

コンクリート工学年次大会2017（仙台）

# 超音波アレイセンサ（横波）を用いたコンクリートの非破壊試験法に関する検証

No.1298 セッション：非破壊検査・診断Ⅱ

|             |             |               |
|-------------|-------------|---------------|
| 青木あすなろ建設(株) | 正会員<br>フェロー | 新井佑一郎○<br>牛島栄 |
| (株)地球システム科学 | 正会員<br>会員外  | 坂本浩之<br>三上創史  |

# 1.はじめに

高度成長期に建設されたコンクリート構造物は、建設から40～50年が経過し、大規模な改修・更新が必要な時期を迎えている。



構造物の改修・更新を行う上で、現状の把握を行うことが重要である。部材を破壊しない非破壊試験法は、構造物の継続使用を想定する場合特に有効。



非破壊試験で重要なのは、ポイントは以下のとおりである。  
精度：見えない部分を正確に診断できること(工事トラブルの回避)  
簡便：容易で手間がかからない手法で診断作業を省力化(コスト低減)

調査・診断技術に求められるニーズは明確  
新技術を常に取り入れ、ニーズを満たす方法を提案していく

本論では、新しい調査診断技術として、超音波アレイセンサ(横波)による、  
コンクリート内部探査と緻密さの評価を行い報告する

## 1-2.はじめに

### RC構造物の耐震改修工事(建築)における施工事例



- ・改修工事では、アンカー打設など既存の構造体に手を加えることが多い
- ・コンクリート構造物の改修では、鉄筋の位置の位置を把握することが重要



- ・鉄筋位置が正確に把握できないと工事のトラブルになることが多い  
例: アンカー打設穴の鉄筋との干渉→工期延長, アンカー長不足, 鉄筋切断

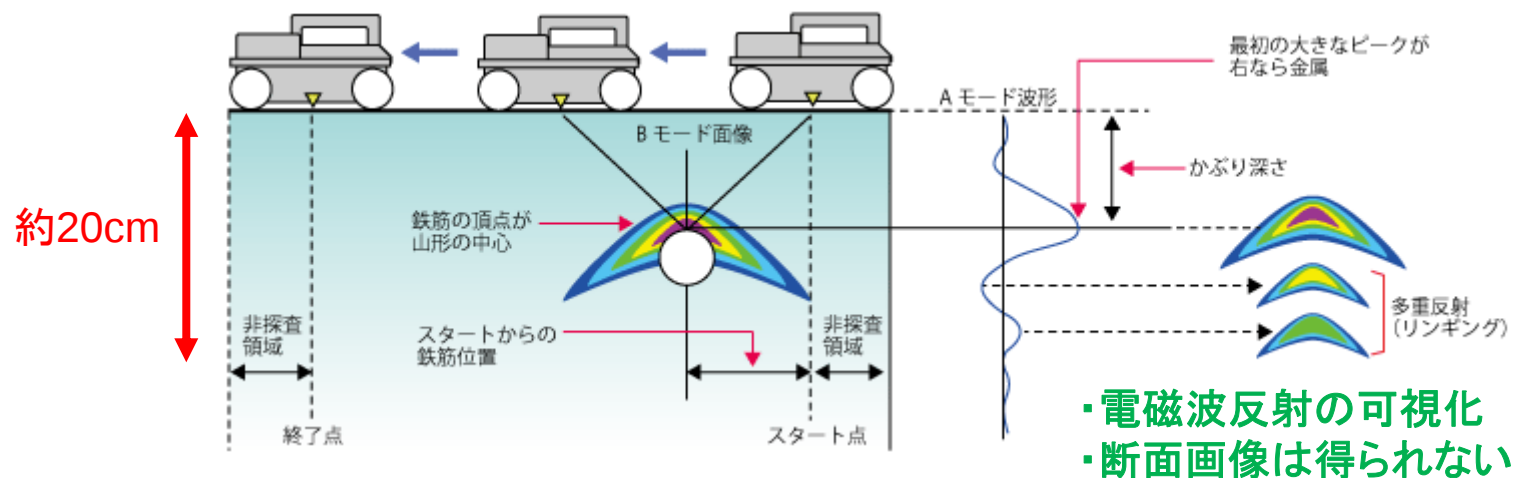
**非破壊的手法で内部の状態を正確に知る必要がある**

## 2. 非破壊試験法の例

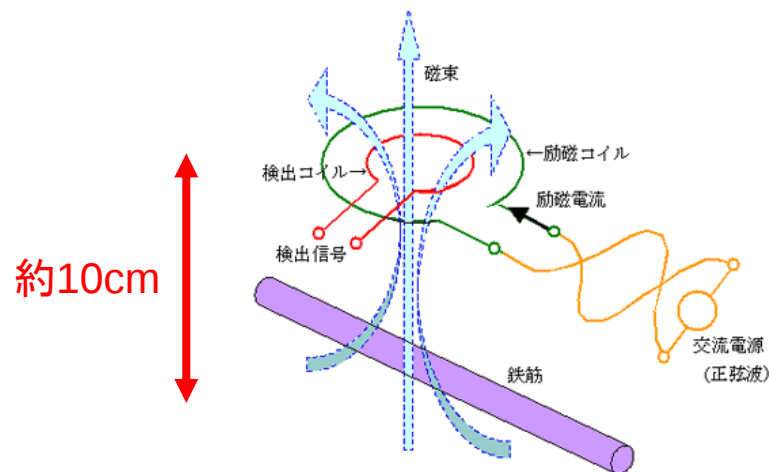
| 分類 | 検査・点検項目                        |     | 非破壊試験法                |                   |                    |                    |                        |                     |
|----|--------------------------------|-----|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------------|---------------------|
|    |                                |     | 弾性波                   |                   |                    |                    | 電磁波                    |                     |
|    |                                |     | 超音波                   |                   | 衝撃<br>弾性波          | 打音                 | 電磁波<br>レーダ             | 電磁誘導                |
|    |                                |     | 超音波<br>トモグラフィ         | 超音波               |                    |                    |                        |                     |
|    | 使用周波数帯域                        |     | 横波<br>25kHz<br>～85kHz | 2MHz<br>～<br>5MHz | 80Hz<br>～<br>35kHz | 20Hz<br>～<br>20kHz | 1600MHz<br>～<br>600MHz | 20kHz<br>～<br>40kHz |
|    | 適用可能深さ                         |     | 2.0m                  | 1m                | 2.5m               | 0.3m               | 0.2m                   | 0.1m                |
|    | 概観<br>施工不良(ジャンカ、コールド<br>ジョイント) |     | ○                     | ○                 | ○                  | ○                  | ○                      |                     |
| 検査 | 配筋状態                           |     | ○<br>多段配筋可            |                   |                    |                    | ○                      | ○                   |
|    | かぶり厚さ                          |     | ○<br>多段配筋可            |                   |                    |                    | ○<br>上筋可               | ○<br>上筋可            |
|    | コンクリート品質                       | 強度  | ○                     | ○                 | ○                  |                    |                        |                     |
|    |                                | 緻密性 | ○※                    | ○                 | ○                  |                    |                        |                     |
|    | 部材厚さ・内部欠陥(空洞、<br>配管)           |     | ○                     | ○                 | ○                  | ○                  | ○                      |                     |
| 点検 | ひび割れ・はくり                       |     | ○                     | ○                 | ○                  | ○                  |                        |                     |

