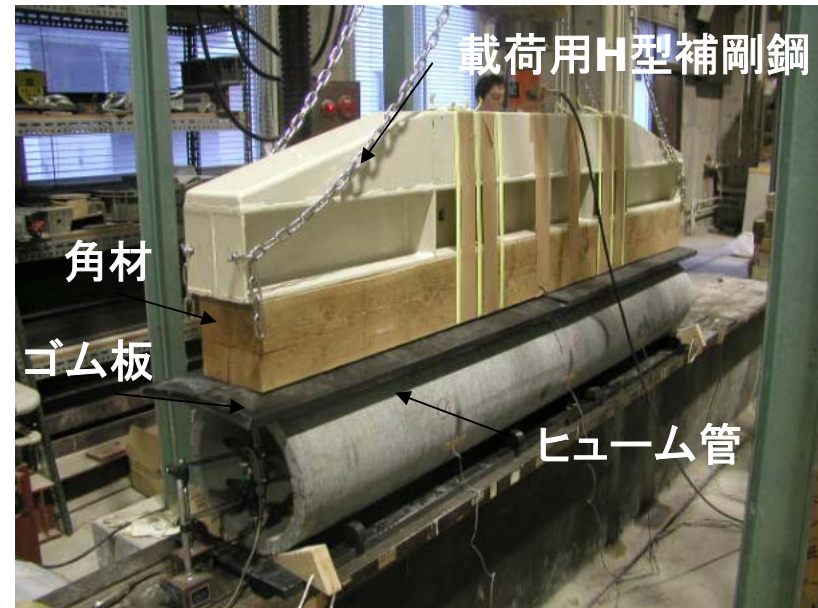
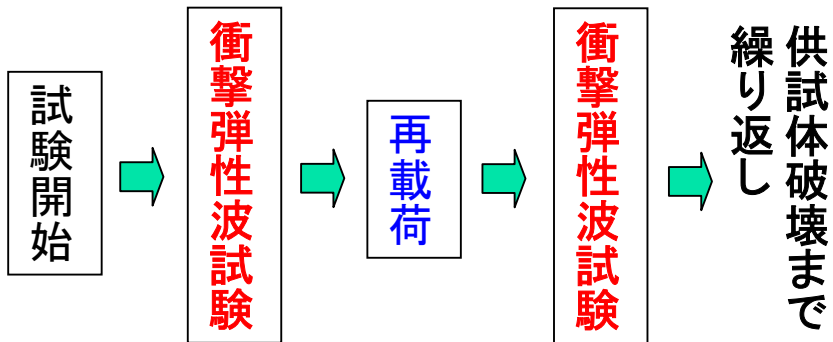
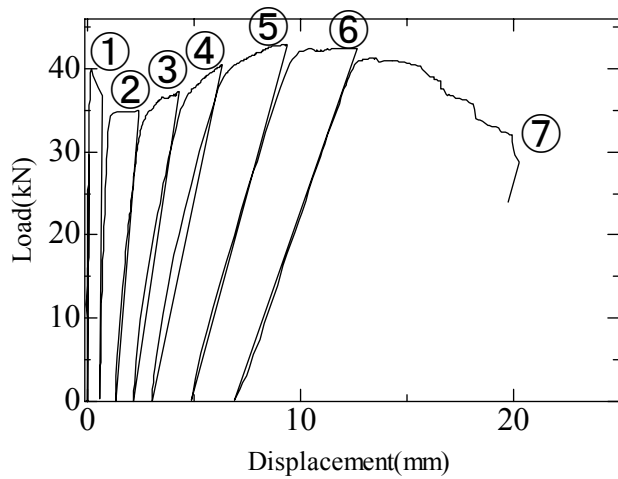


震度5弱の地震で  
倒壊する



更生工法選択のための判断指標へ

# ひび割れ程度(見かけの剛性)の定量的評価



載荷試験状況

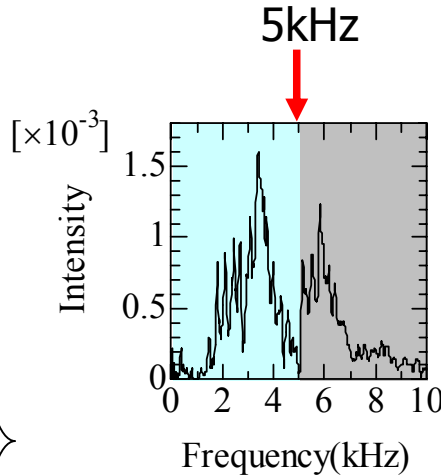
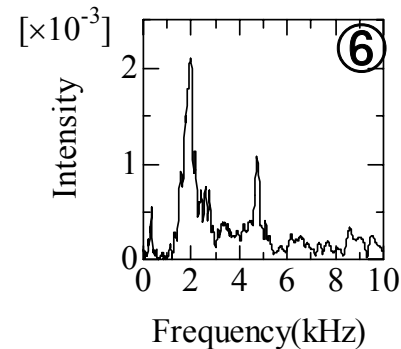
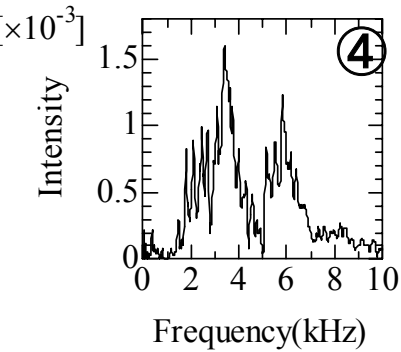
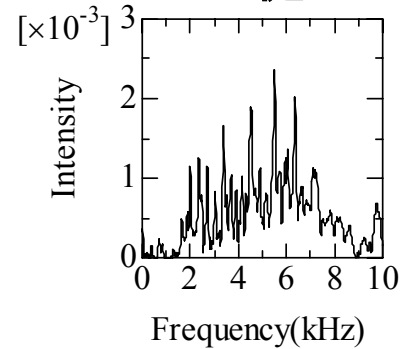
# ひび割れの状況



コンクリート管の上面，底面および両側面に発生し，軸方向に進展

# ひび割れの進行に伴う周波数分布の変化

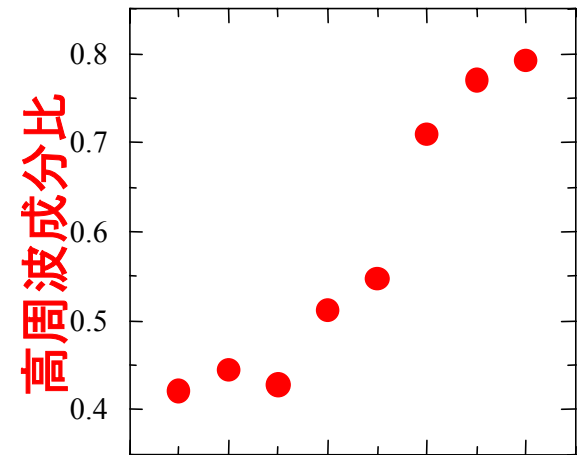
健全



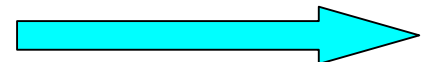
高周波成分比 =

$$\frac{0\sim 5\text{kHzまでの面積 (■)}}{0\sim 10\text{kHzまでの面積 (■+■)}}$$

高周波成分比の変化

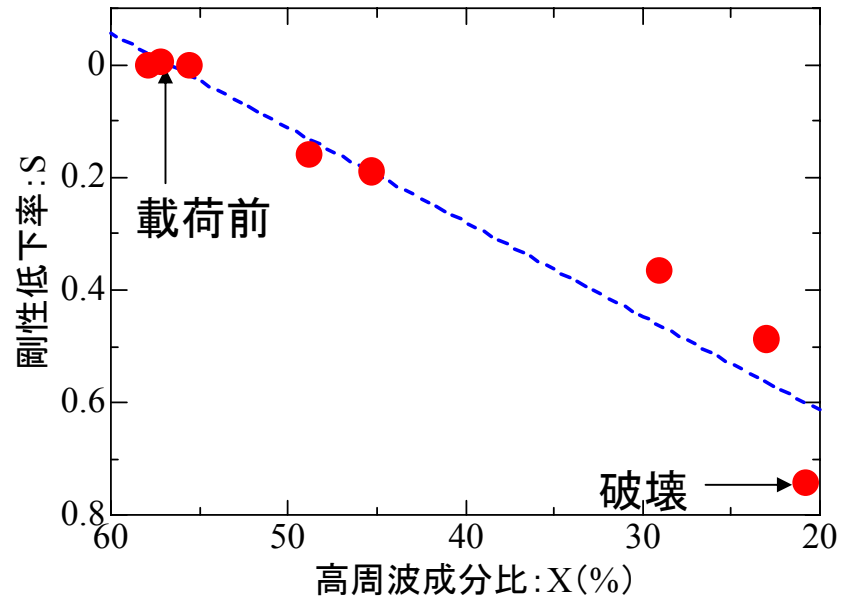
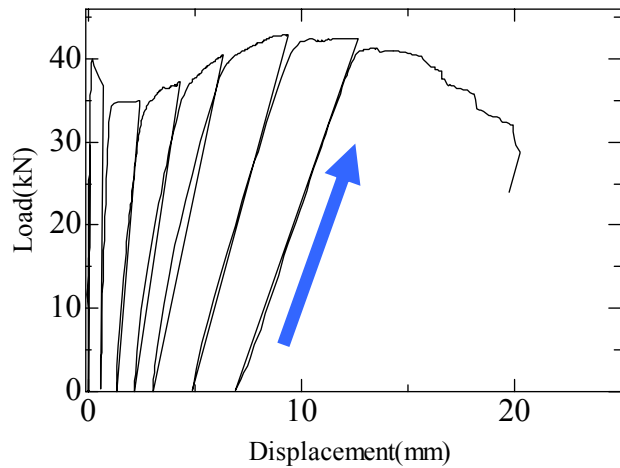


健全  
弾性領域  
ひび割れ発生荷重  
変位 2.4 mm  
変位 4.3 mm  
変位 9.4 mm  
変位 12.6 mm  
変位 20.3 mm



ひび割れの進行

# 剛性低下率と高周波成分比の関係



荷重一変位曲線の傾きから

見かけの剛性を評価

→ 剛性低下率(健全時を1)を算定

$$G = 2.86 X - 60.16$$

自立指数(安全余裕度)

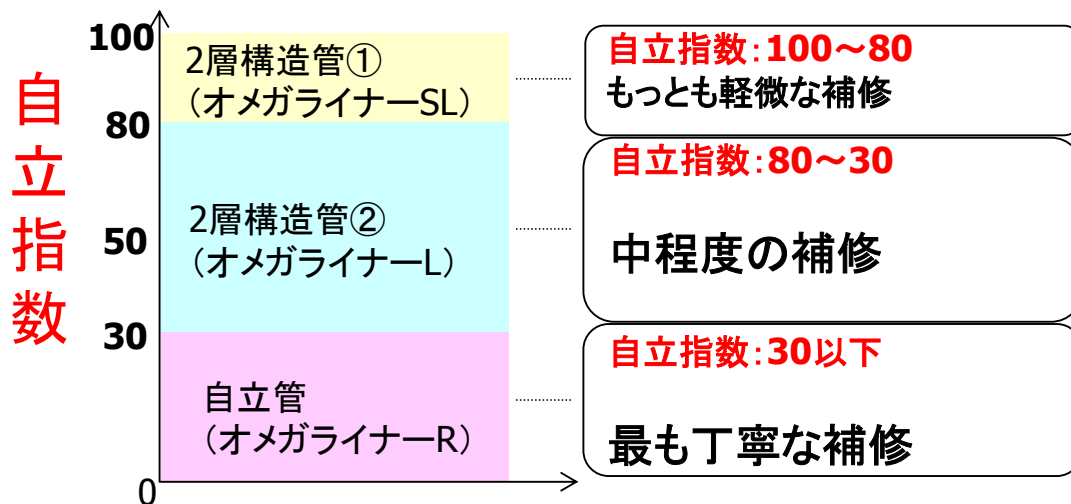
算定式の例

# 管路品質・性能の評価(定量化) → 更生工法選択のための診断

高周波成分比



剛性低下率(自立指数)



