

令和元年5月29日 JCMA 大阪フォーラム

コンクリートの非破壊診断技術の 有効活用に向けて

～ 弾性波を用いる手法を対象として ～

大阪大学大学院 工学研究科 鎌田 敏郎

講演内容

- ① **インパクトエコー法によるRC床版の水平ひび割れの検出**
弾性波伝播シミュレーションを活用することによって、
現場に適した計測条件を事前に把握
- ② **電磁パルス法によるPCグラウト充填状況の評価**
弾性波の応答に加えて、さらに、電磁場の応答も加える
ことによって適用範囲を拡大

NEXCO, 阪神高速等
大規模更新・大規模修繕事業
(NEXCO3社: **床版取替のみで1.65兆円**)

これは、叩いても、耳で聞く
「音」ではわかりません！

舗装
増厚

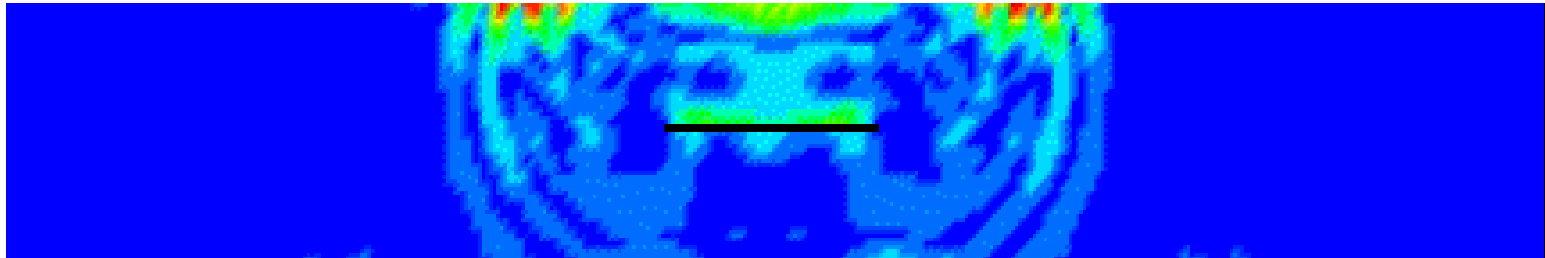
既設
床版



対象とする水平ひび割れ

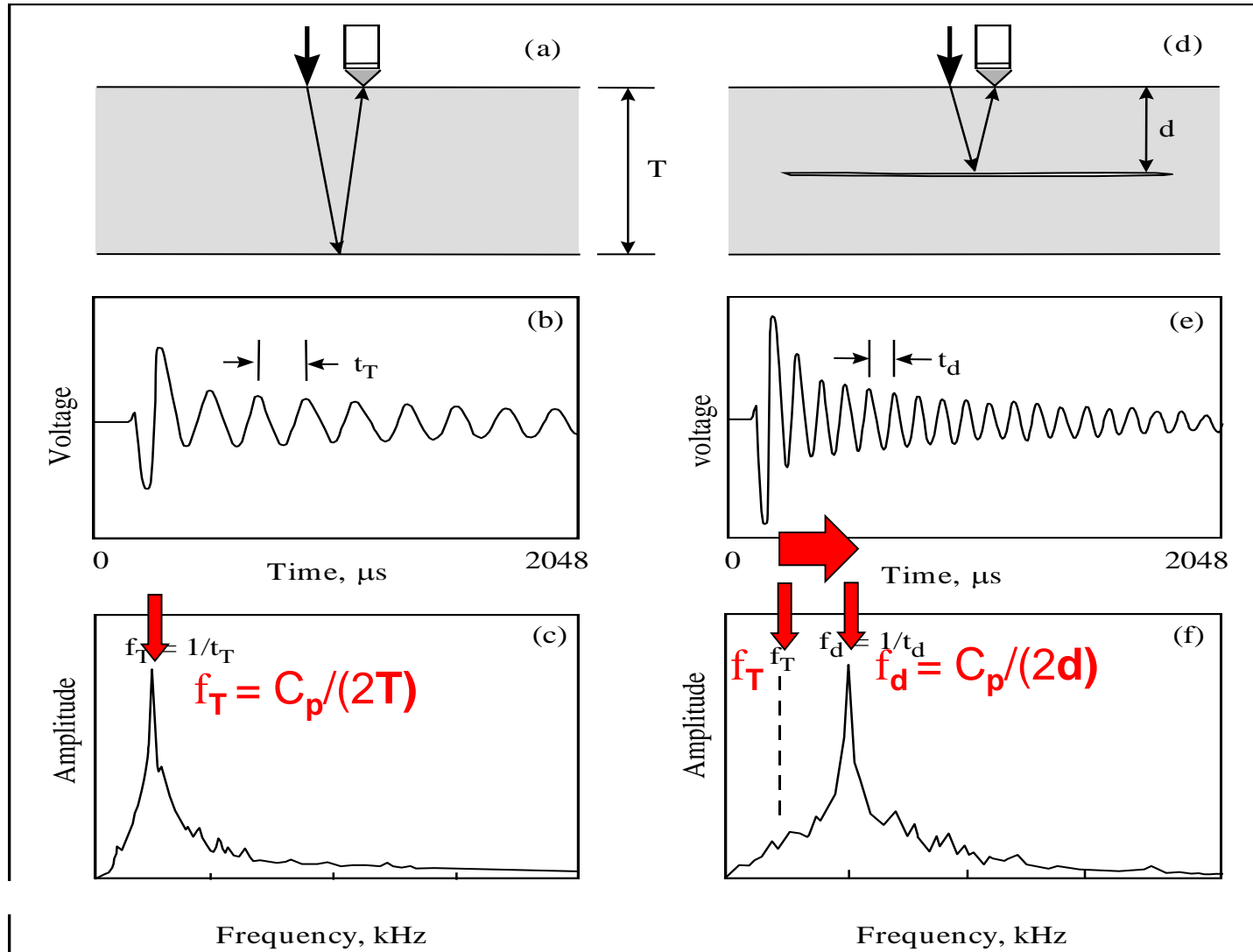
RC床版上面を叩いた時の 弾性波の伝播の様子

水平ひび割れがある場合

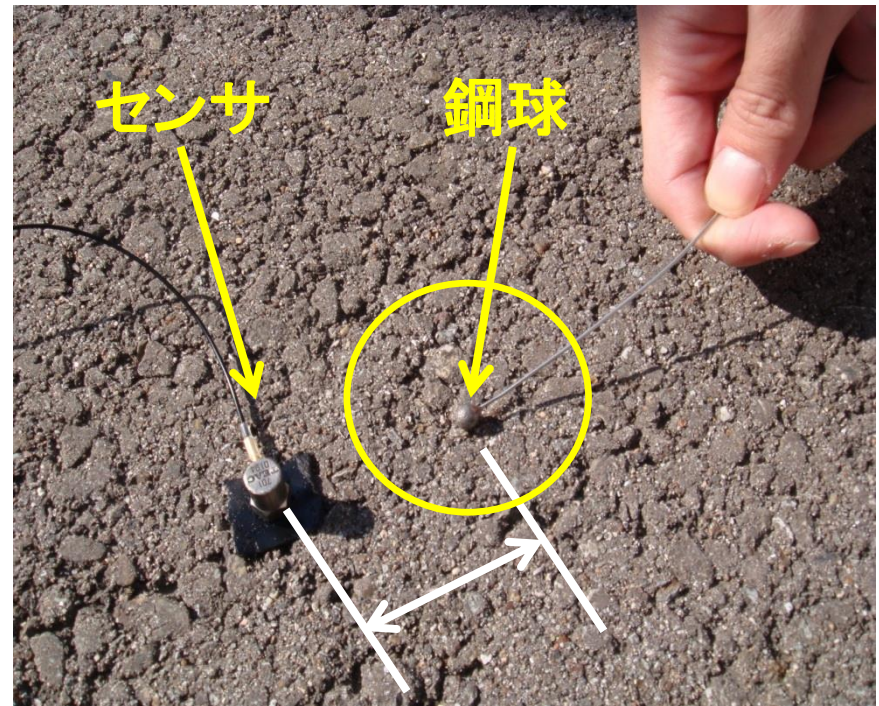


インパクトエコー法

(版厚: T , 欠陥深さ: d , コンクリートの弾性波伝播速度: C_p)

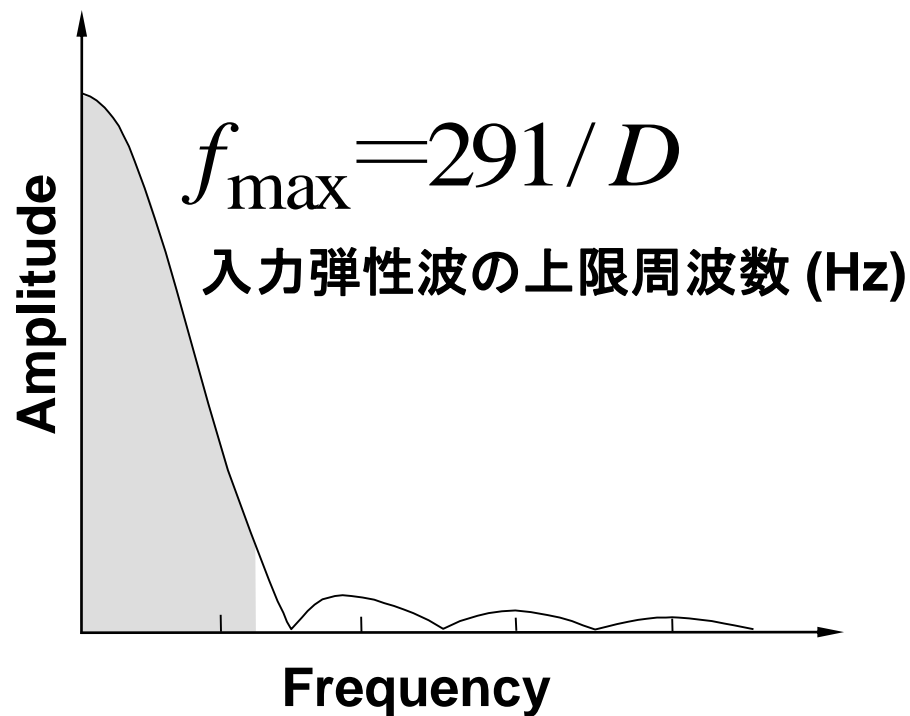
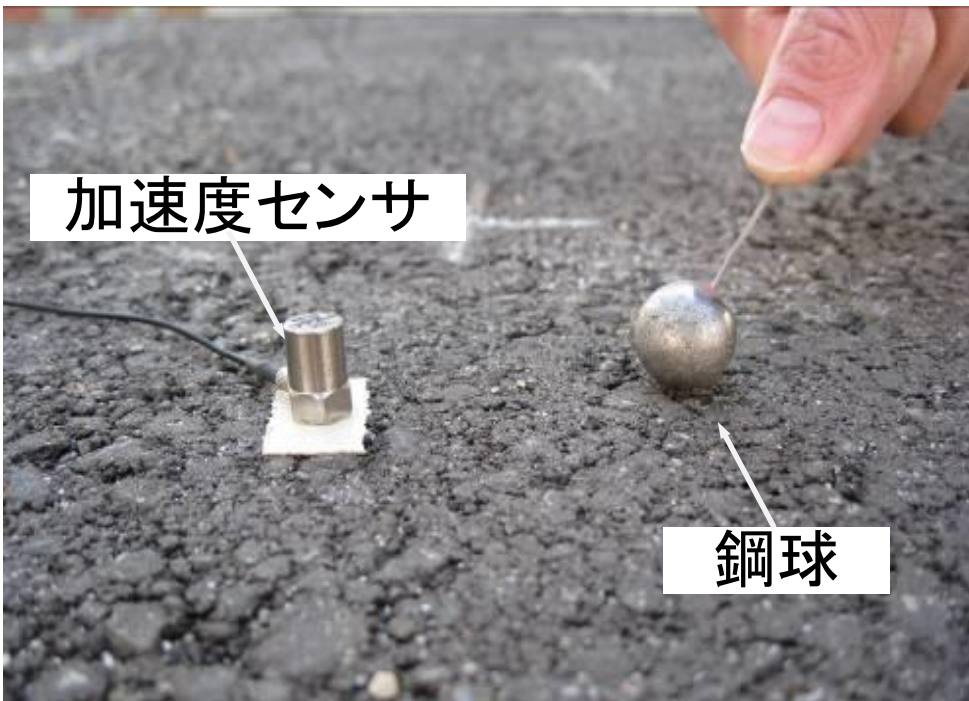