このほかに、X線を用いたコンクリート内部の調査手法もある。

### 3. コンクリート構造物非破壊試験法の例



(a) 電磁波レーダー法



(b) 電磁誘導法



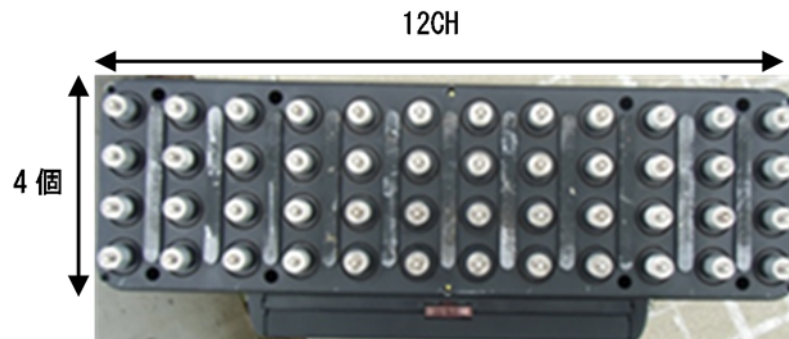
- ・交流で磁界発生
- ・磁界の強さで鉄筋径も計測

実績がある試験法だが、深さや結果の扱いに技量が必要

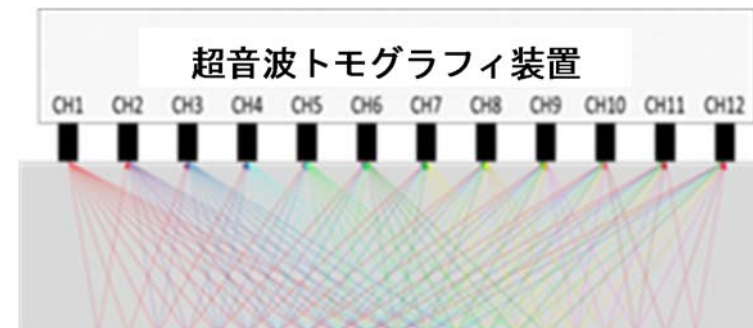
## 4. 超音波アレイセンサ(横波)を用いた装置



調査装置外観



装置裏面センサ配置状況



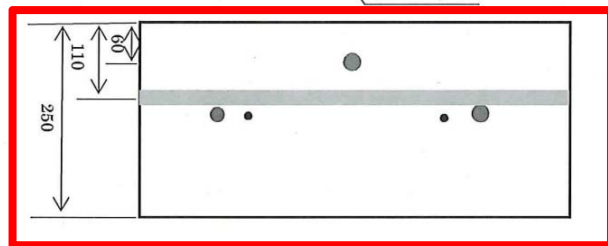
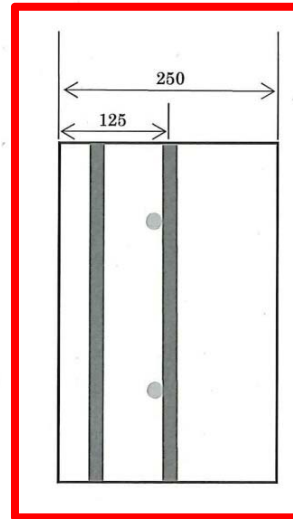
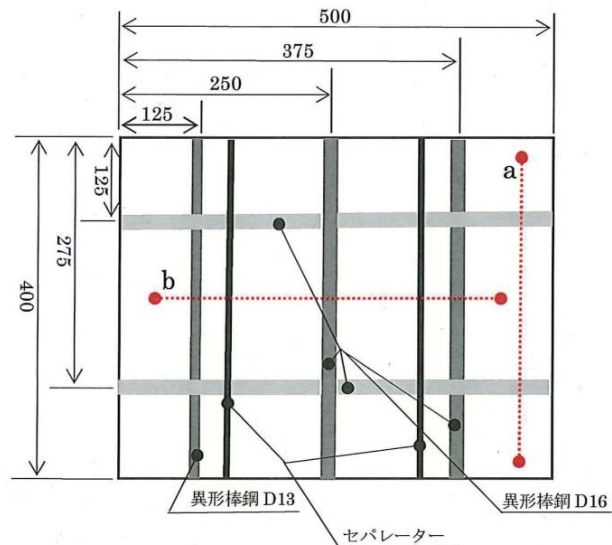
物体内の超音波伝搬イメージ

- ・超音波横波を用いた装置では、多数のセンサをアレイ配置している
- ・アレイセンサを用いることで、低い周波数でも高い精度で計測可能
- ・横波伝搬速度 $V_s$ から、コンクリートの緻密さの評価も同時に実施可能