【自立指数と更生工法】

# 株式会社 リハビリ・リサーチ・ラボラトリー



大学発ベンチャー企業

データ解析

→ 劣化度診断

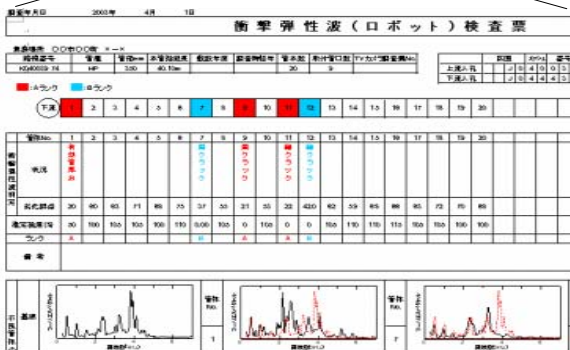
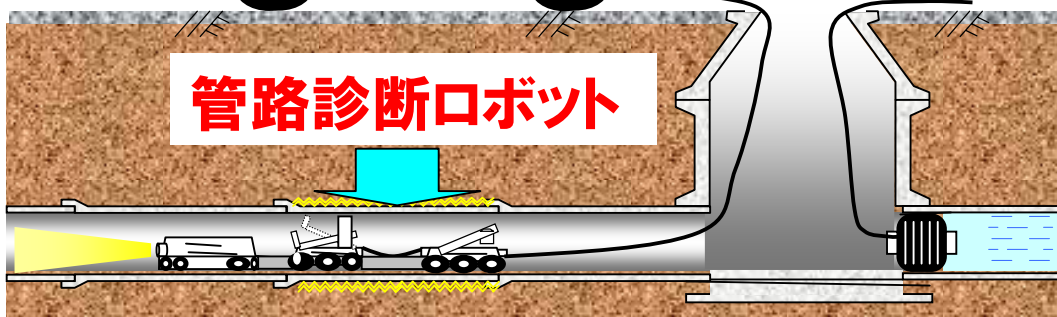
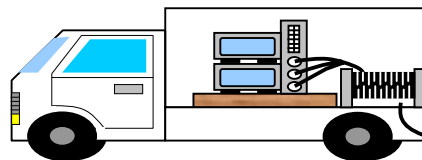
→ (更生(リハビリ)工法提案)

管理者

インターネット

管路診断  
報告書

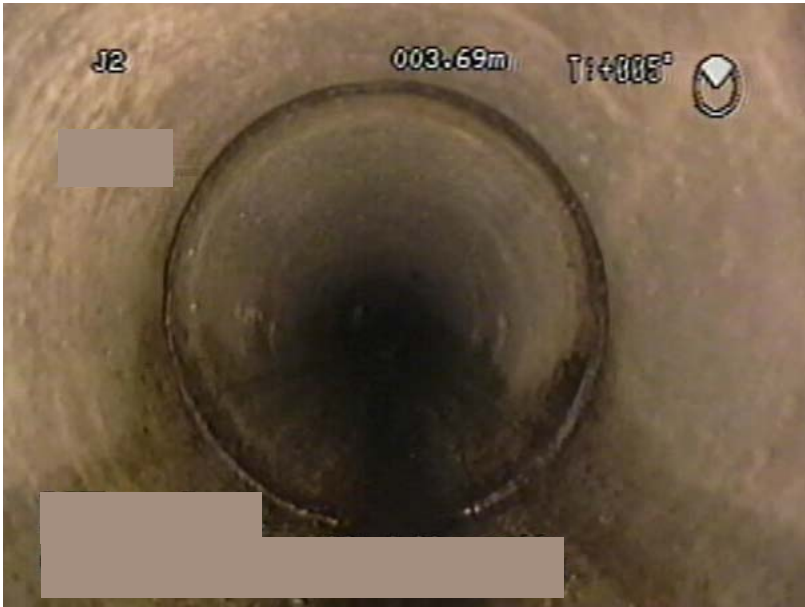
管路調査会社等



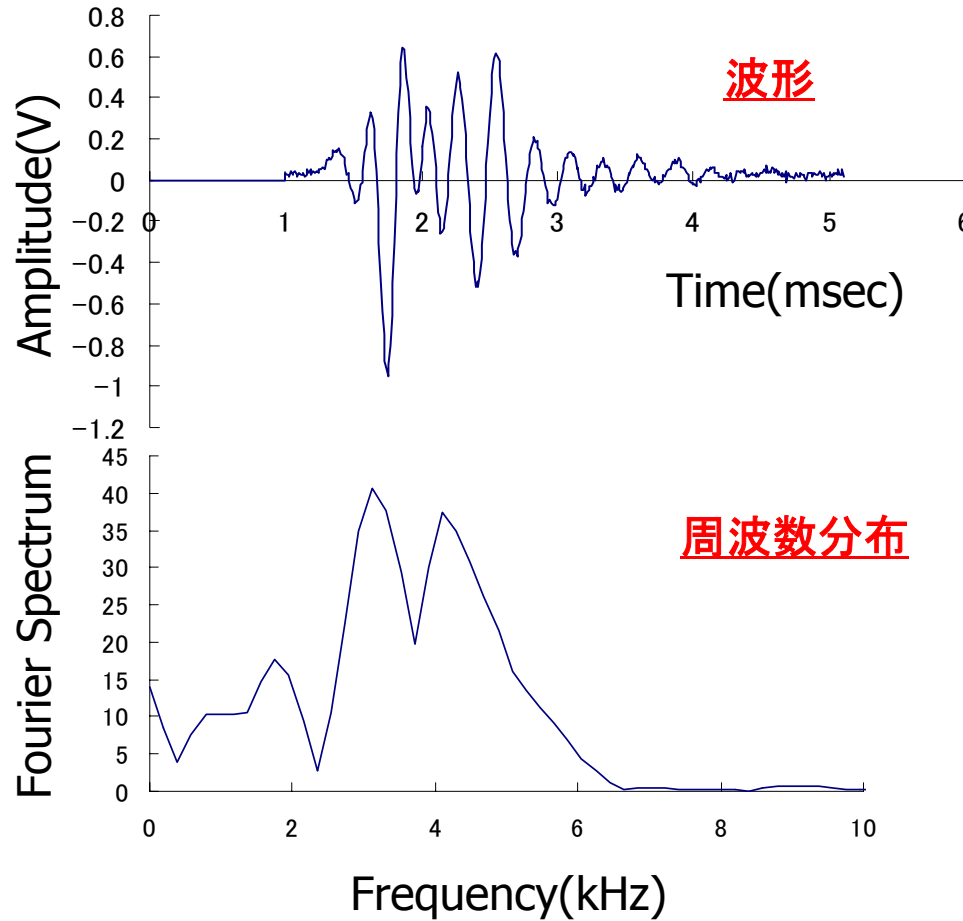




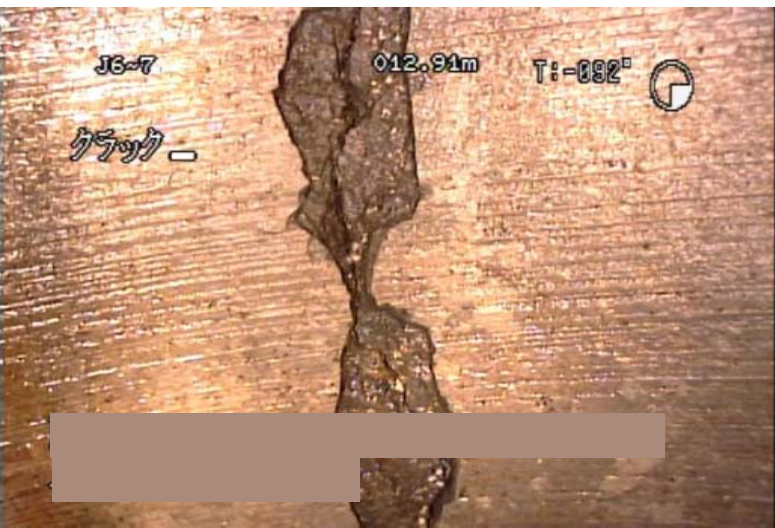
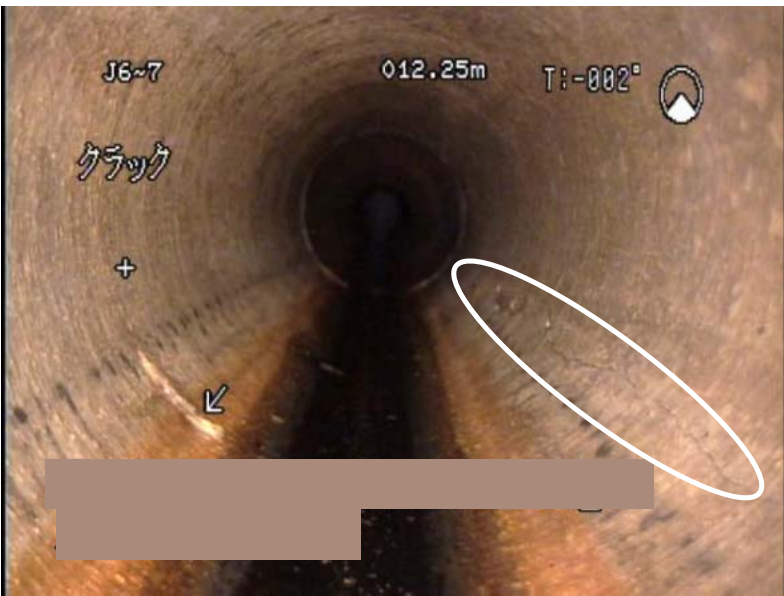
# 健全管の例



TVカメラの直視画像  
(クラックなど変状なし)

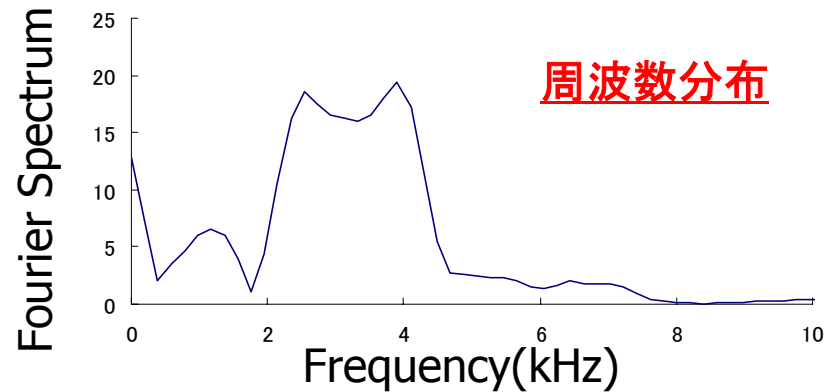
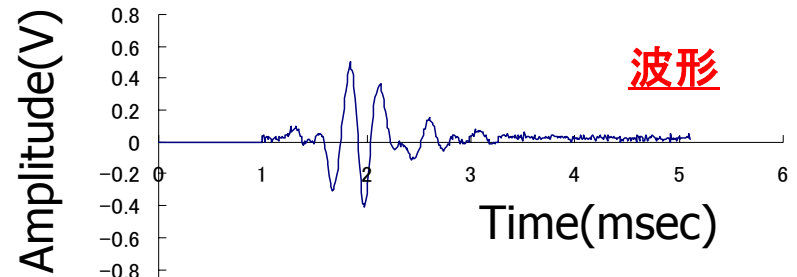


高周波成分比: **57.4%** → 自立指数: **100** → 更生不要



TVカメラ画像

# クラック管 (軸クラック有)の例



高周波成分比: **45.9%** → 自立指数: **62.7** → 要更生(中レベル)

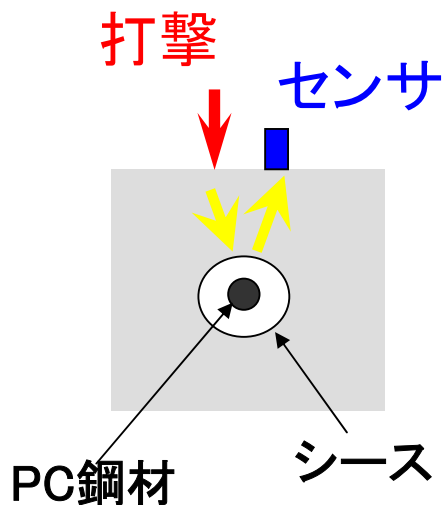
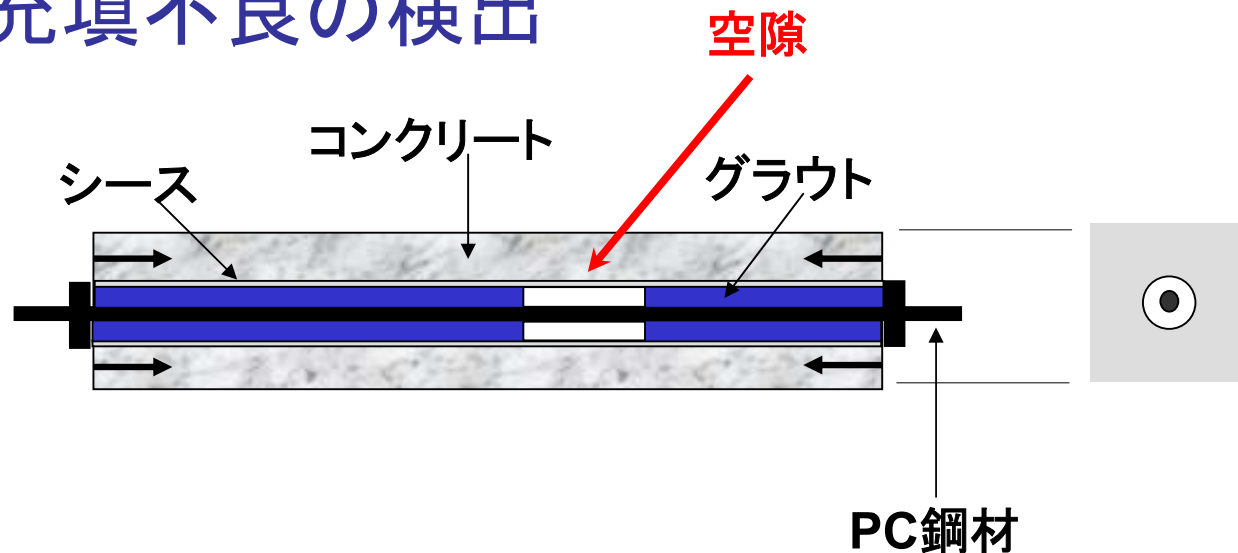