しかし、ただ“叩けば良い”という訳ではない！



鋼球直径により弾性波の周波数範囲が変化

鋼球直径と入力弾性波の上限周波数の関係

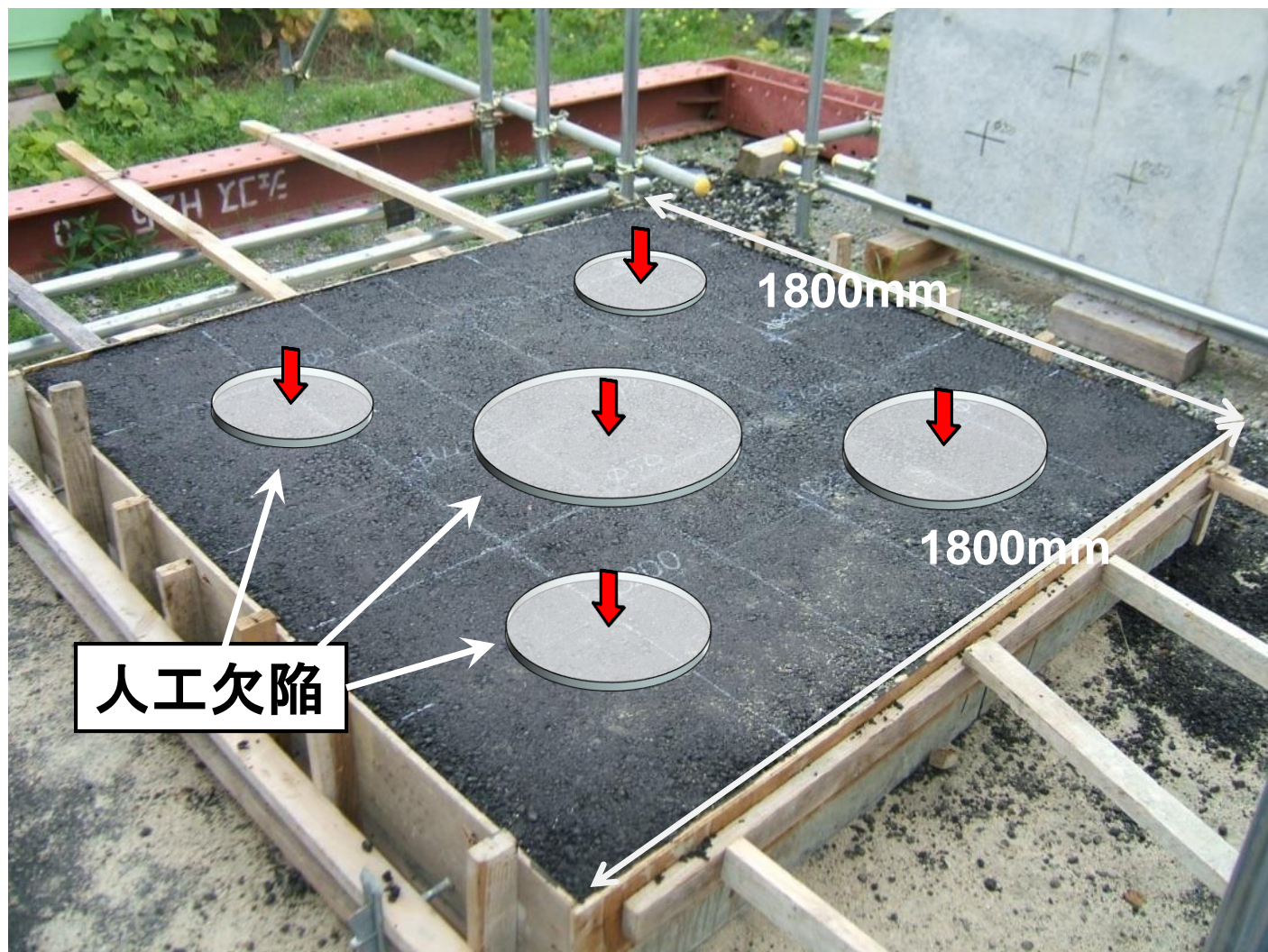


鋼球直径6.4mmの場合、
波長は9cm程度以上

鋼球直径 D (mm)	4.0	6.4	11.0
上限周波数 (kHz)	72.7	45.4	26.4

供試体を叩いて
波形を取ってみる

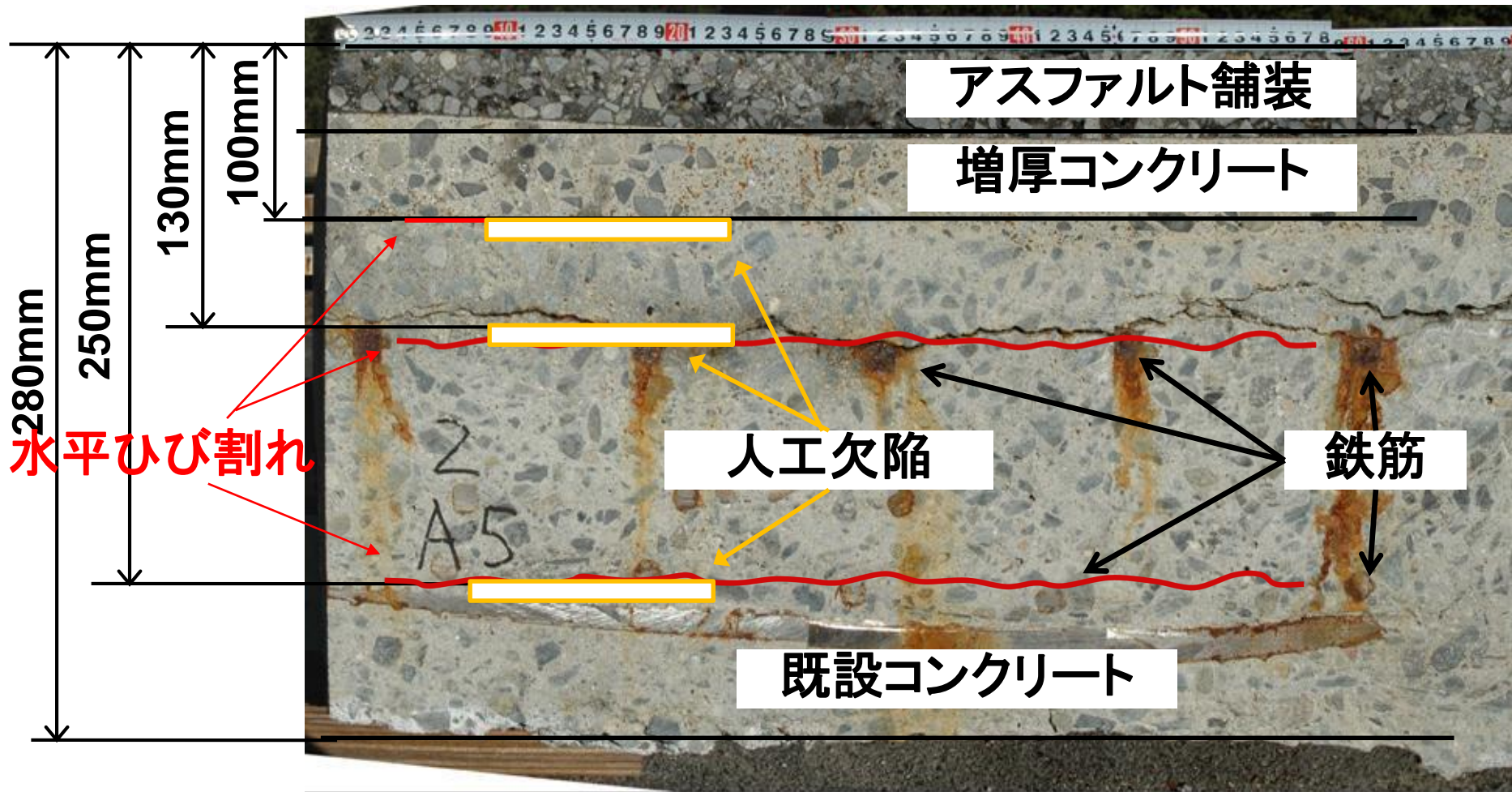
供試体内部には大きさ、設置深さが異なる円形の人工欠陥を埋設した。



人工欠陥の配置状況



深さ方向の人工欠陥の配置

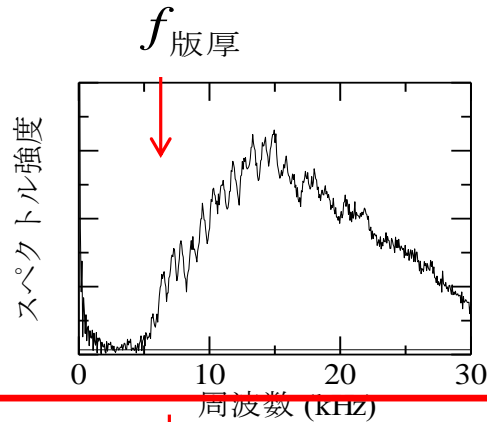


欠陥検出に適した鋼球直径の選定

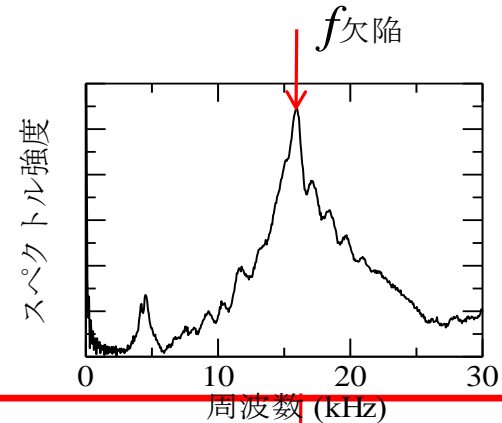
欠陥なし(版厚280mm)

欠陥あり(深さ100mm)