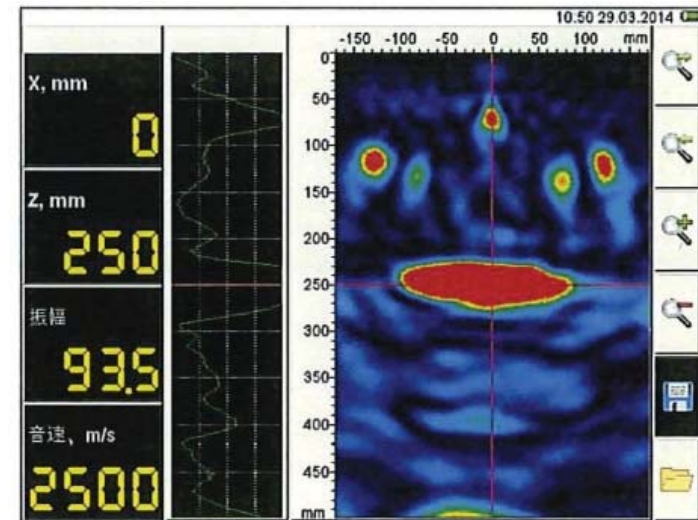
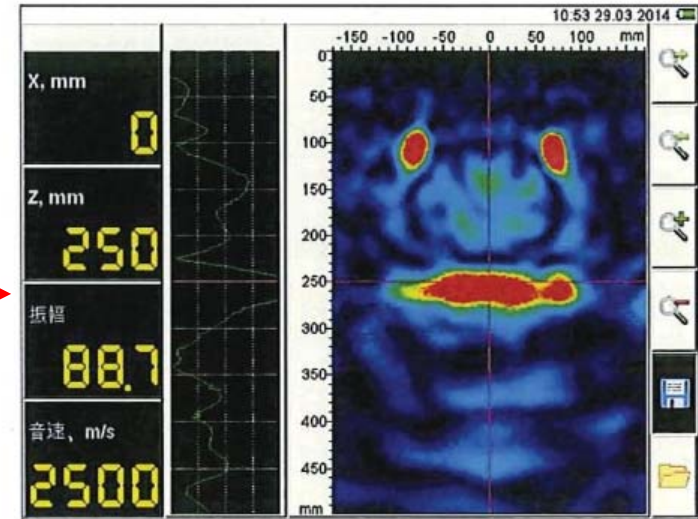
**アレイセンサを用いた装置で高い精度と簡便性を実現**