---

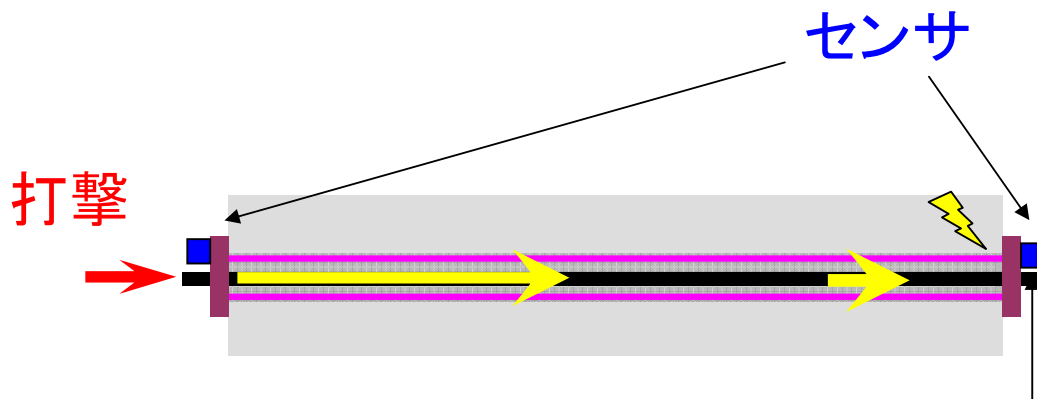
# 衝撃弾性波法の原理と応用

PC桁グラウト充填評価への適用

# PCグラウト充填不良の検出



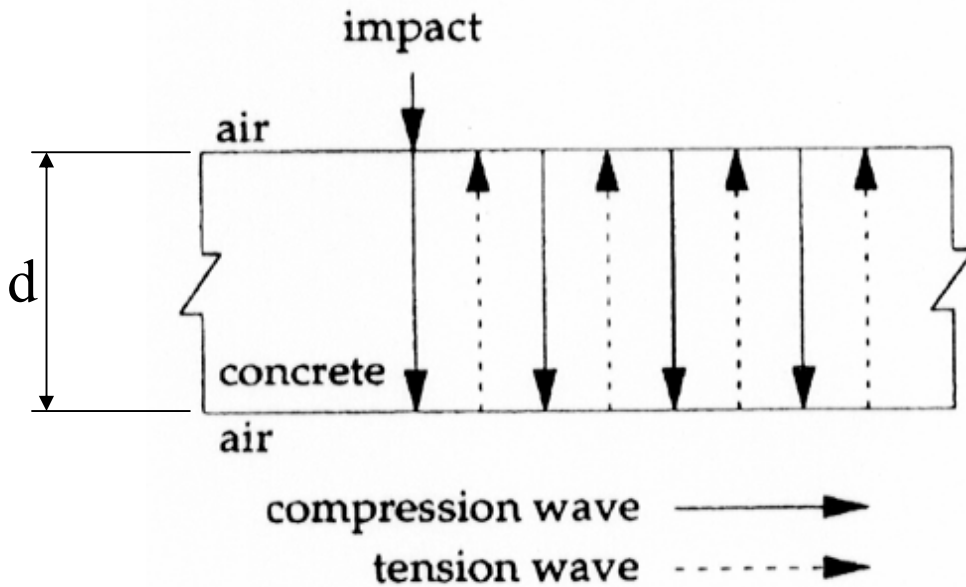
**A法**  
(詳細調査への適用)



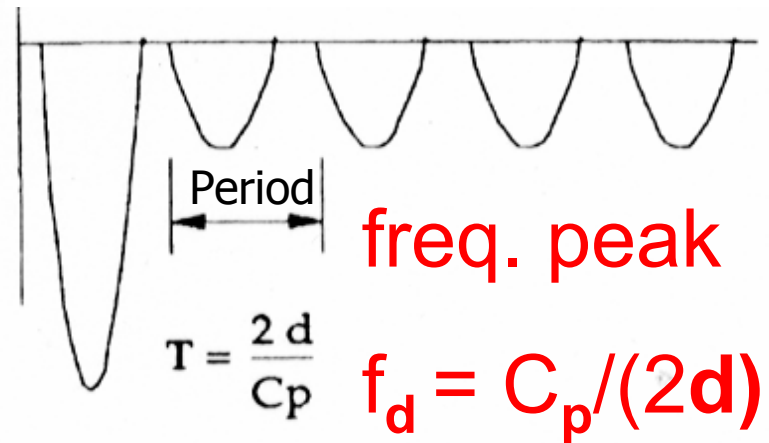
**B法**  
(概略調査への適用)

# A法の原理

【評価指標】: 周波数特性 (インパクトエコー法)



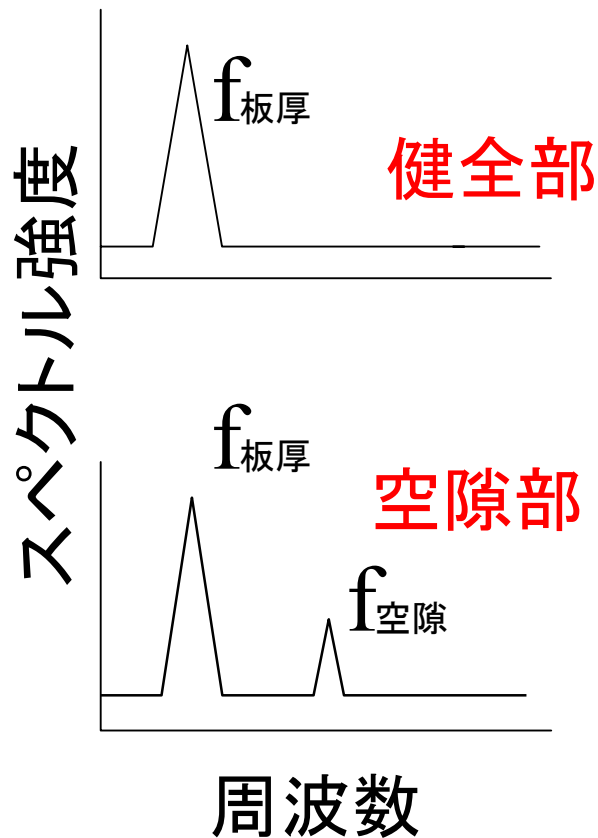
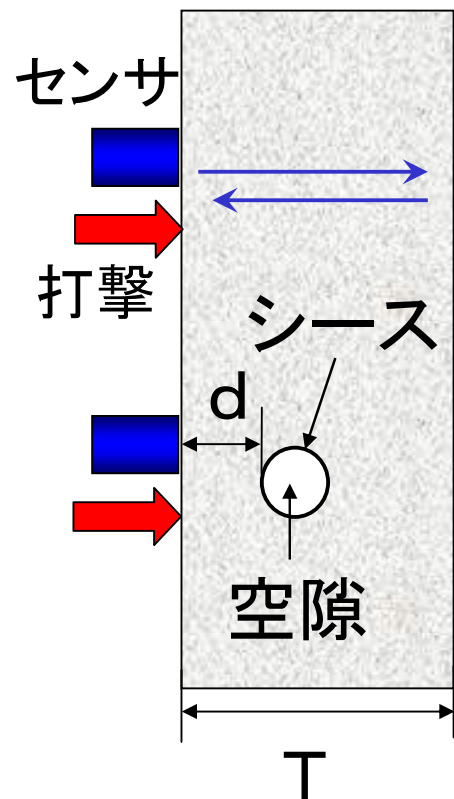
Repetition of the reflection phenomenon of elastic wave is shown in this wave form.



$d$ : plate thickness

$C_p$ : P wave velocity

# グラウト未充填検出への適用



$$f_{\text{板厚}} = \frac{C_P}{2T}$$

$$f_{\text{空隙}} = \frac{C_P}{2d}$$

$C_P$  : コンクリート中の  
縦波伝播速度

# 計測装置

コニカル型変位振動子

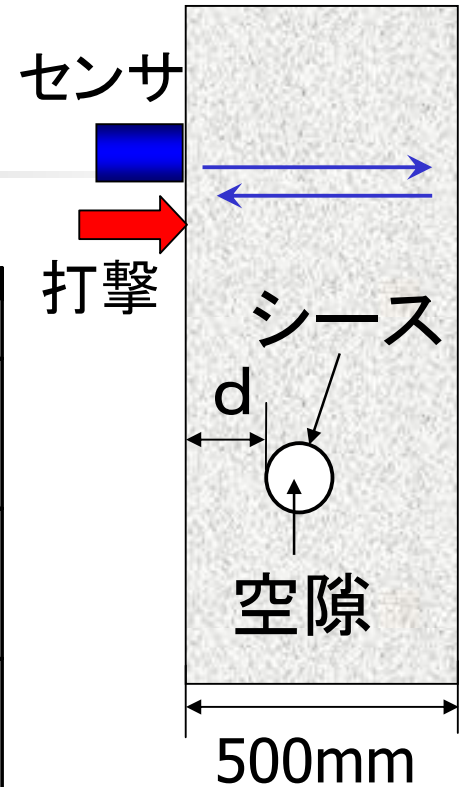
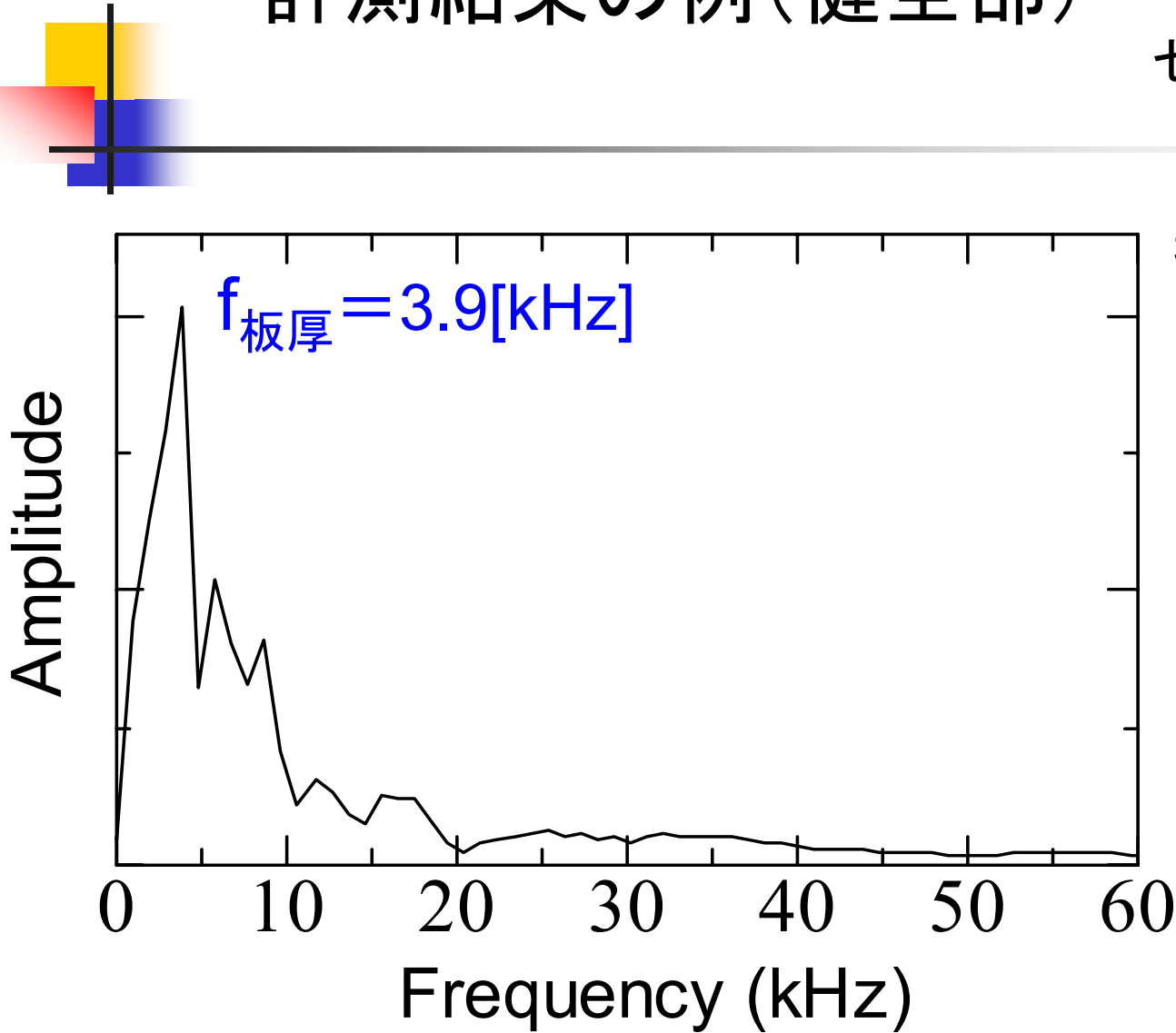