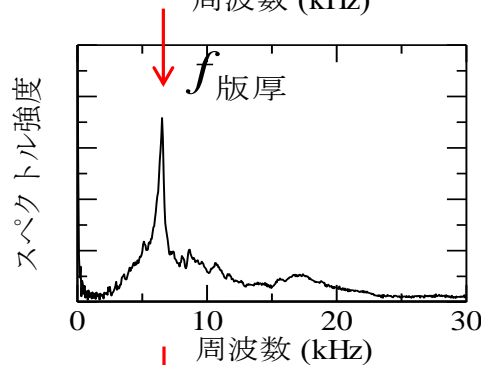
鋼球直径
4.0mm



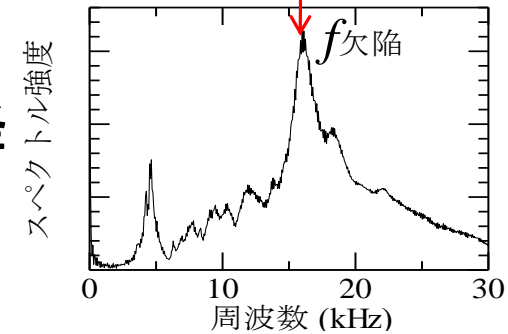
鋼球直径
4.0mm



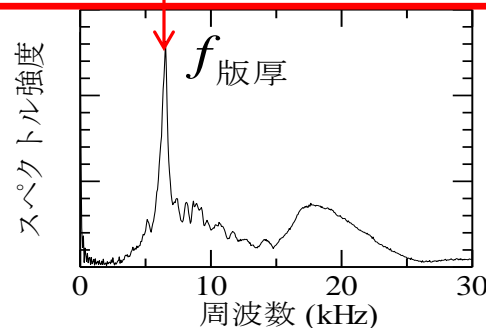
鋼球直径
6.4mm



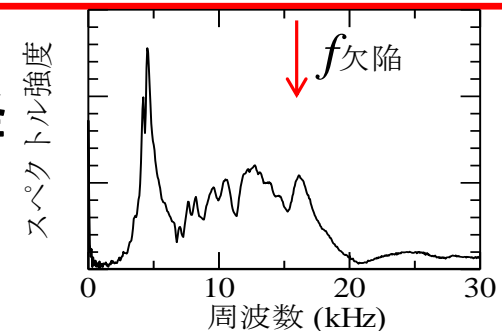
鋼球直径
6.4mm



鋼球直径
11.0mm

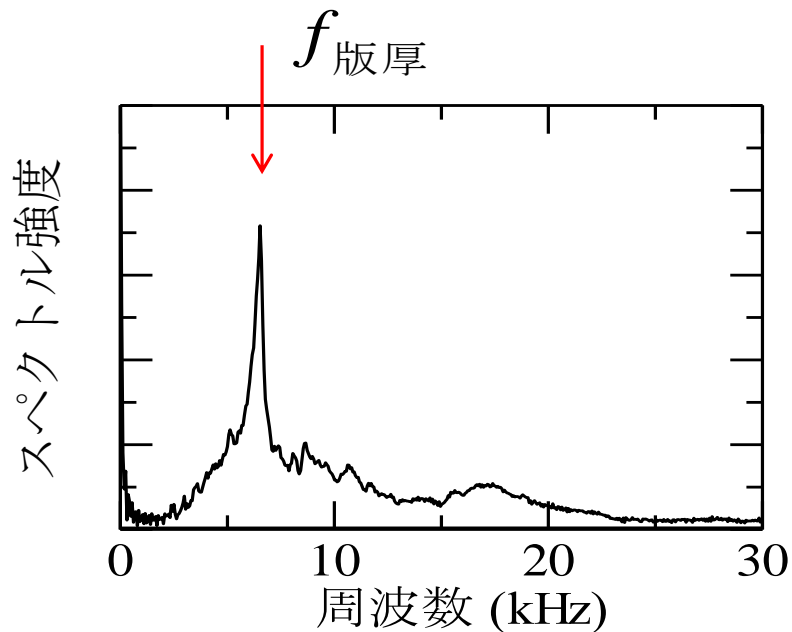


鋼球直径
11.0mm

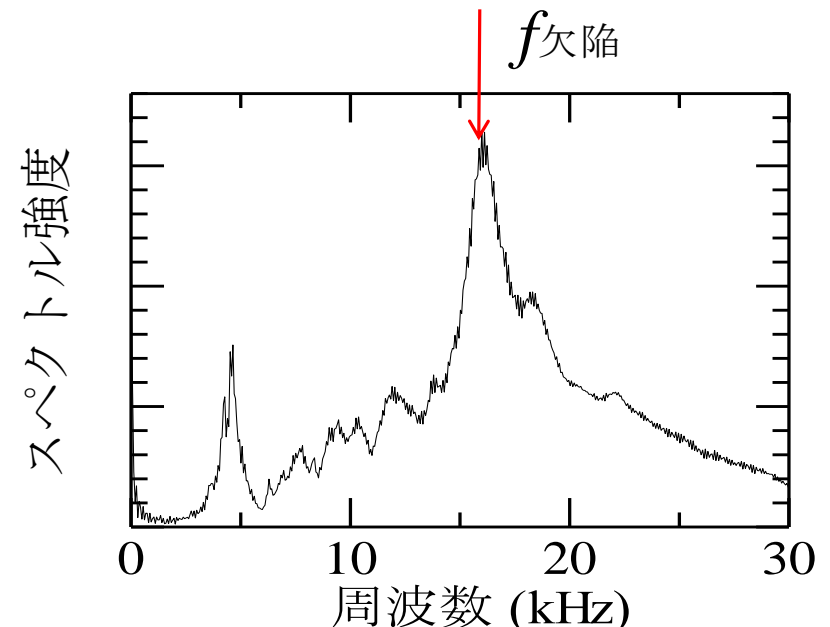


計測結果(鋼球直径 6.4mm)

欠陥なし(版厚280mm)



欠陥あり(深さ100mm)



予備実験を十分に行って計測条件を設定すれば
⇒ 供試体レベルではO.K.

しかし、実際の道路橋RC床版では・・・

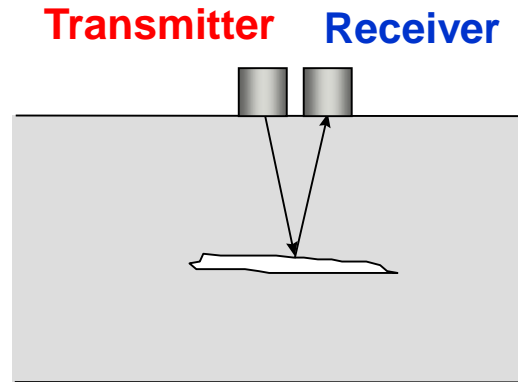
供試体での実験結果のように、必ずしも理想的なピークを得るのが容易ではない場合もある！

計測ごとに試行錯誤を繰り返して、

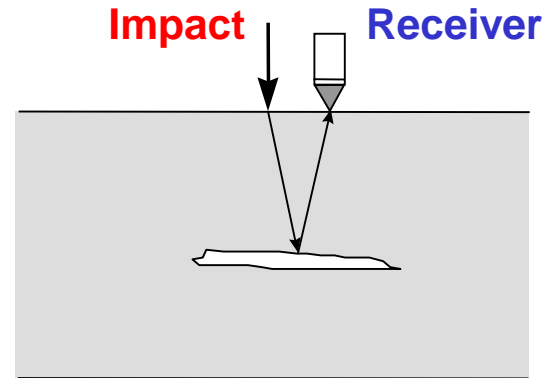
①入力のための鋼球直径、②弾性波の受信方法／位置、

などを決定するのは非効率的／信頼性にも問題

両者の違いは何？



超音波法



衝撃弾性波法

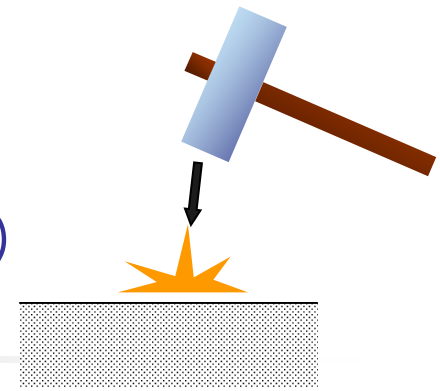
入力／出力方法が違う？

周波数領域が違う？

いや、他にももっと大きな違いがあるのでは？

衝撃弾性波法の特徴

(叩くことにより入力した弾性波)



(圧電素子等により発生させた超音波と比較して)

- エネルギーが大
- 低周波領域(波長が長い)

コンクリート中での散乱(骨材界面、微小空隙、鉄筋界面など)等による減衰の影響を受けにくい。

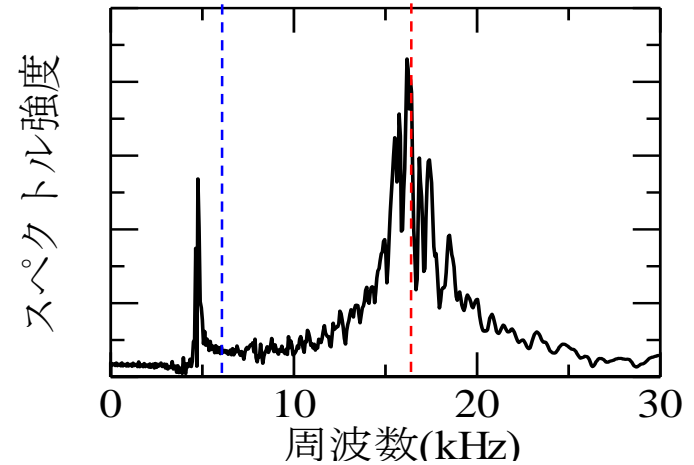
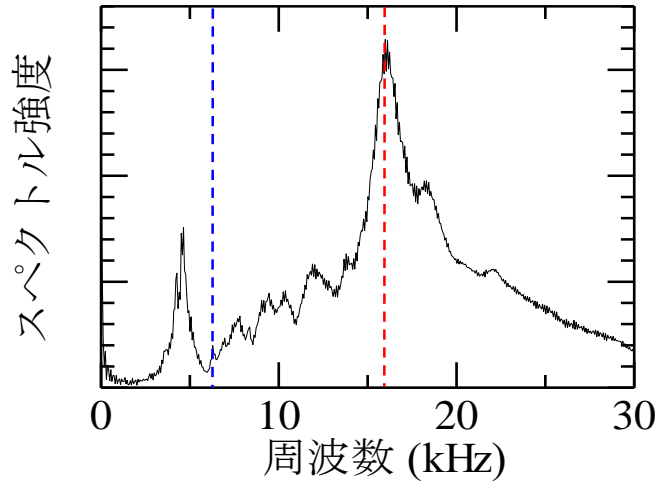
→ (超音波では難しい)波の
伝播シミュレーションが活用可能!