## 5-1. 動作検証試験の例(RC床板模擬)

●基準試験片 (鉄筋入りコンクリート) mm ※赤点線は画像採集位置

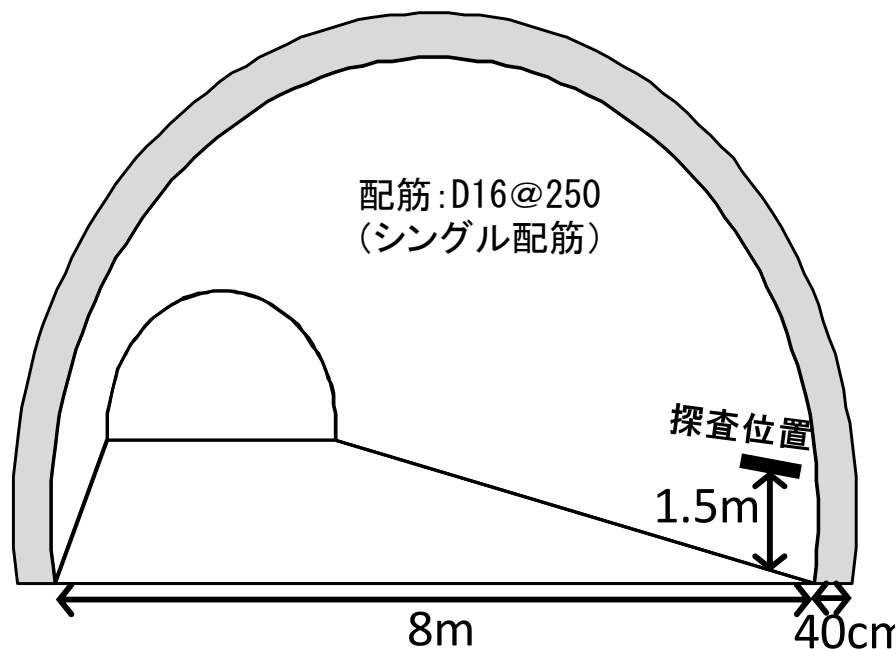


- ・メーカーが実施した板厚250mmのRC床板模擬試験体での調査結果を示す
- ・板厚はほぼ誤差なく測定できている
- ・径9mmのセパレーターも検出可能

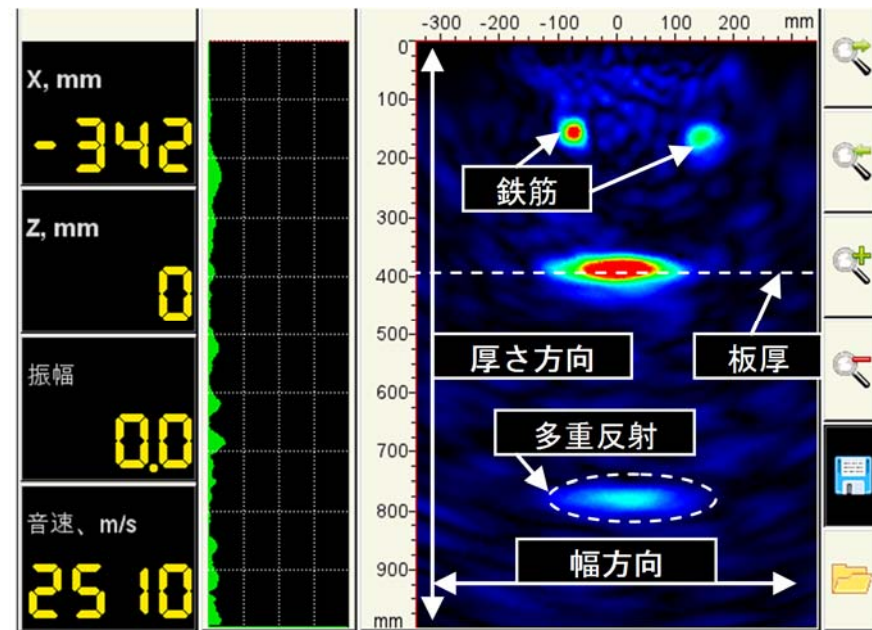


検出結果の精度は高く、断面内の可視化も可能