インパクト



アンプ

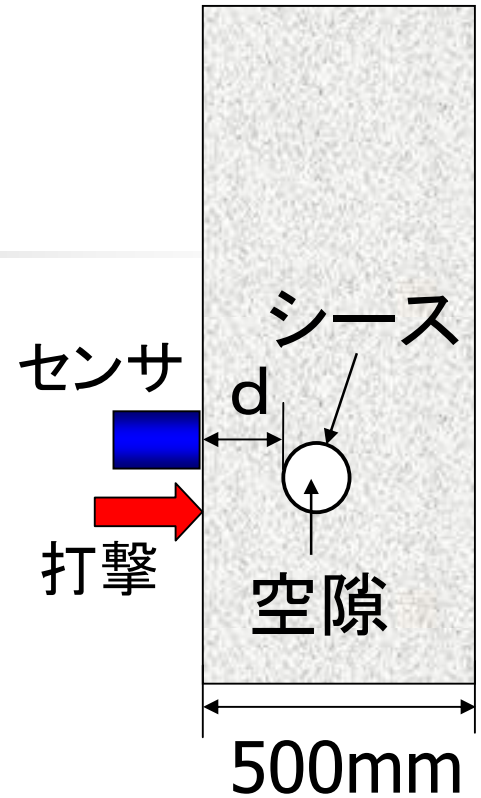
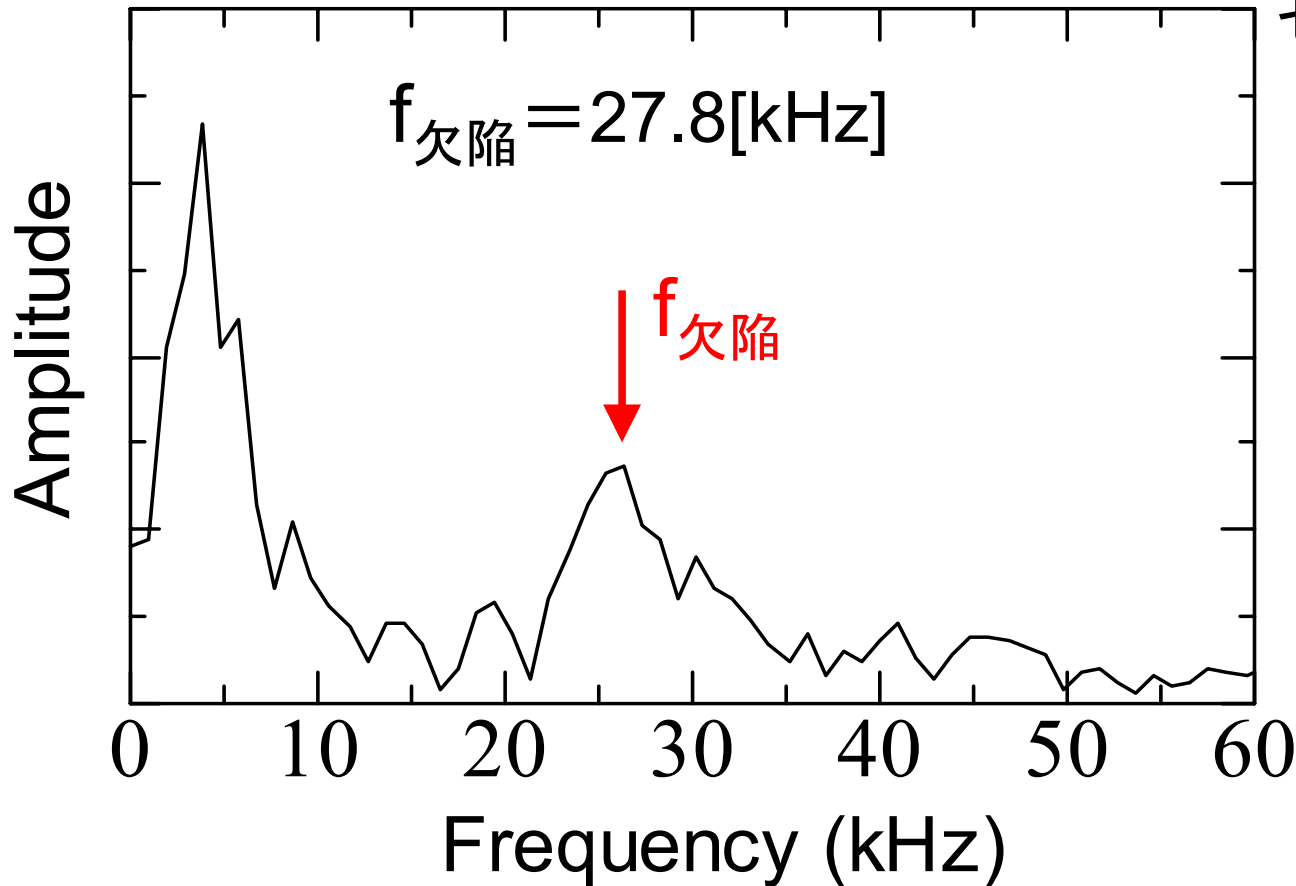
# 計測結果の例(健全部)





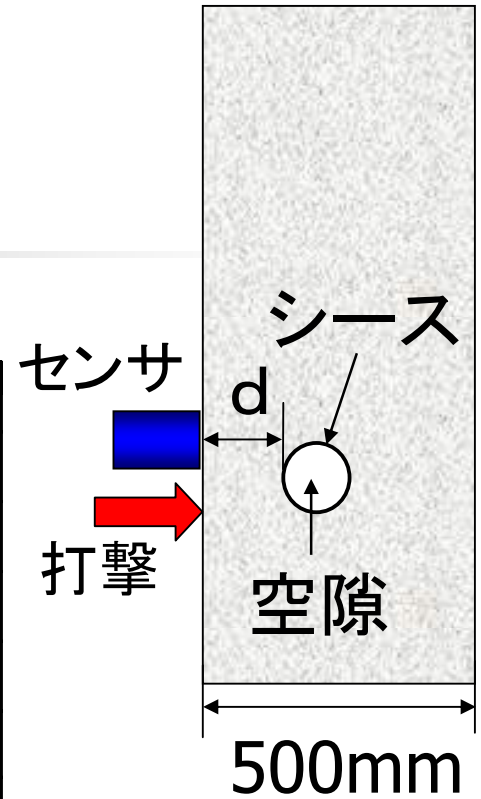
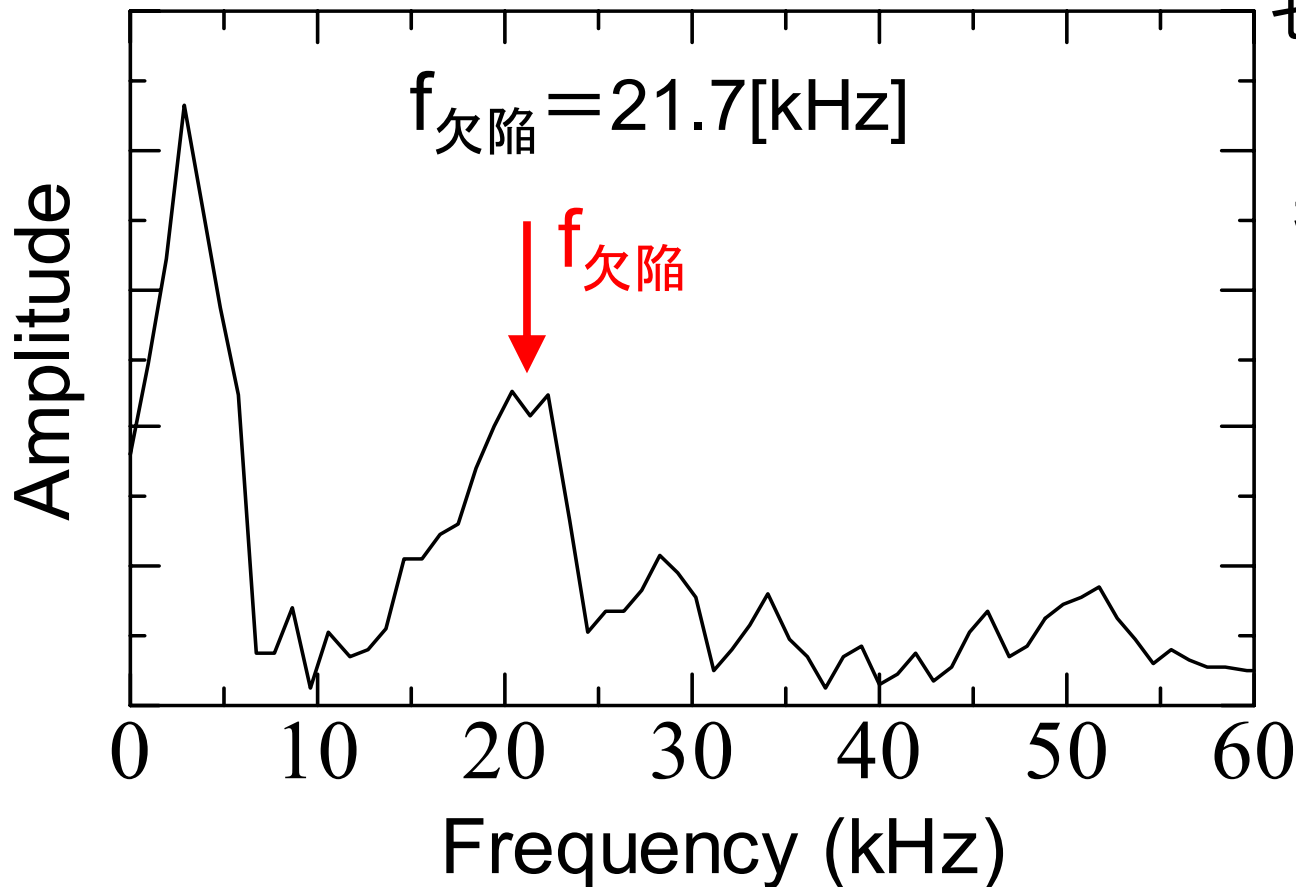
# 計測結果の例

(空隙深さ 70mm、 $\phi$  90mm)