実験結果とシミュレーション (解析) 結果の比較

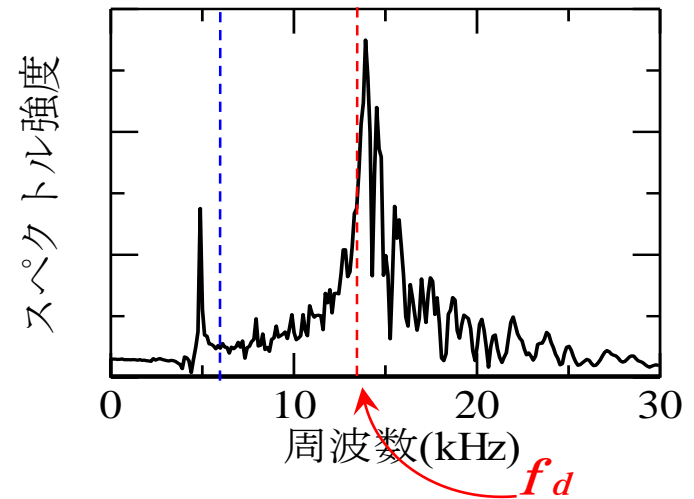
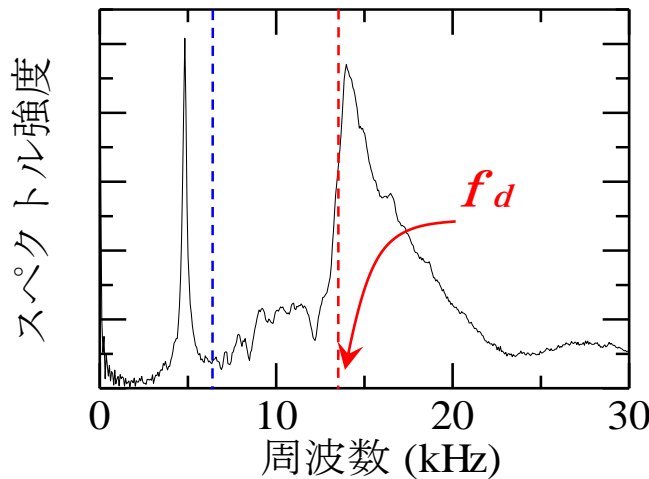
【実験結果】

【解析結果】

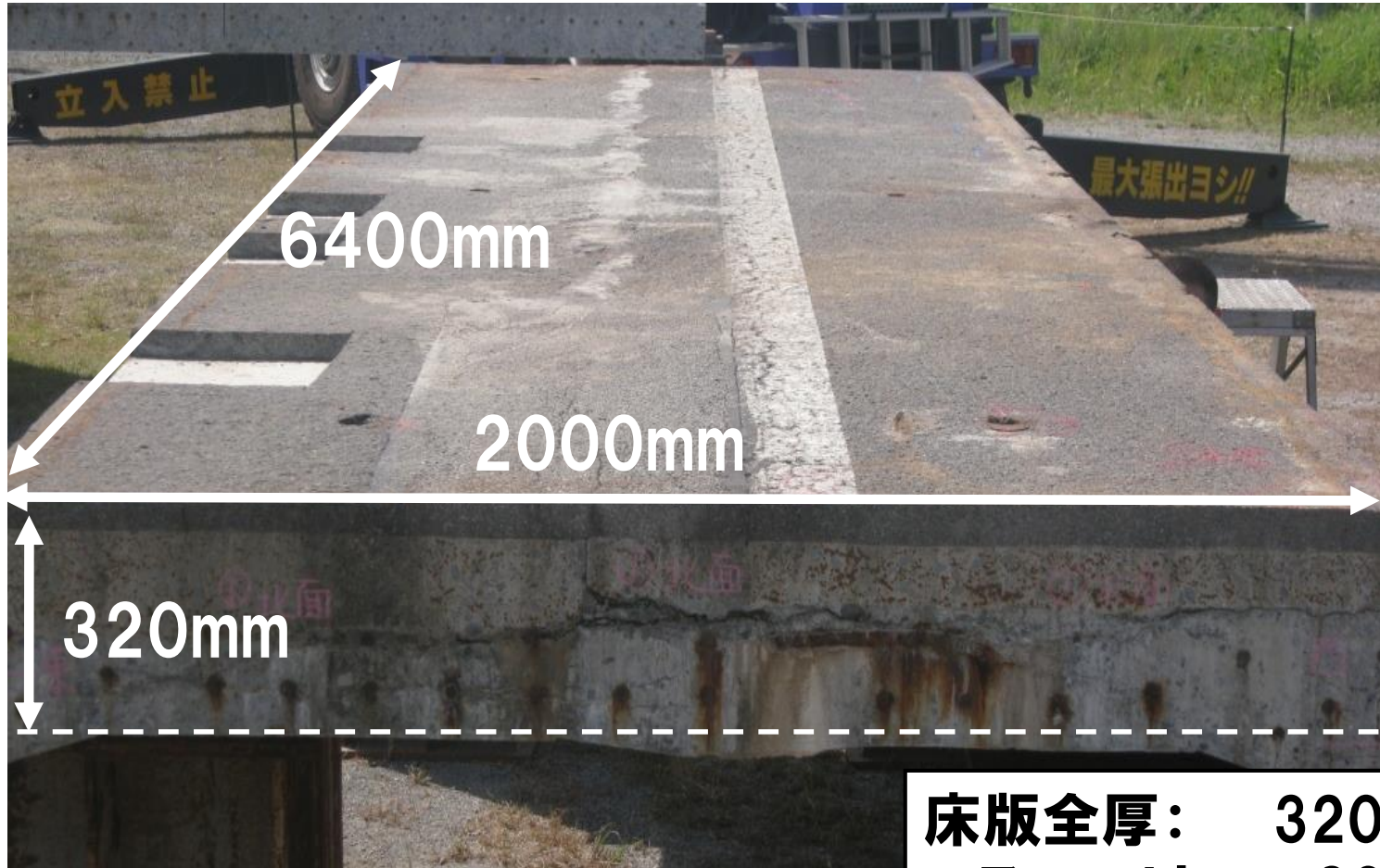
欠陥深さ
100mm



欠陥深さ
130mm



【ケーススタディ】 実橋から切り出したRC床版



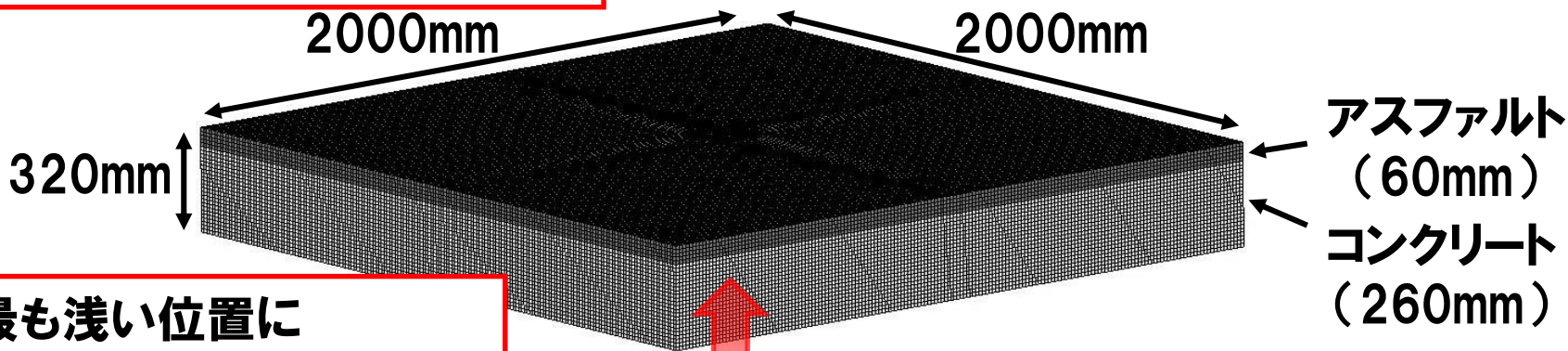
床版全厚:	320mm
アスファルト:	60mm
コンクリート:	260mm

必ず2つの解析モデル(下面から叩く)を作成

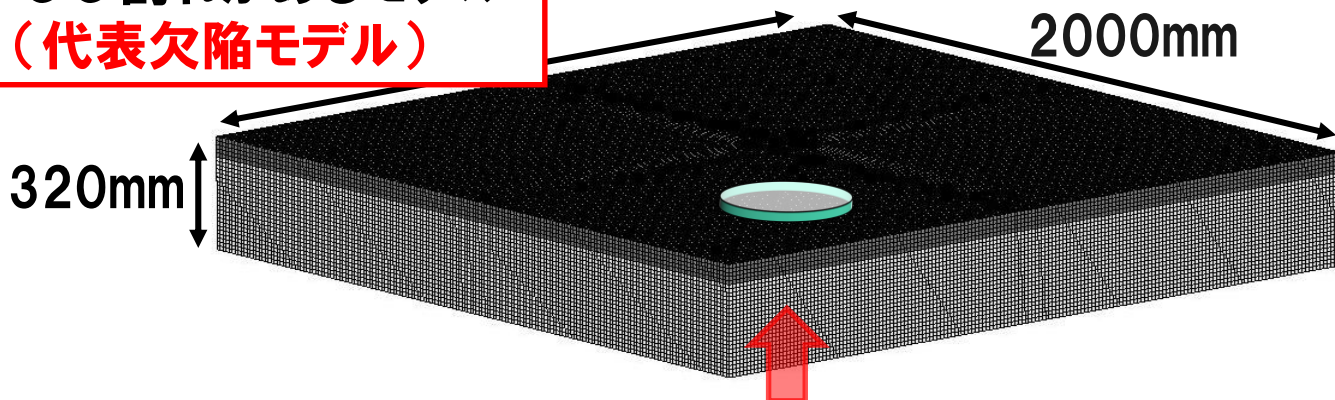
→ 2つのモデルの両方で有意なピークが得られる
測定条件(鋼球直径, 入力/出力間距離)を絞り込む。

① 水平ひび割れがないモデル
(健全モデル)

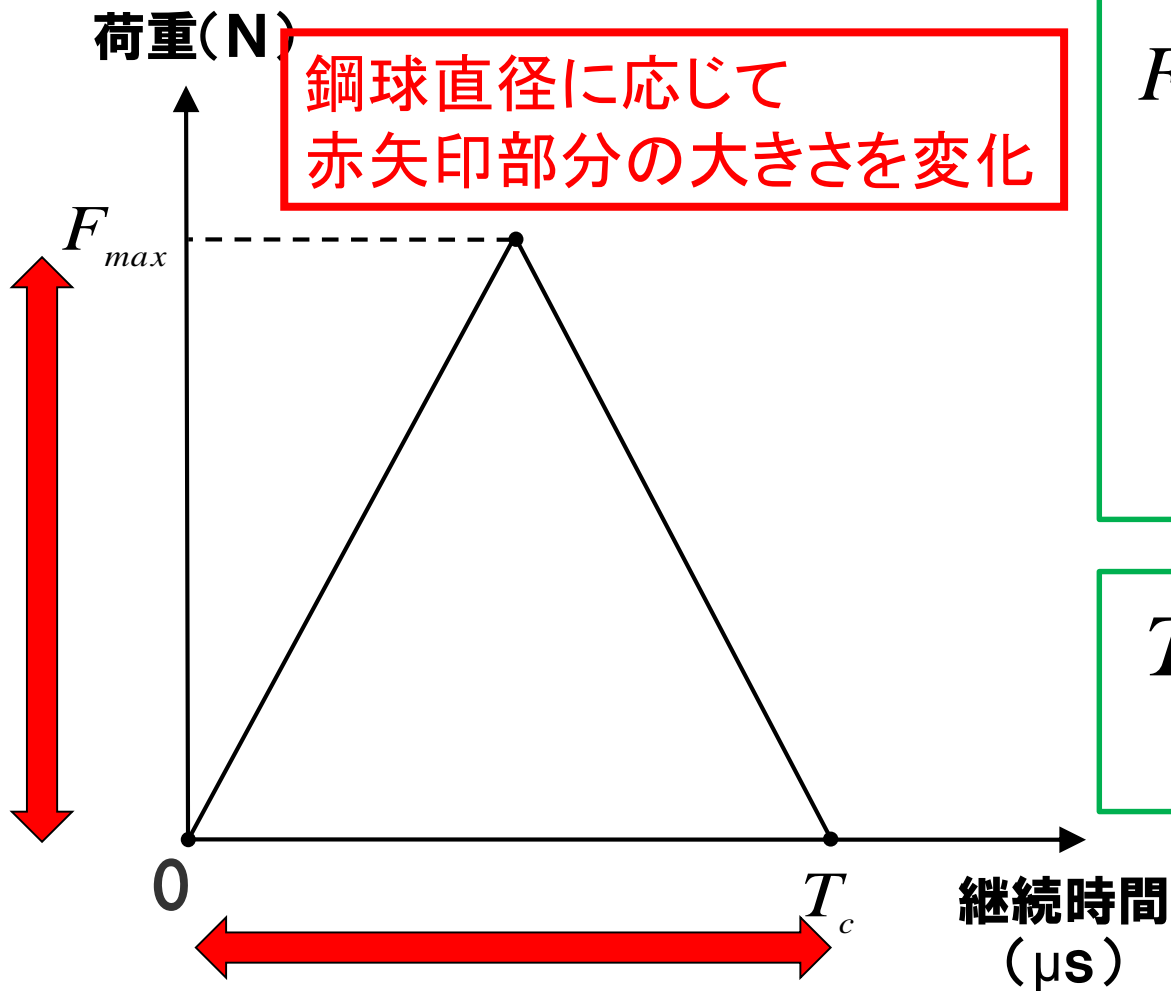
↑ : 叩く位置



② 最も浅い位置に
水平ひび割れがあるモデル
(代表欠陥モデル)