## 5-2.動作検証試験の例(トンネル覆工模擬)



トンネル模擬試験体のイメージと調査位置



調査結果

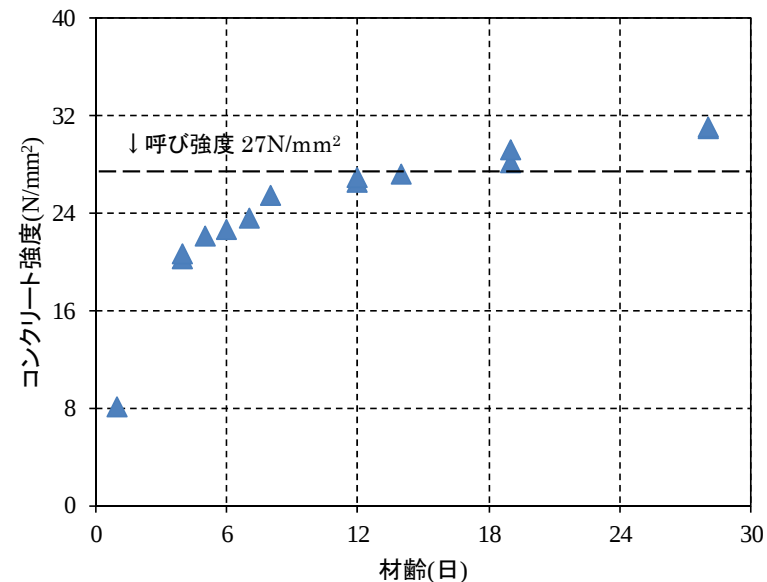
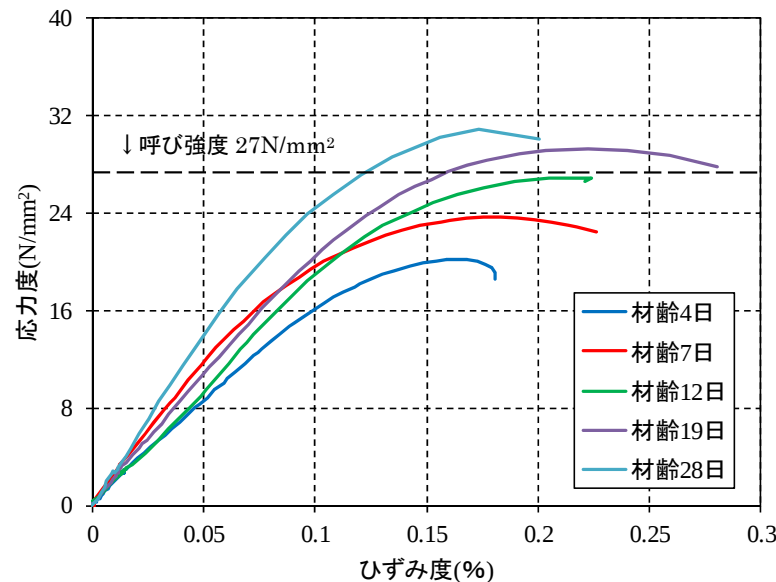
- ・ 厚さ400mmのトンネル覆工を模擬した試験体(約15年屋外)で検証を行った
- ・ 鉄筋間隔および覆工厚さは、実測値とほぼ一致した
- ・ 深さ800mm(覆工厚×2)の位置に、多重反射と思われる反応がみられた