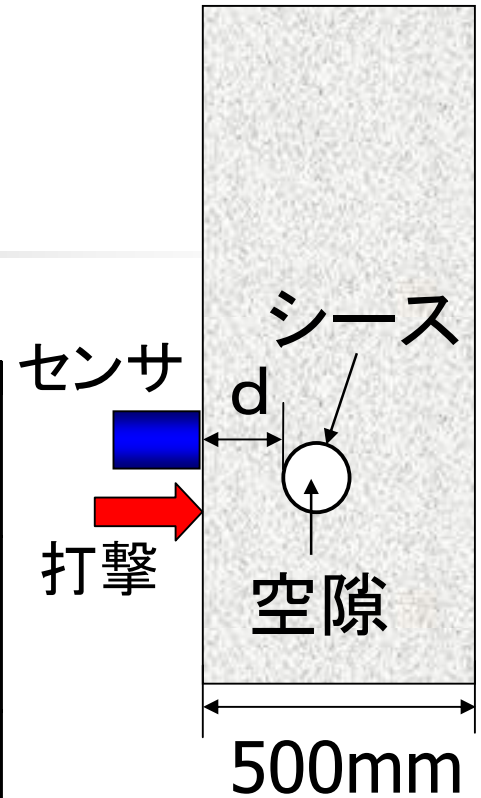
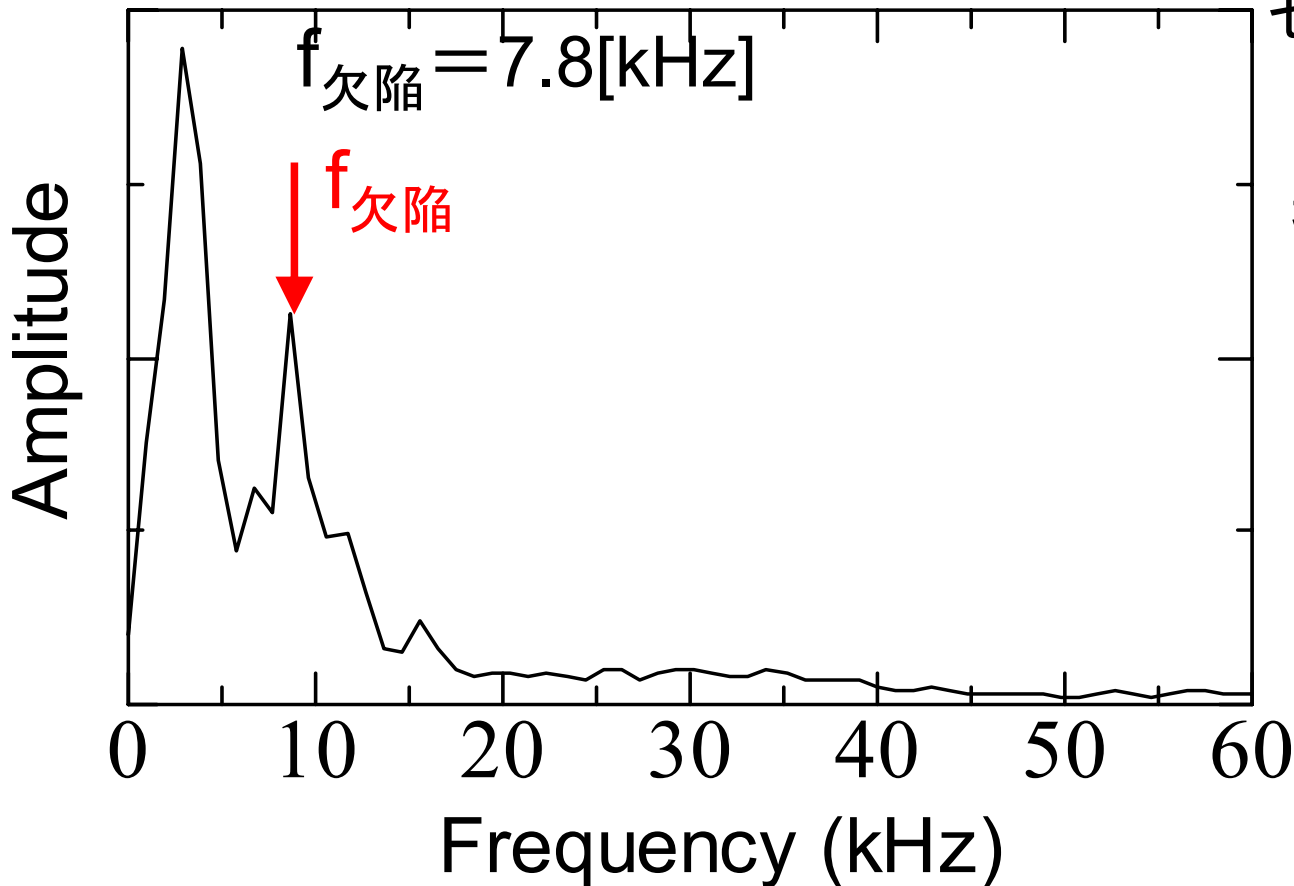
# 計測結果の例

(空隙深さ 100mm、 $\phi$  90mm)



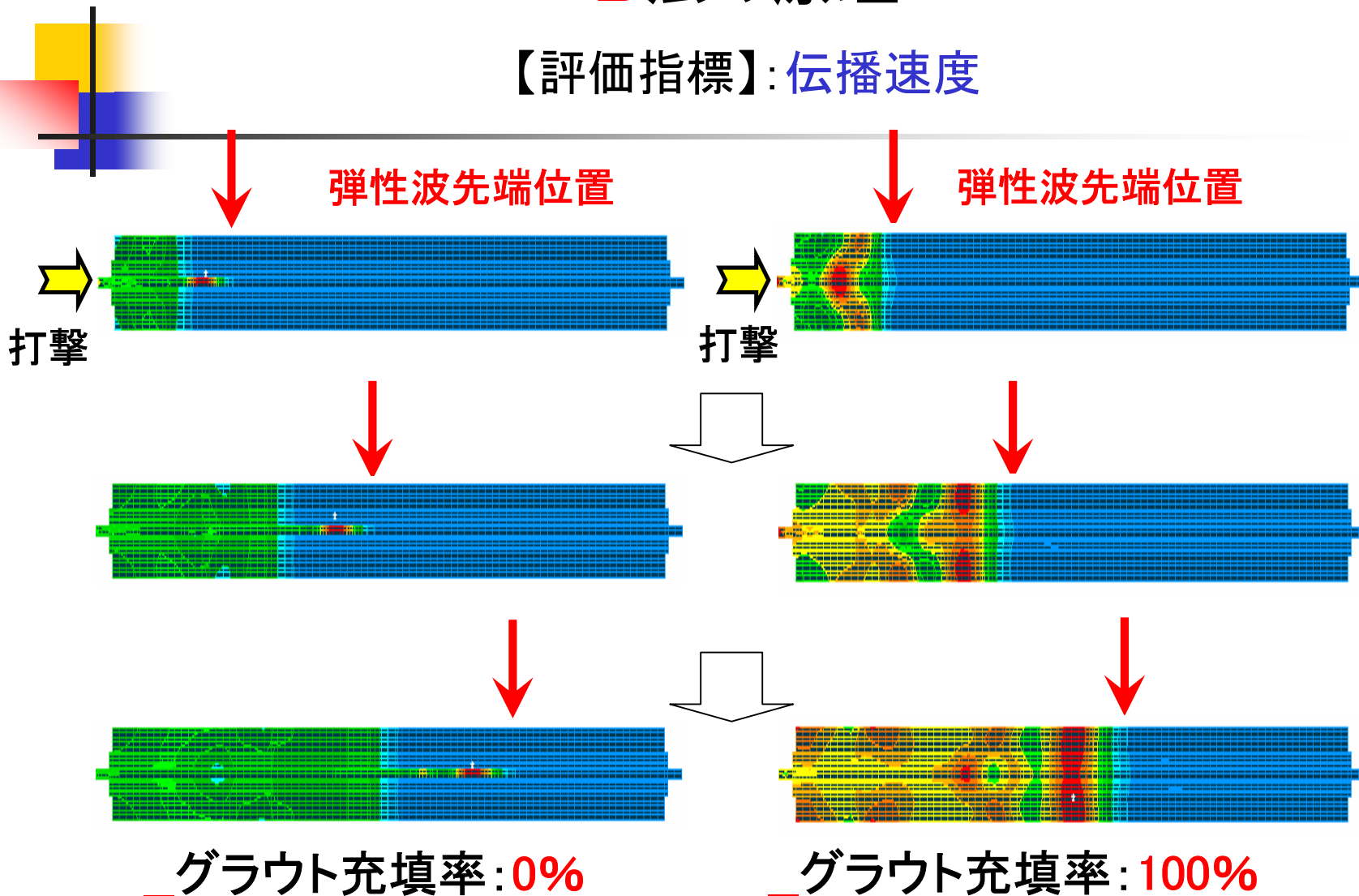
# 計測結果の例

(空隙深さ 250mm、 $\phi$  90mm)