鋼球で叩いた入力波の設定



$$F_{max} = \frac{m\sqrt{2gH}}{0.637T_c}$$

m : 鋼球の質量(kg)

g : 重力加速度(m/s)

H : 鋼球の落下高さ(m)

T_c : 鋼球の接触時間(s)

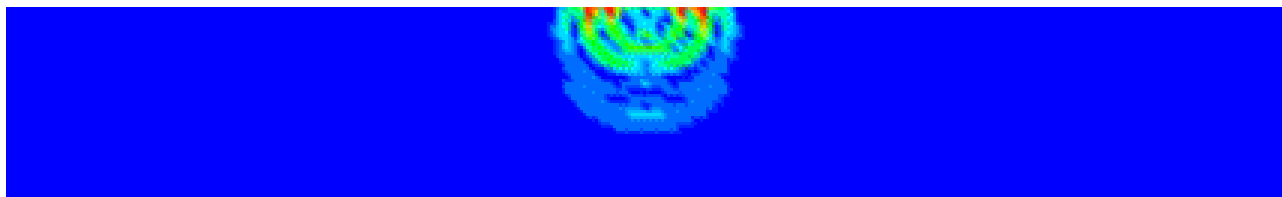
$$T_c = 0.0043 D$$

D : 鋼球直径(m)

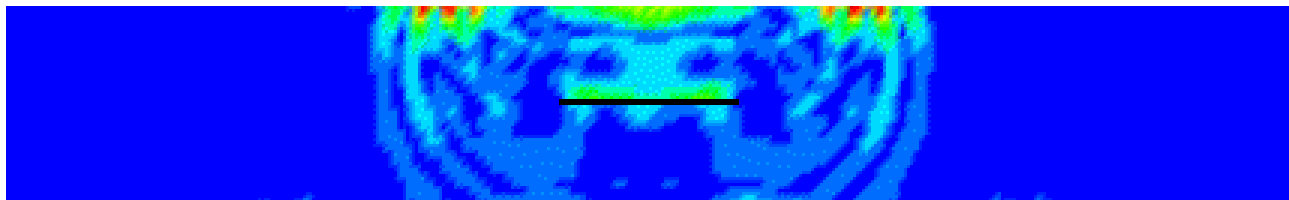
弾性波伝播シミュレーションの実行

(鋼球直径: 3, 6, 12mm / 入力・出力間距離: 20, 50, 80mm)

①健全モデル



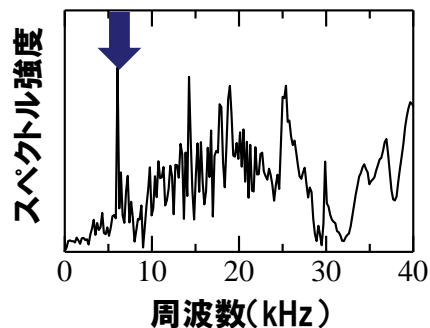
②代表欠陥モデル



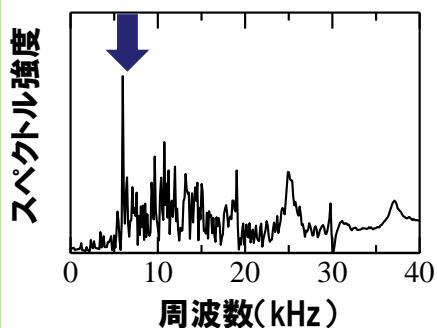
A. 鋼球直径の選定(いずれも解析結果)

①健全モデル

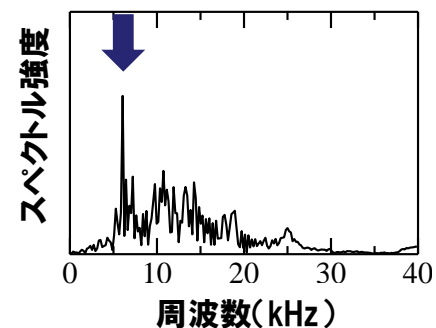
鋼球直径: 3mm



鋼球直径: 6mm

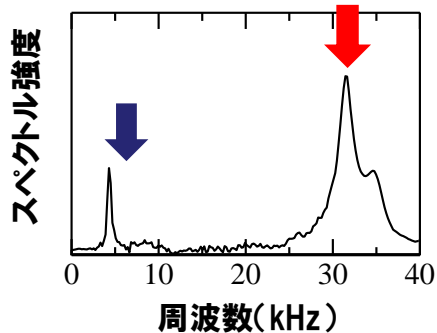


鋼球直径: 12mm

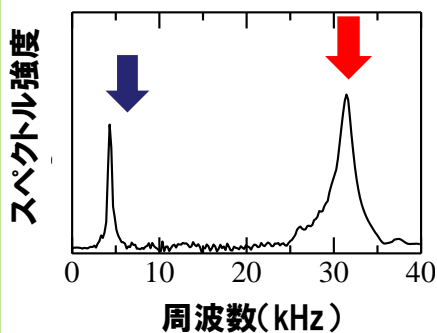


②代表欠陥モデル

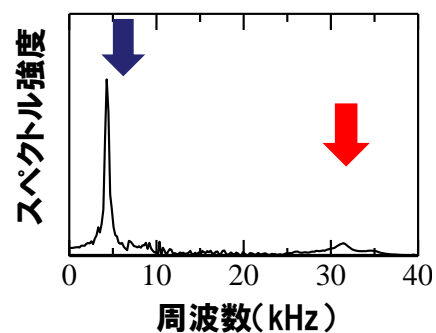
鋼球直径: 3mm



鋼球直径: 6mm

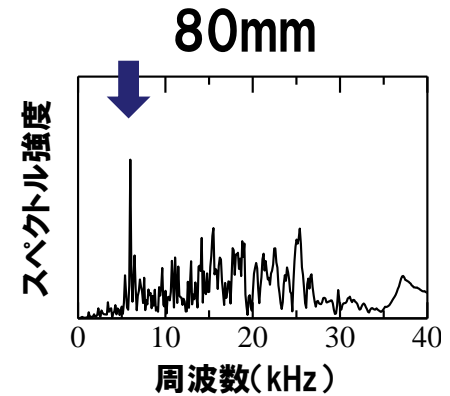
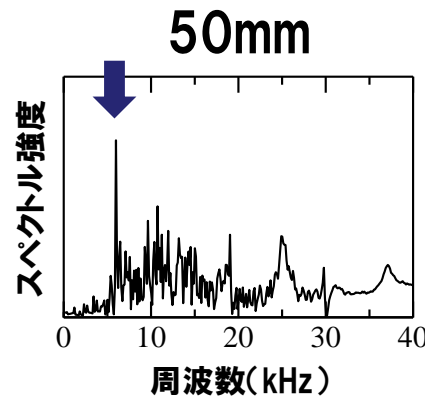
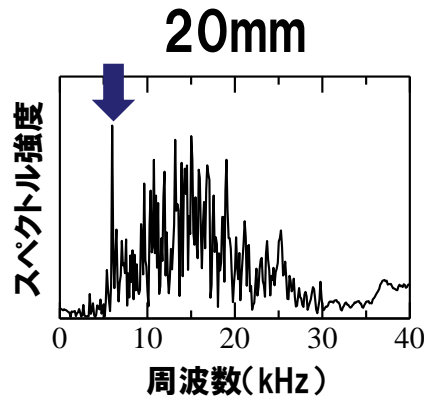


鋼球直径: 12mm

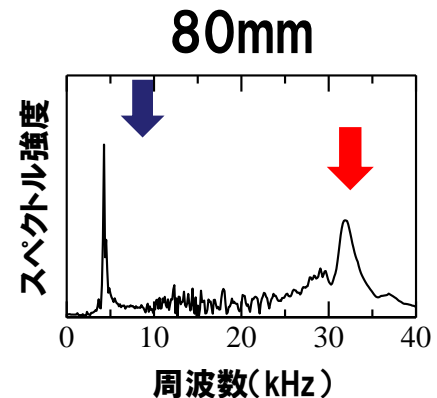
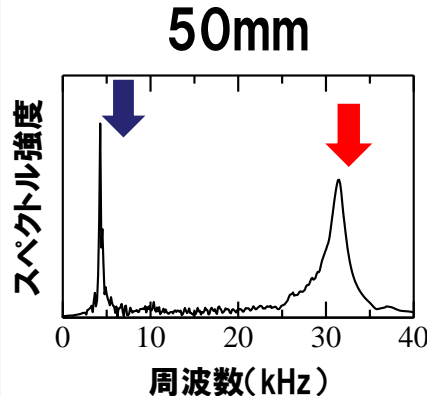
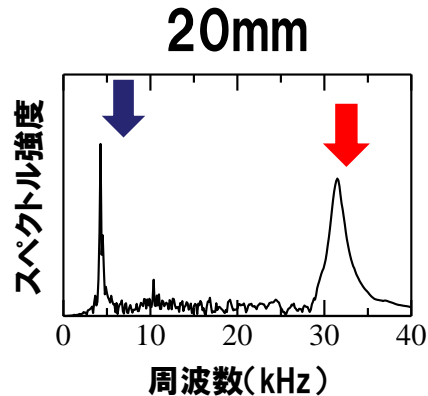


B. 弾性波の入力位置から 受信位置までの距離の選定(いずれも解析結果)

①健全モデル



②代表欠陥モデル



解析により決定した計測条件

A. 弾性波の入力方法

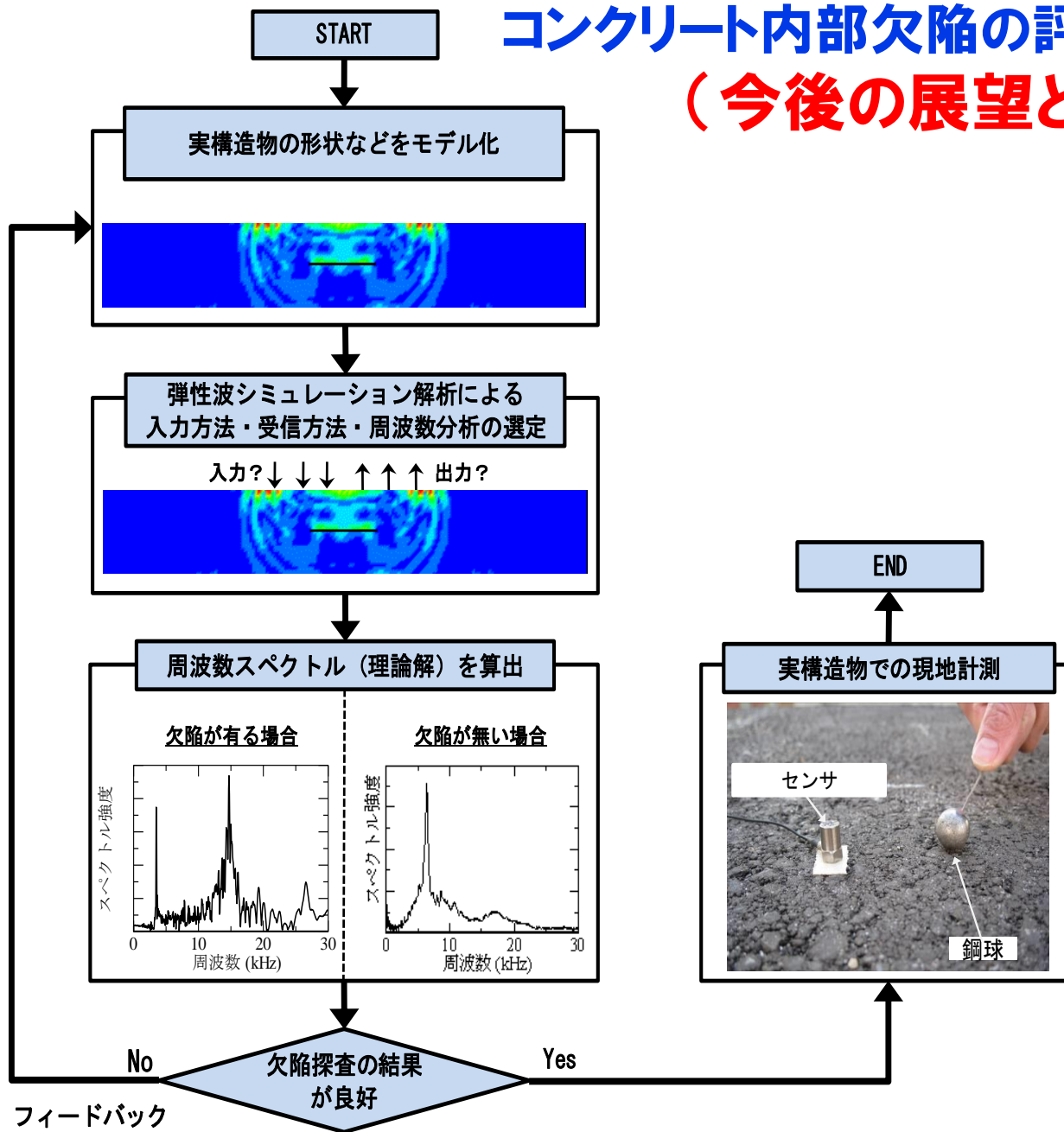
- 鋼球直径: 6mm

B. 弾性波の受信方法

- 入力-受信点間距離: 50mm

弾性波シミュレーションを援用した

コンクリート内部欠陥の評価手法 (今後の展望として)

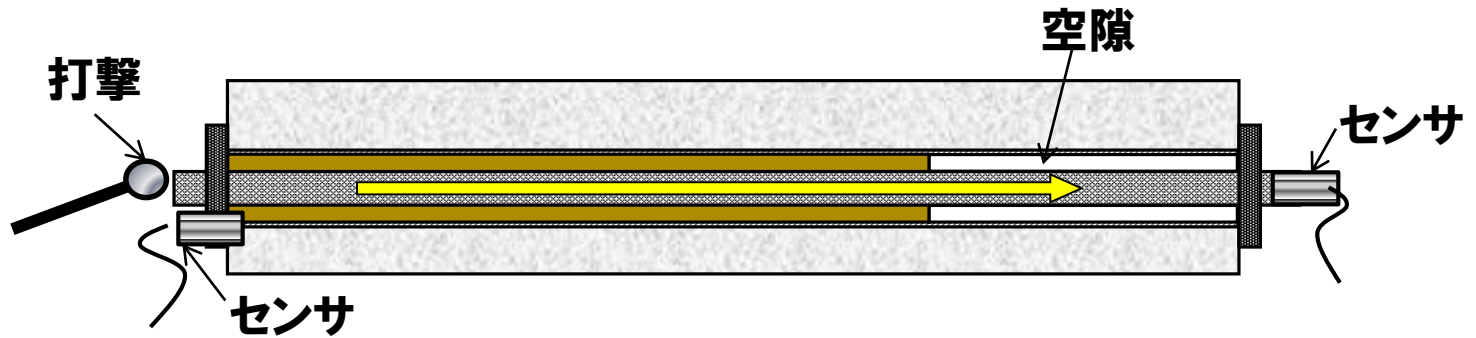


講演内容

- ① インパクトエコー法によるRC床版の水平ひび割れの検出
弾性波伝播シミュレーションを活用することによって、
現場に適した計測条件を事前に把握
- ② **電磁パルス法によるPCグラウト充填状況の評価**
弾性波の応答に加えて、さらに、**電磁場の応答も加える**
ことによって**適用範囲を拡大**