# B法の原理

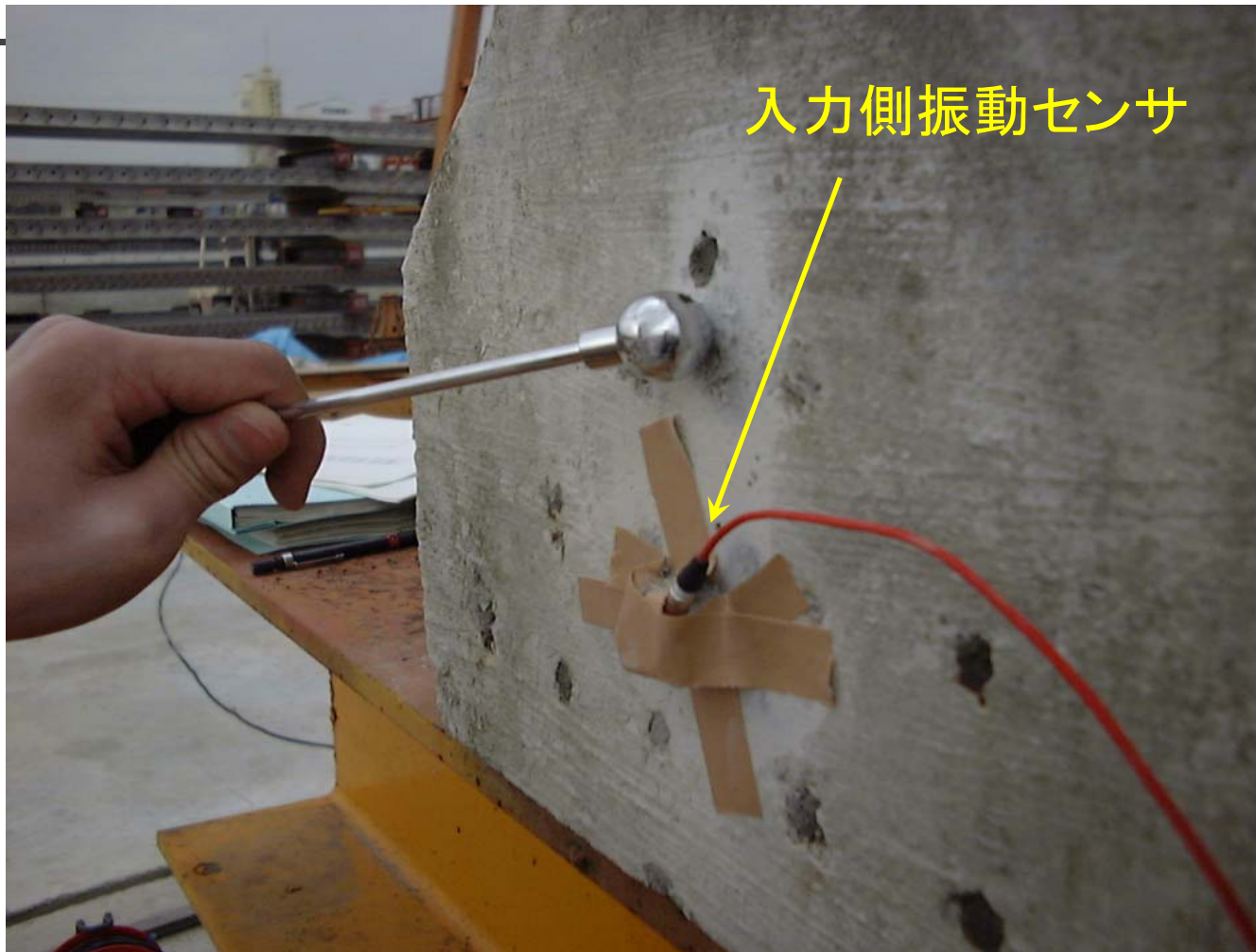
【評価指標】: 伝播速度



# 伝播速度の計測

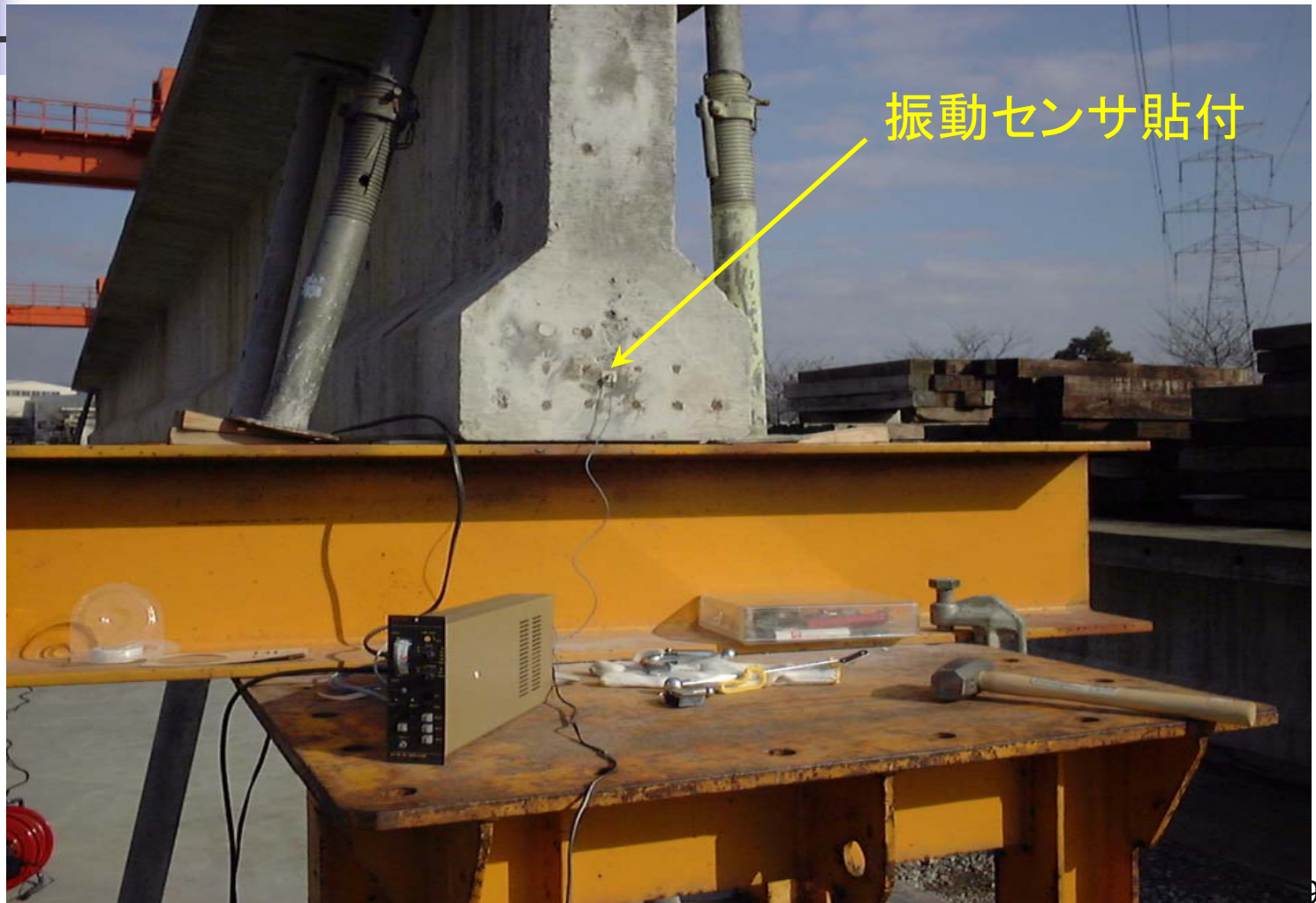


# 鋼球棒による打撃

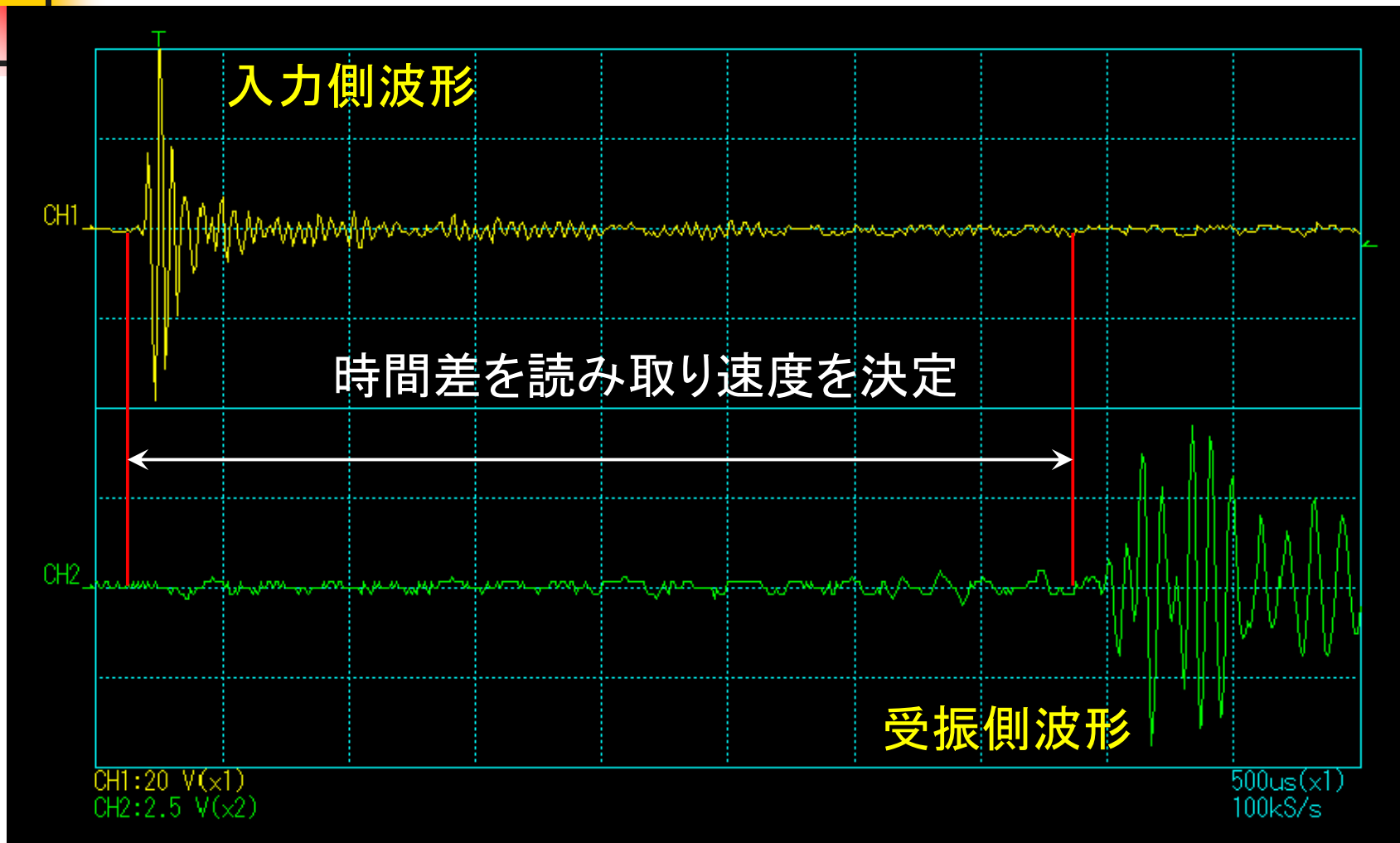




# 受振側の状況



# 伝播速度の算定

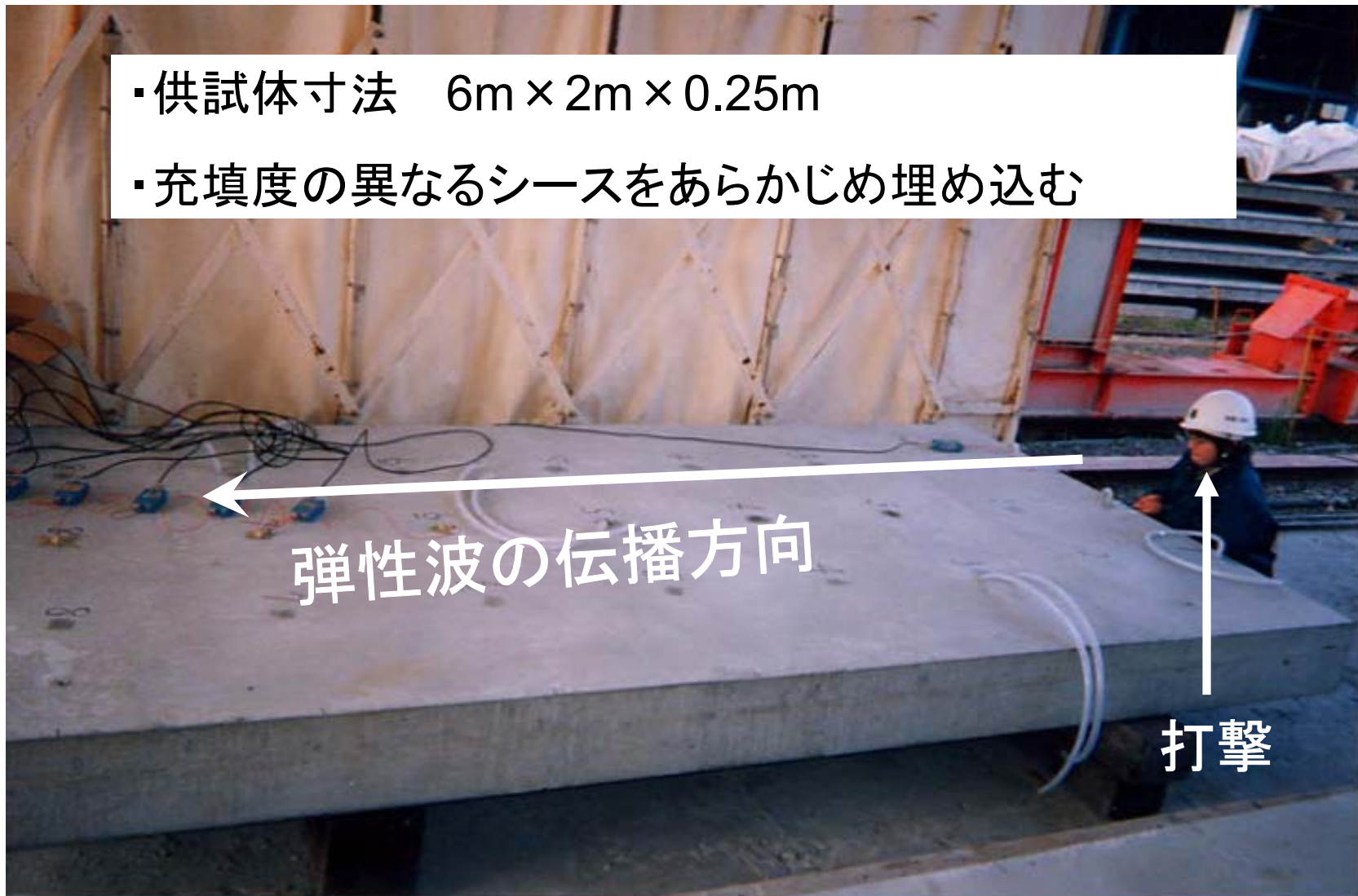




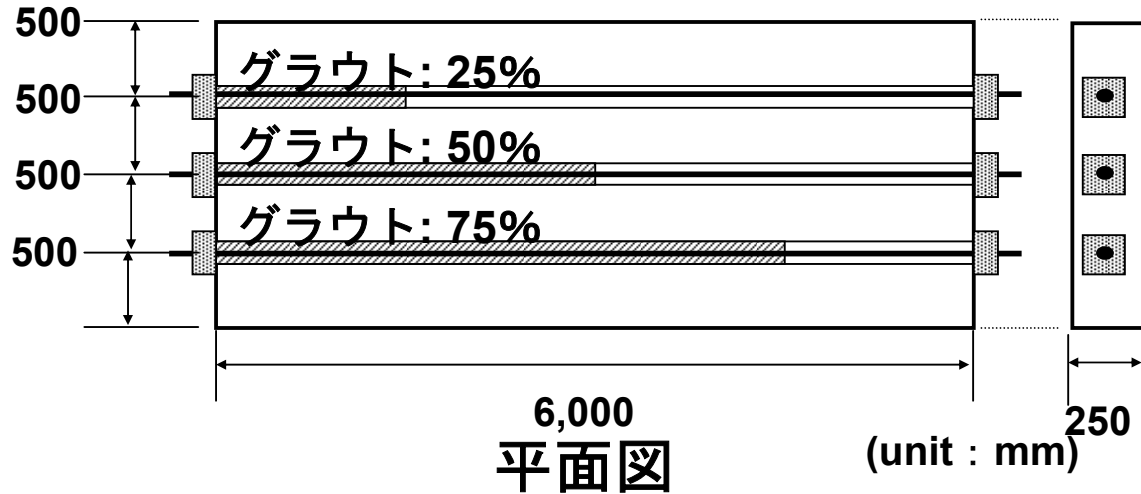
# PCスラブ供試体での実験

## 伝播速度とグラウト充填度の関係の把握

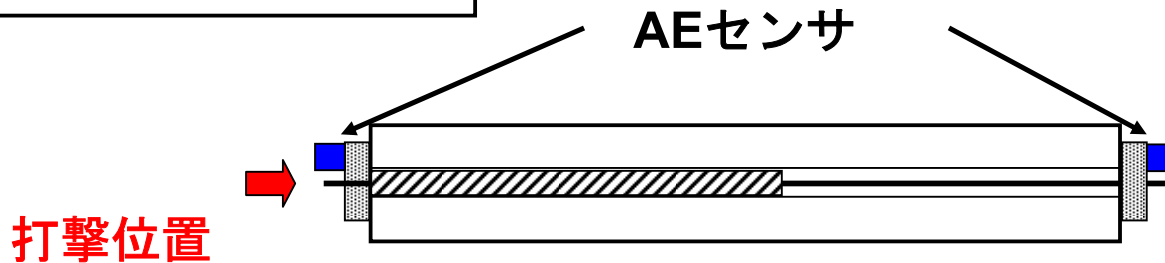
- ・供試体寸法 6m × 2m × 0.25m
- ・充填度の異なるシースをあらかじめ埋め込む