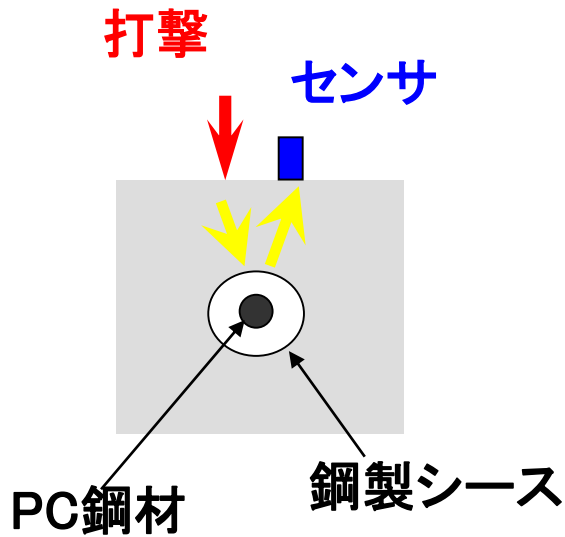
鋼棒1本当たりの全体的状況

① 伝播速度による方法



計測点直下の局所的状況

② インパクトエコー法



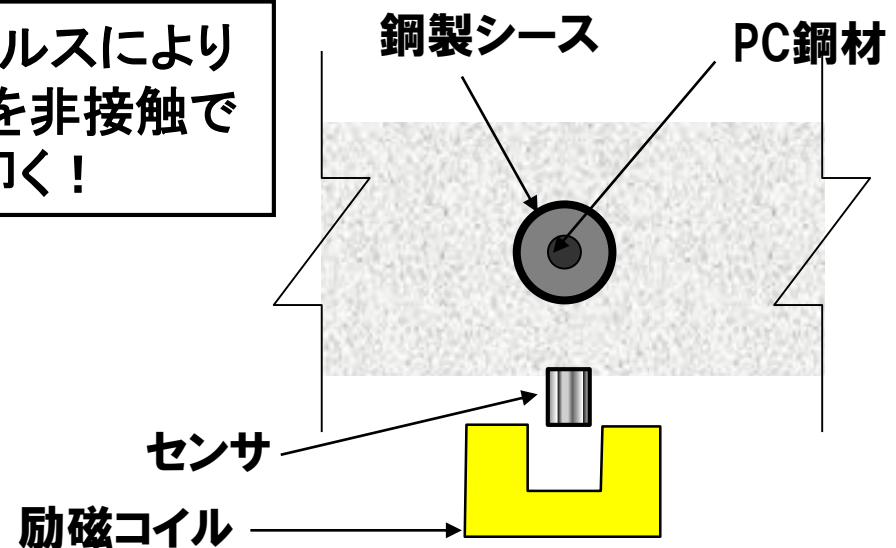
一般的な
従来法として

さらに電磁パルス法に期待！

計測点直下の局所的状況

③ 電磁パルス法

電磁パルスにより
シースを非接触で
叩く！



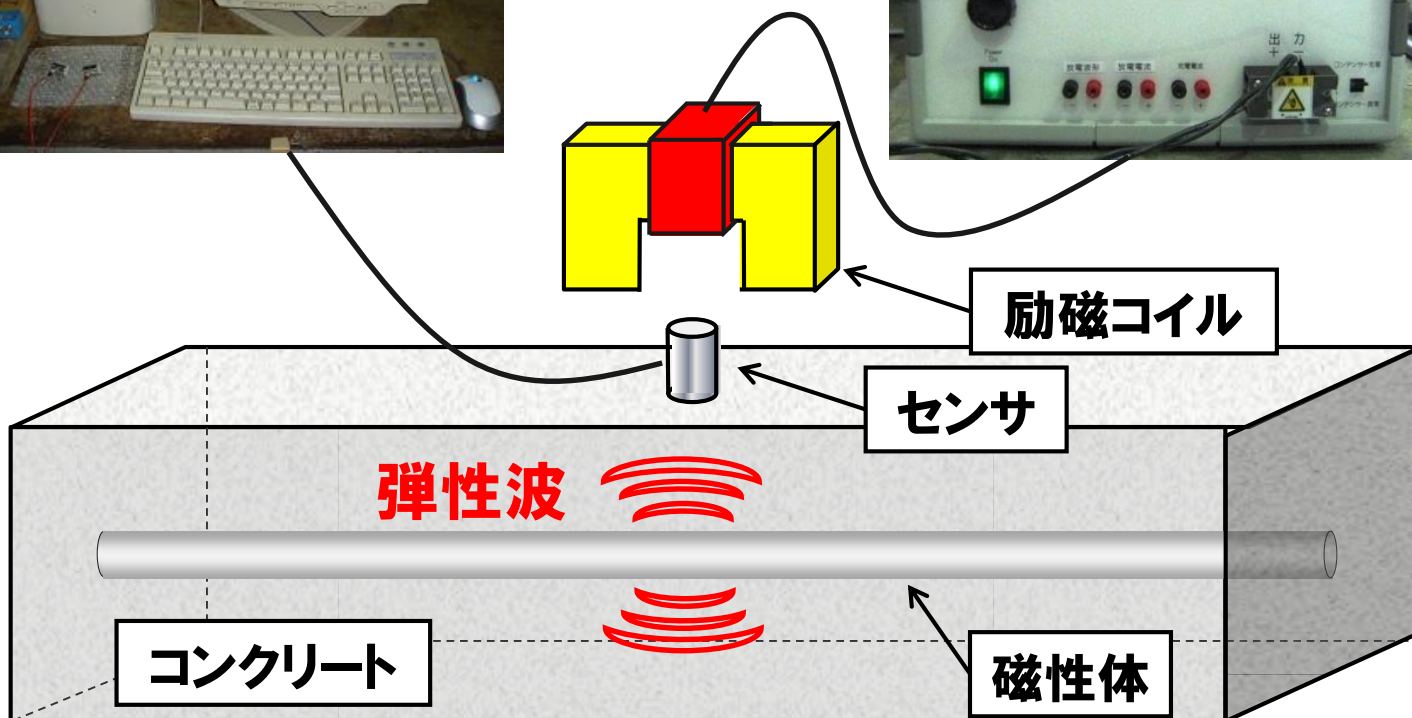
電磁パルス法

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

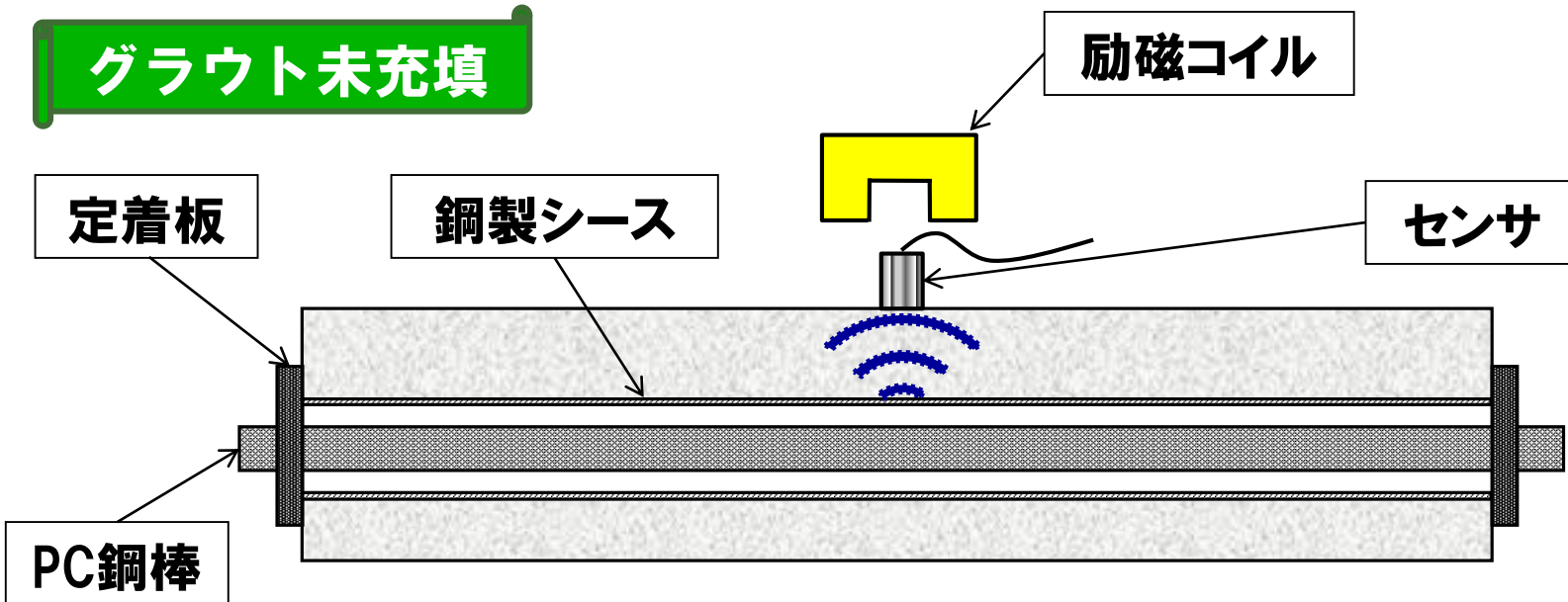


定電圧定電流発生装置

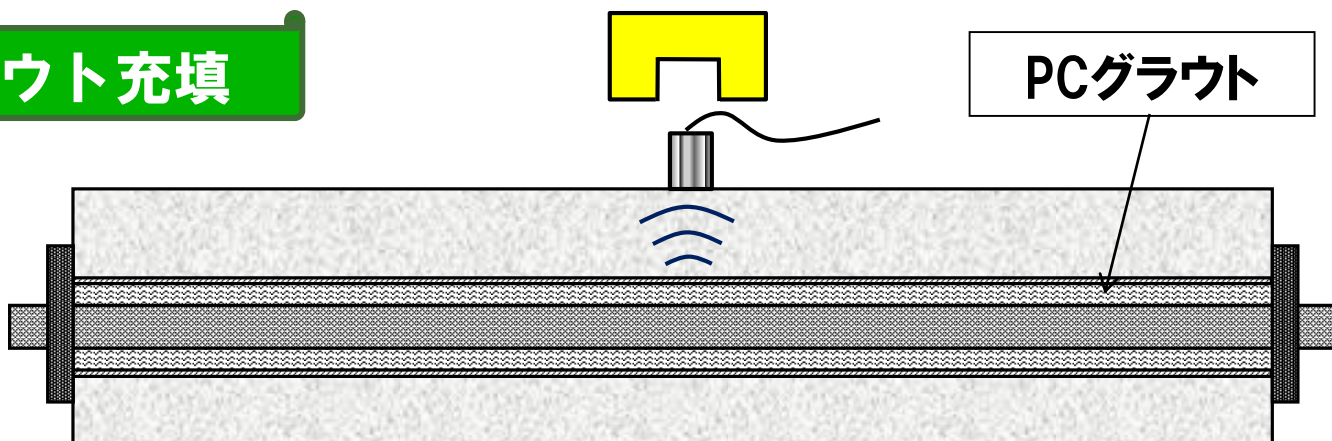


受振波最大振幅値によるPCグラウト充填評価原理

グラウト未充填

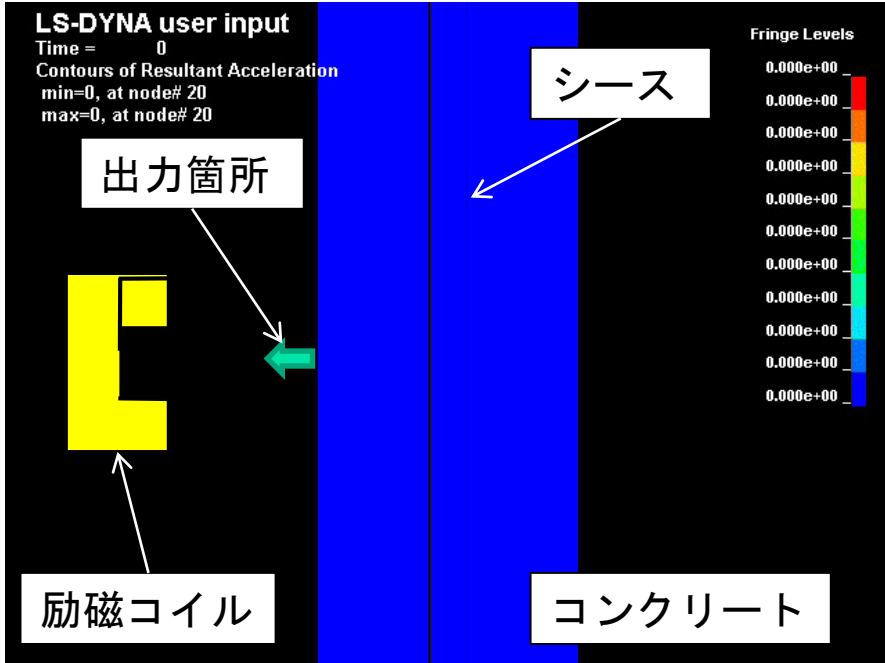


グラウト充填

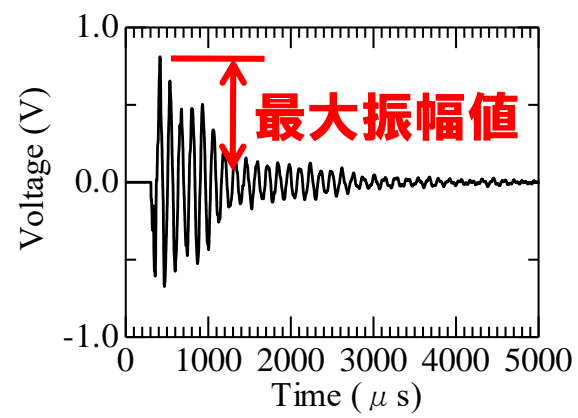
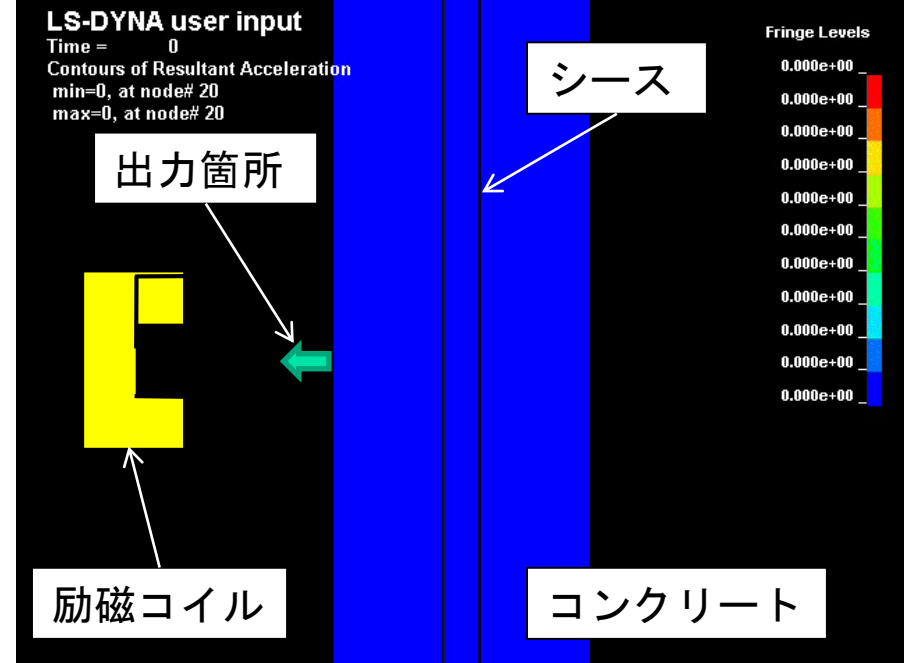


弾性波伝播シミュレーション

グラウト未充填



グラウト充填

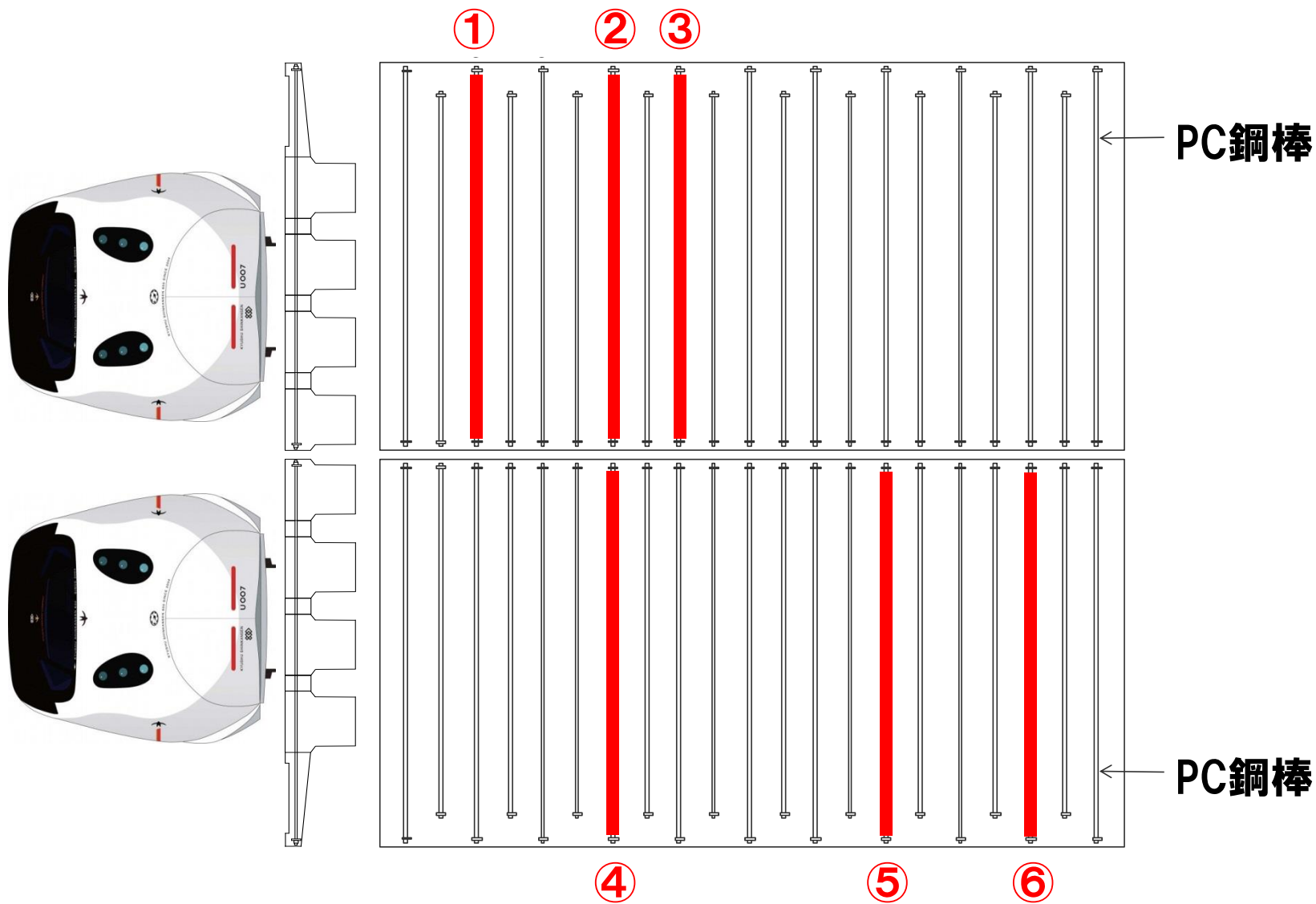


対象とした橋梁PC桁



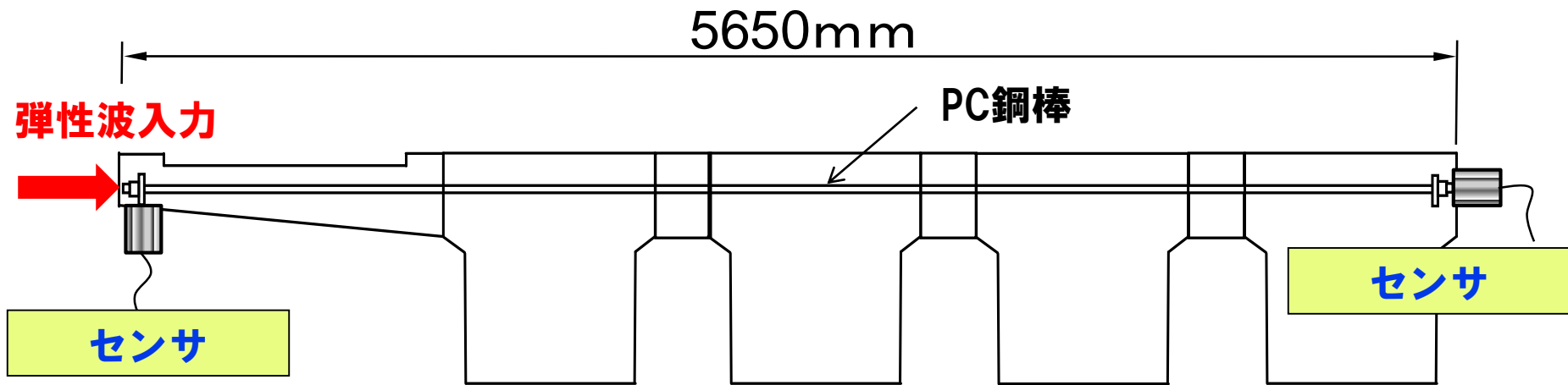
- 支間長：15m
- 主桁4本、はね出し部から構成
- 鋼棒径24mm
- シース径35mm

橋梁PC桁の横締め鋼棒を対象

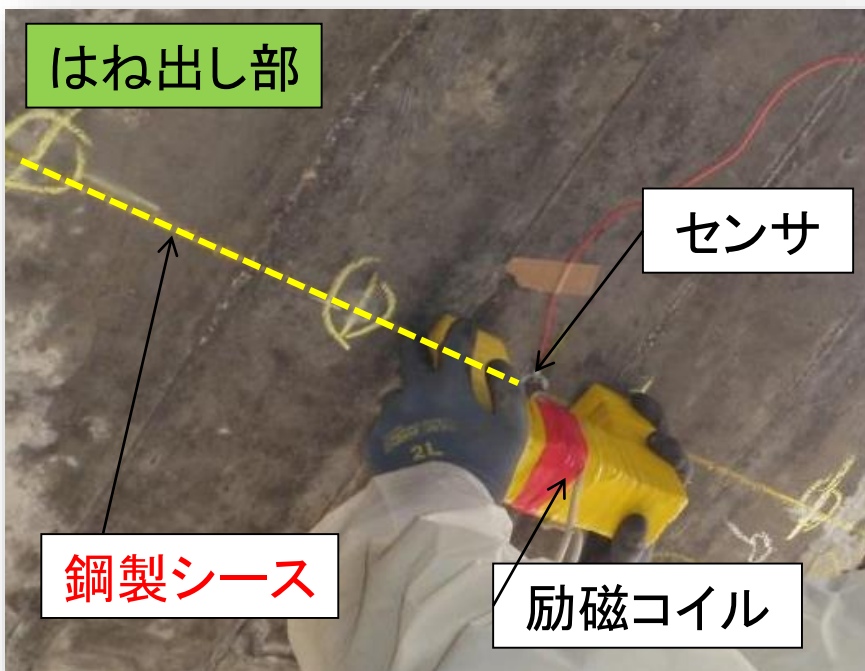
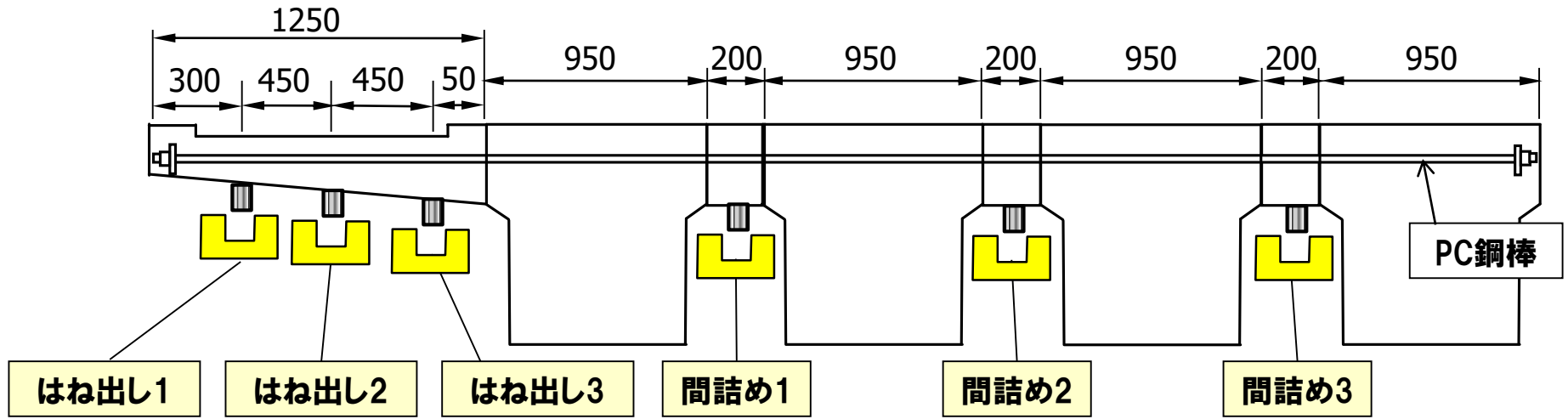


平面図

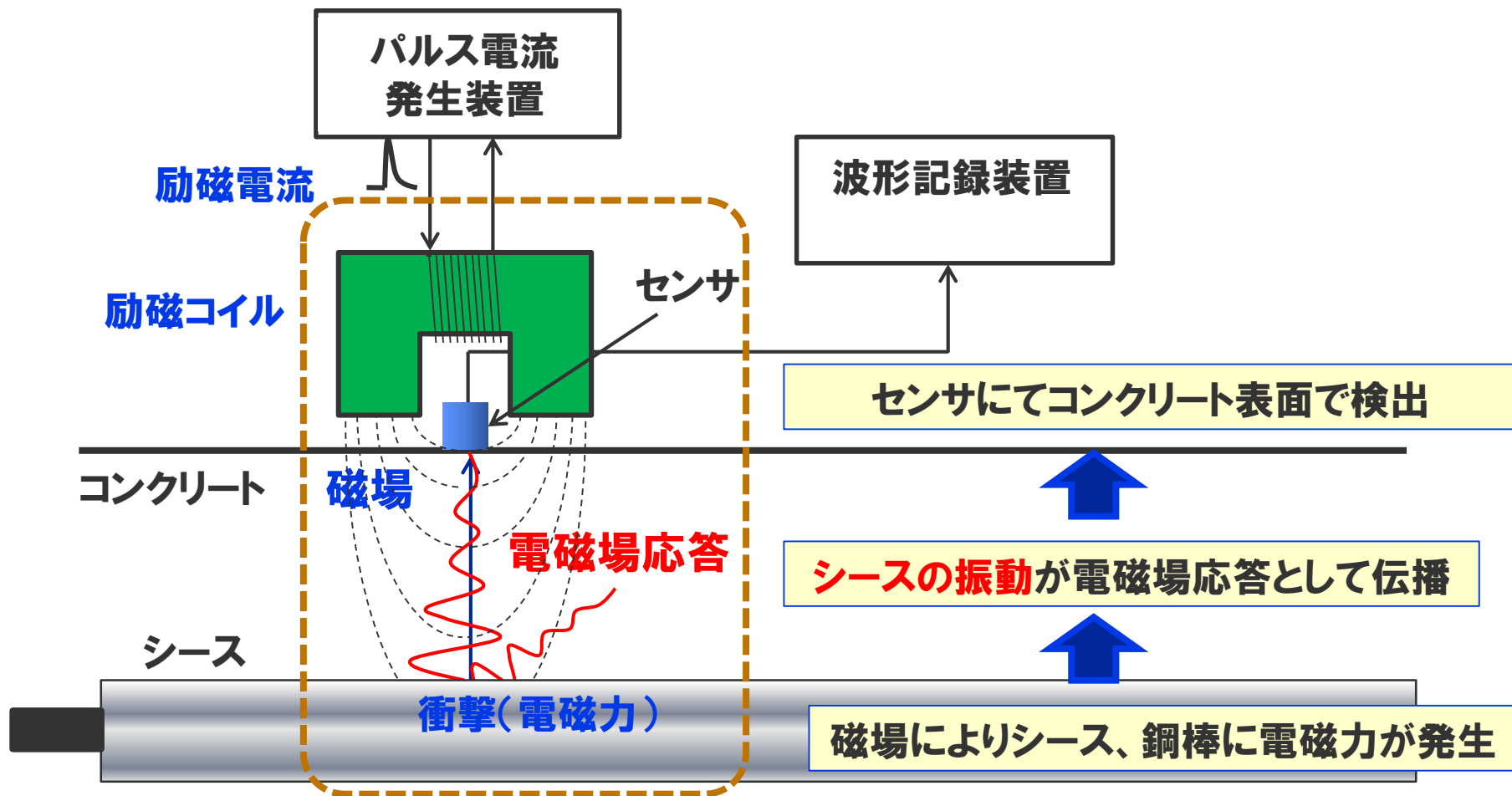
まずは伝播速度で、スクリーニング



最大振幅値の計測概要(対象:PC鋼棒番号⑥)



新たなチャレンジ「電磁場応答」



未充填部では充填部より
グラウトによる拘束が小さい



未充填部では充填部より
振動が大きい

The END

ご清聴ありがとうございました。