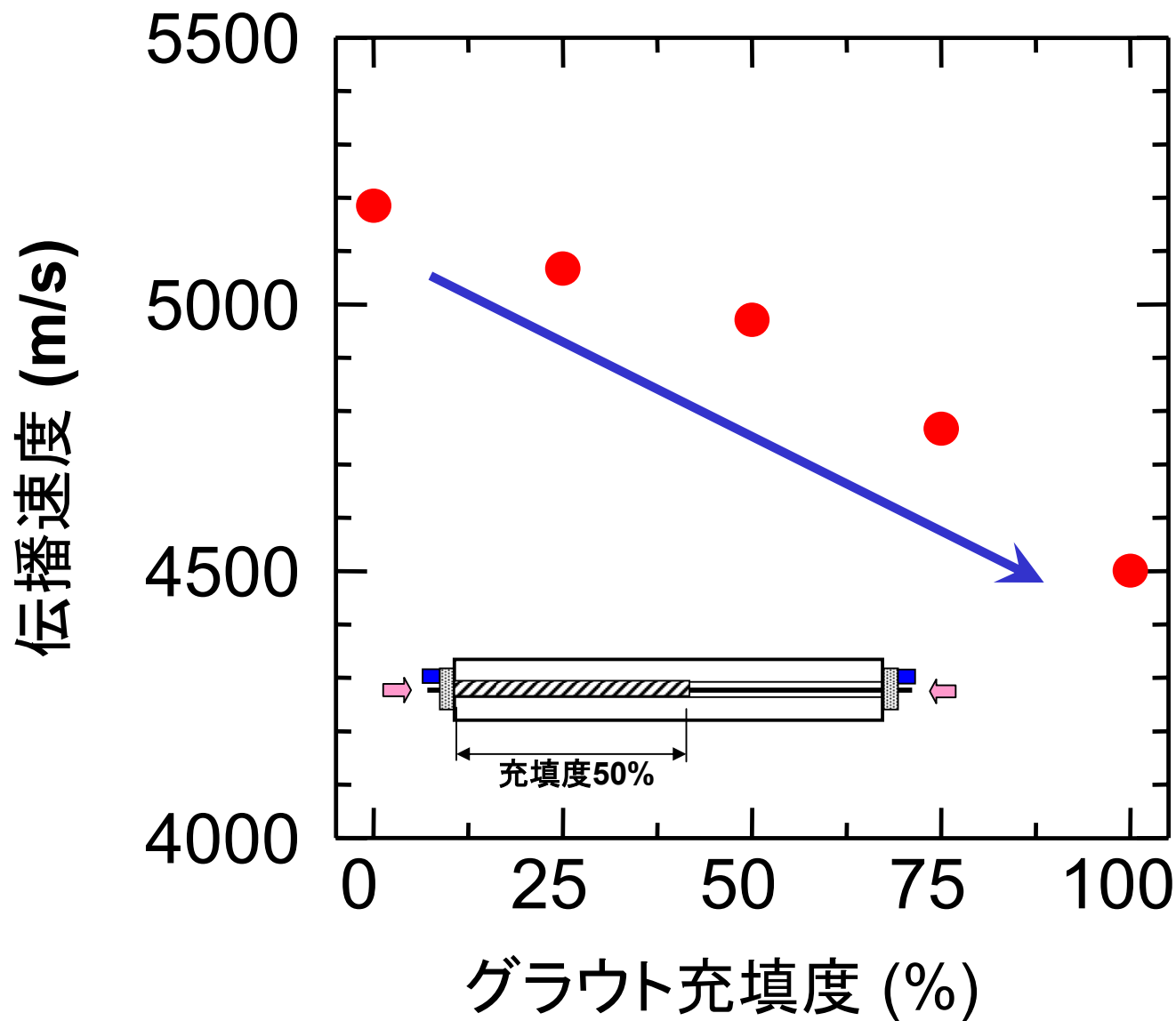
# 供試体の詳細



0%: 完全未充填  
100%: 完全充填



# グラウト充填度と伝播速度の関係(実験)

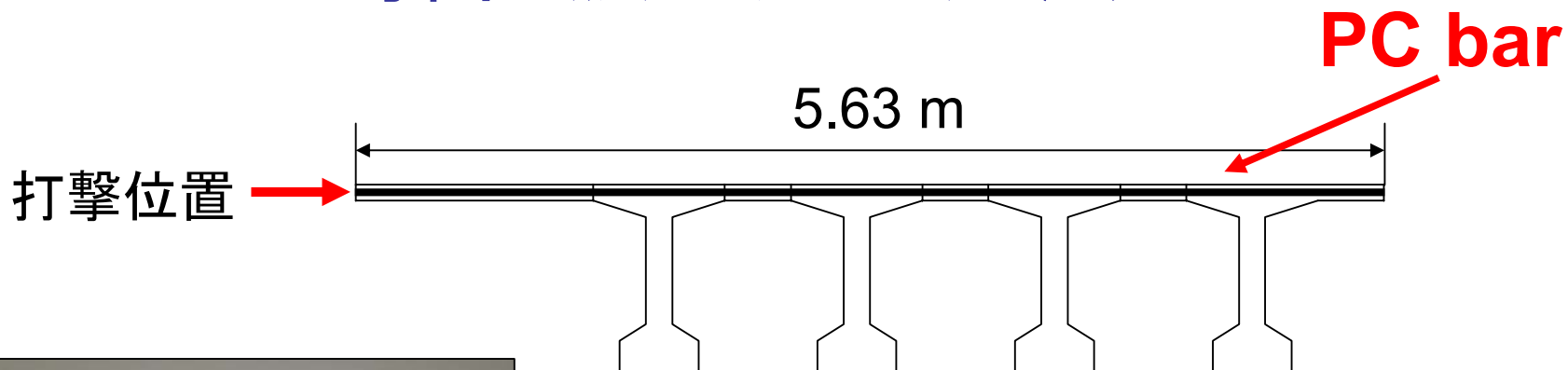


# 実構造物でのグラウト充填評価



対象：横締めPC鋼棒

# 弾性波の入力方法



打撃装置



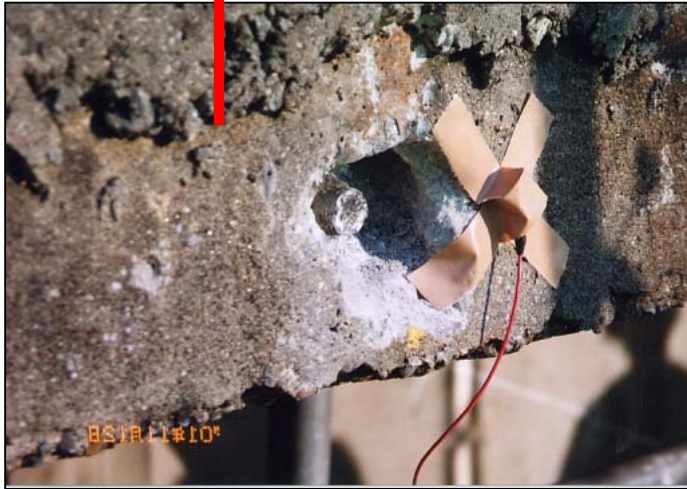
弾性波の入力



# 弾性波の受振

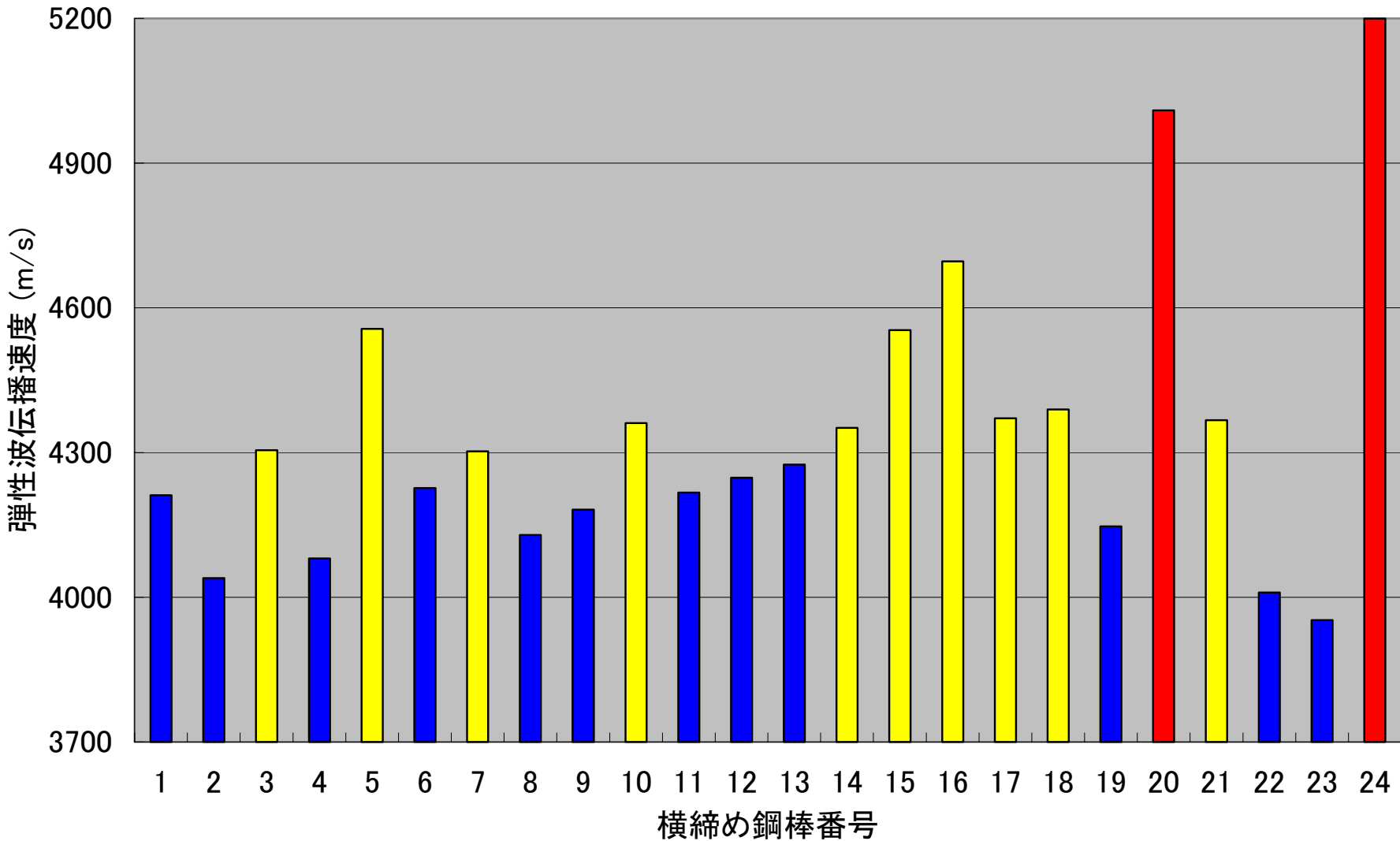
5.63 m

PC bar



150kHz resonance type AE sensor

# 伝播速度 (A高架橋の全24本分)





# 削孔結果

速度の小さなものの大部分は



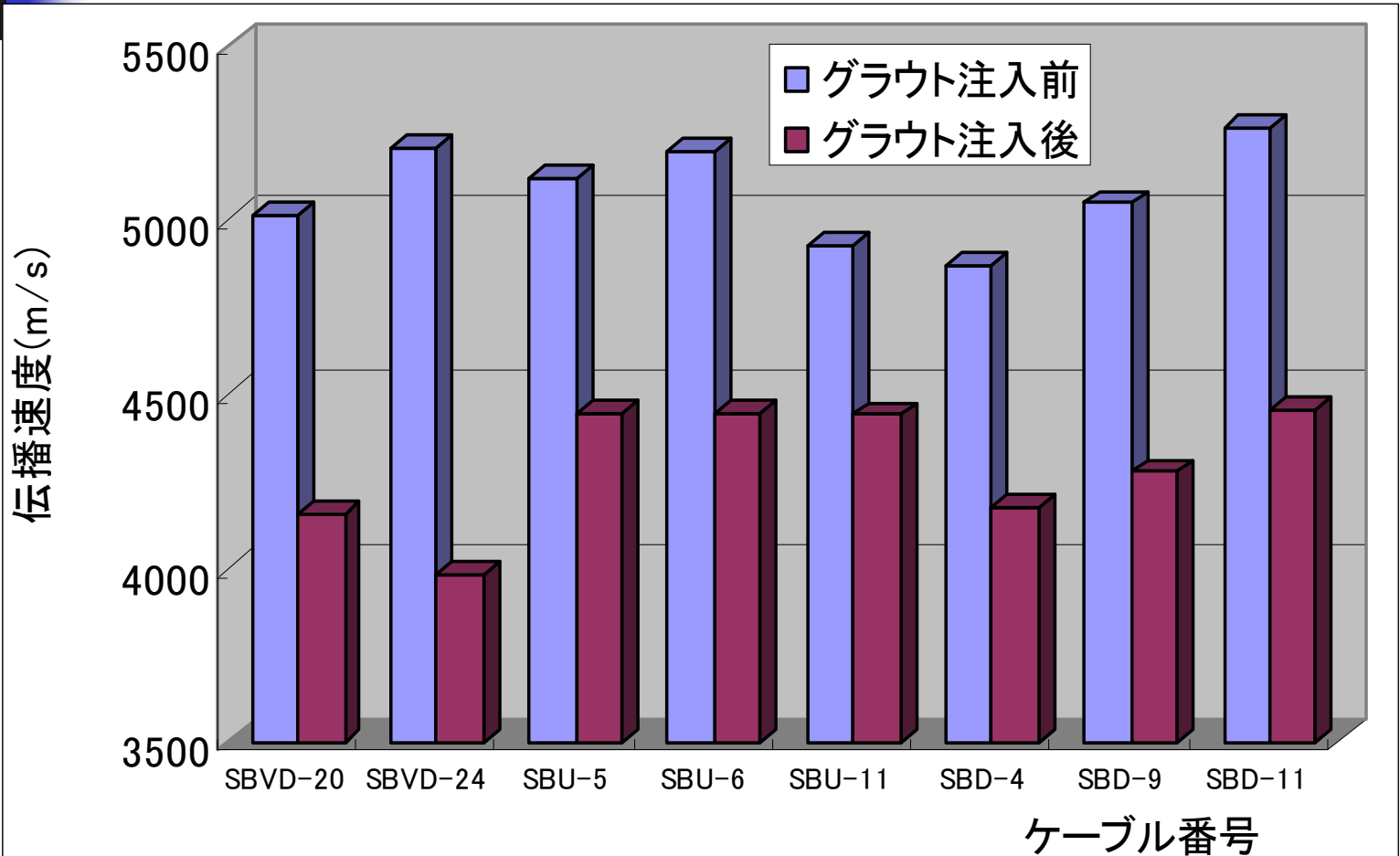
グラウト充填部

速度の大きなものでは



グラウト未充填部

# グラウト注入前および注入後の比較





---

# 衝撃弾性波法の原理と応用

杭の健全性試験への適用

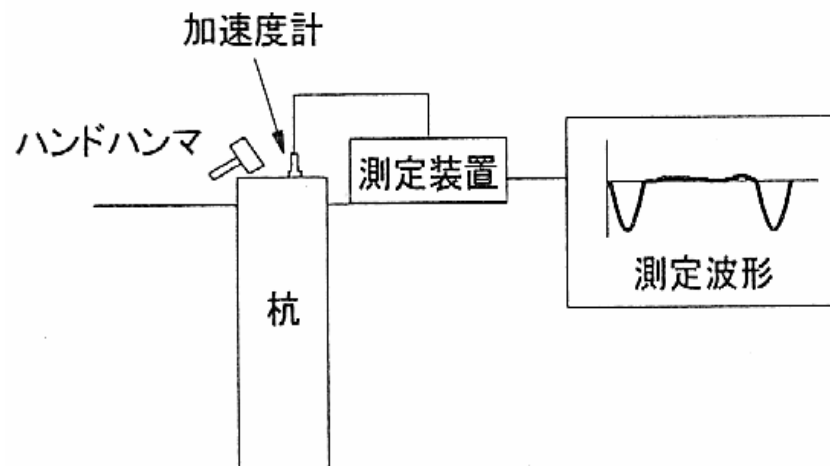
# 衝撃弾性波法による 杭の根入れ深さおよび損傷の評価

ハンマ打撃によって発生させた弾性波  
対する杭の応答を、加速度計などで測定

- 基礎杭先端の形状や根入れ深さ、損傷を評価

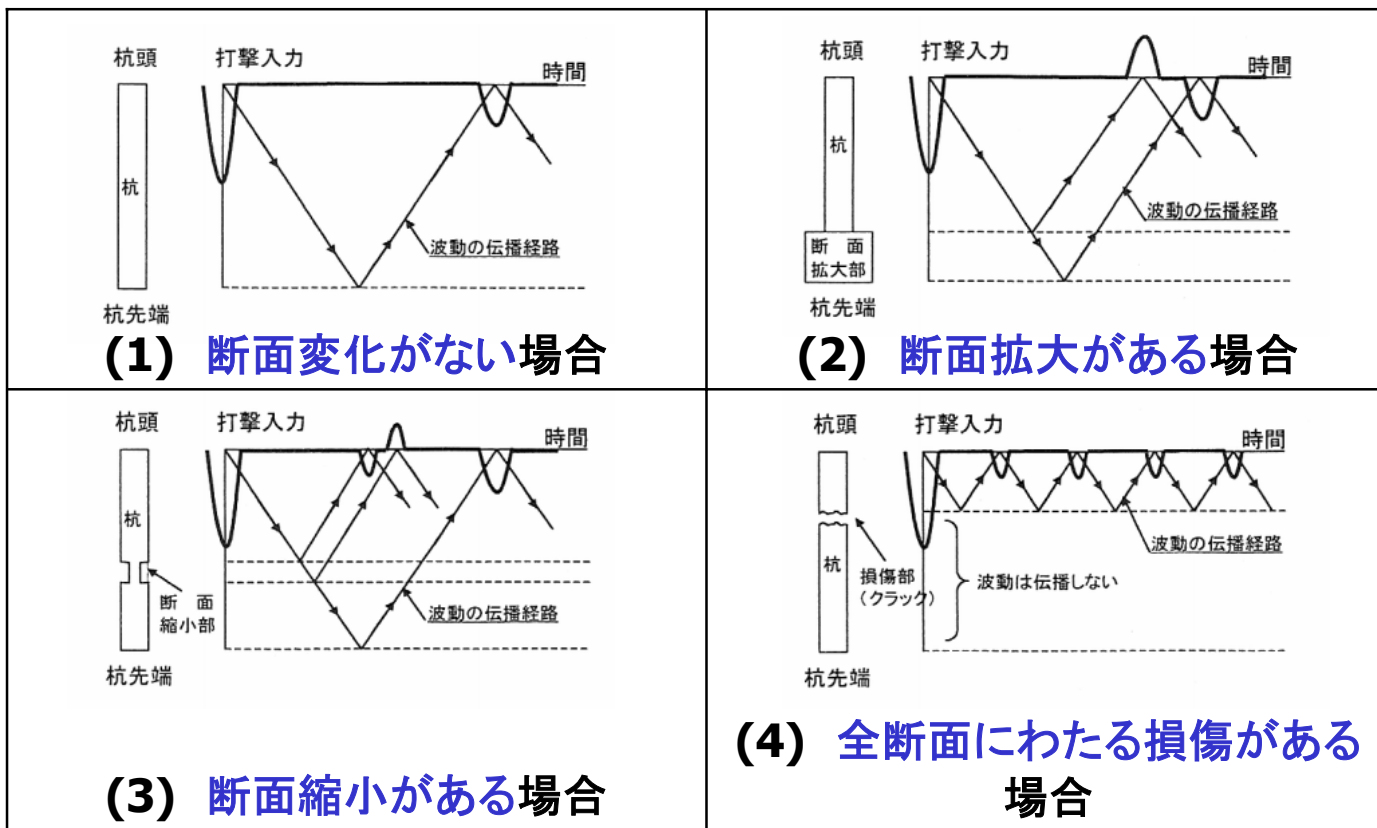
橋梁基礎構造の形状および  
損傷調査マニュアル(案)

**Pile Integrity Test**



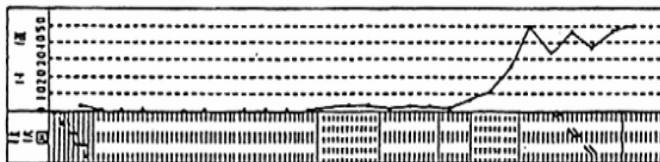
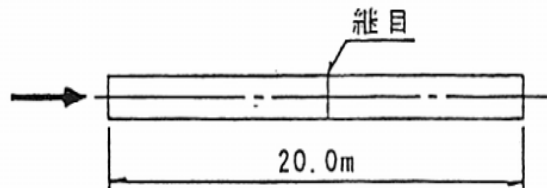
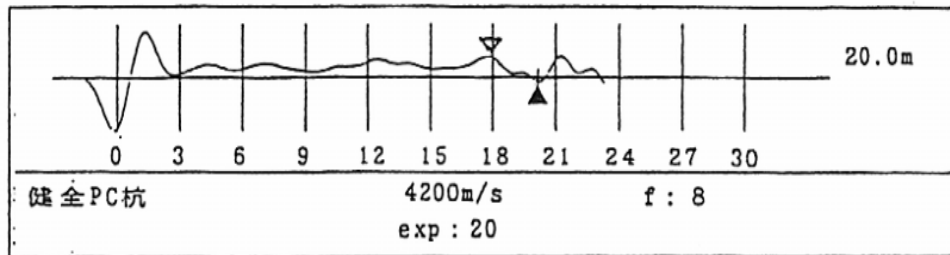
# 杭の根入れ深さおよび損傷の評価

## 調査マニュアル(案)における反射波形の具体的事例



# 建築基礎杭のインティグリティ試験

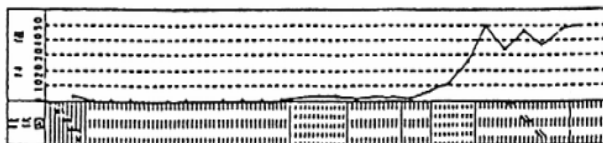
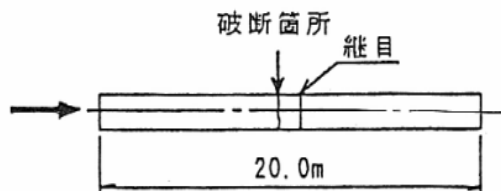
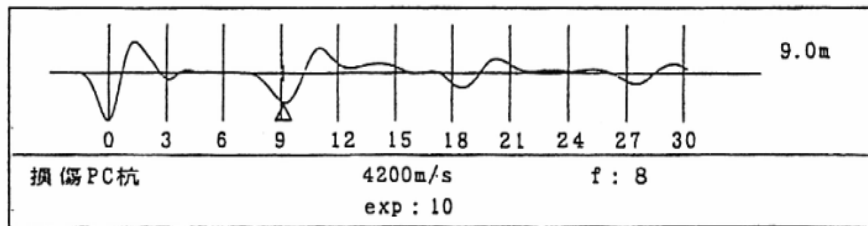
## 健全杭の試験例 (PC杭 L: 20m)



- ▲杭頭反射、設計値通りの位置で確認
- ▽支持層へ根入れされたことによる地盤の影響

# 建築基礎杭のインティグリティ試験

損傷杭の試験例（打設後、地盤の側方移動により傾き損傷を受けたもの）



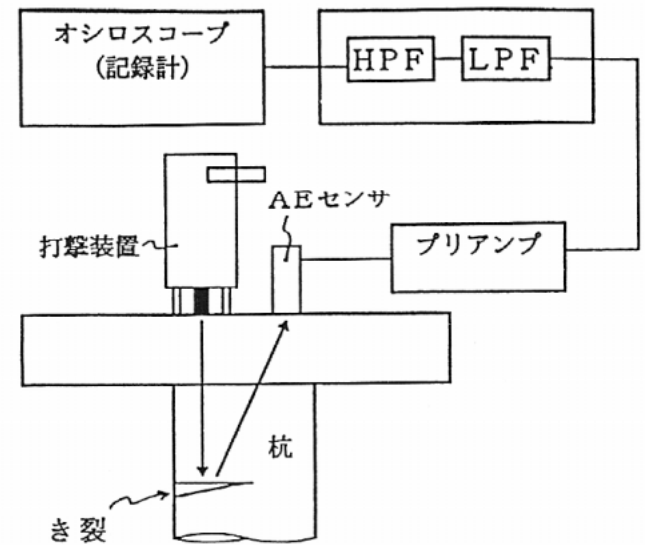
- $\Delta 9\text{m}$ の位置にある破断箇所での反射波形
- 18m, 27mに多重反射が認められる



# 道路高架橋基礎杭の損傷評価

フーチング(厚さ 2.5m) 上部からの  
杭( $\phi$ : 1.5m, L: 23m)の損傷調査例

- 杭頭を露出させない  
条件での適用性を検討
- 健全杭、損傷杭の  
で測定、差違の確認



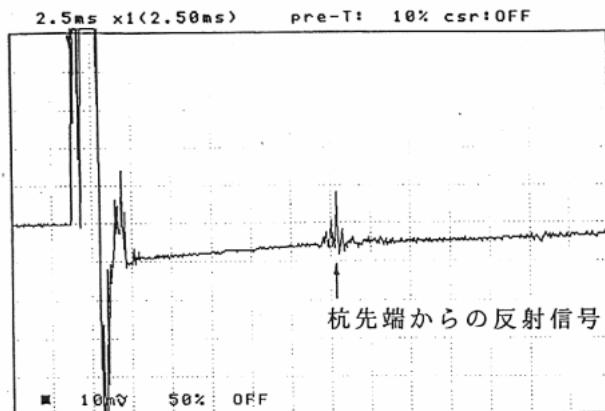
計測装置ブロック図

# 道路高架橋基礎杭の損傷評価

## 受信波形

- それぞれ杭長、およびき裂に相当する位置に反射波を確認

健全



損傷あり