5-1, 5-2は検証結果の一例  
このほかに、空隙や配管を検知する検証実験も実施済

## 6-1. 実験概要とコンクリート物性

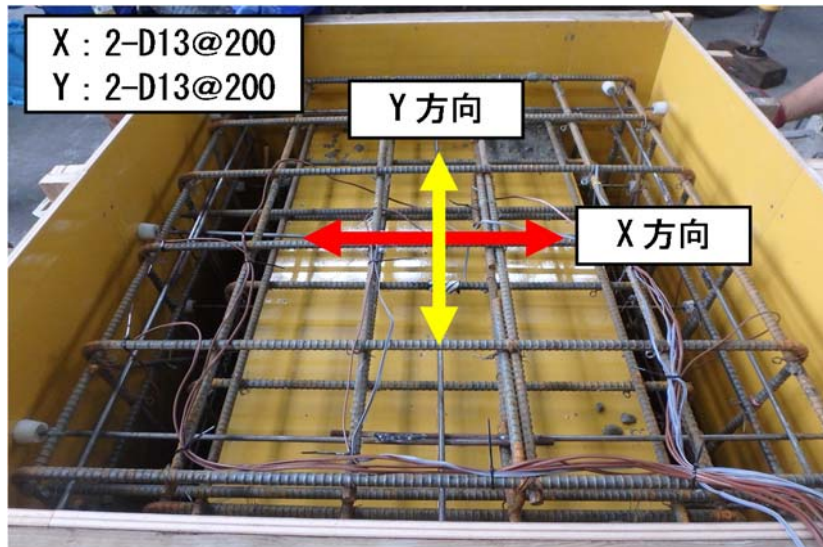
- ・普通コンクリートを用いたRC試験体で、 $V_s$ ,  $V_p$ の計測を行う
- ・試験体は、建築物の基礎梁およびスラブ、壁を模擬した形状となっている
- ・ $V_p$ ,  $V_s$ を比較することで、若材齢コンクリートの緻密さとの相関性を確認
- ・横波を用いたコンクリート内の鉄筋、板厚(スラブ、壁のみ)の検出を行う

超音波横波による試験では、内部構造とともにコンクリートの緻密さも同時に評価できる可能性あり

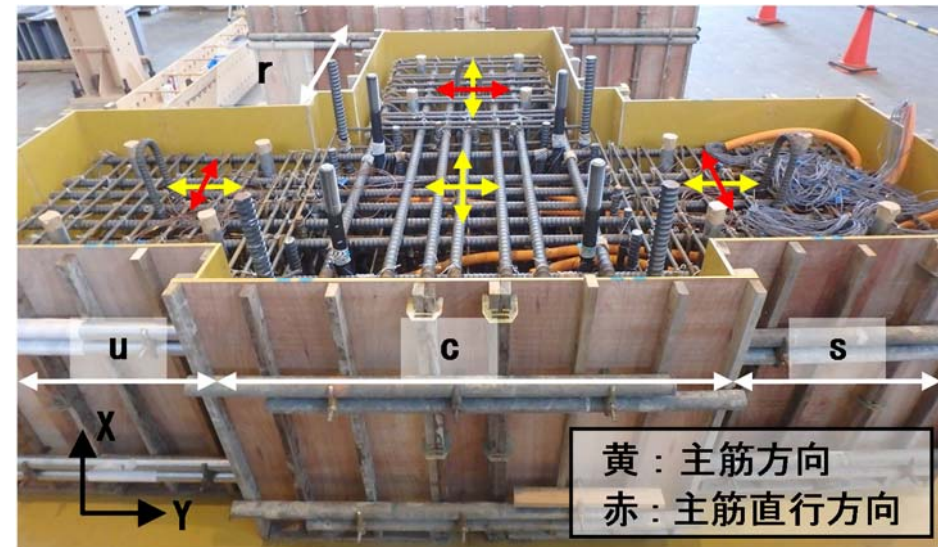


- ・使用したコンクリートは $F_c24$ 、呼び強度27Nの普通コンクリート
- ・コンクリートの配(調)合は通常の建築用と同一で特殊な操作はない

## 6-2. 模擬試験体の配筋と調査実施状況



スラブ・壁模擬試験体

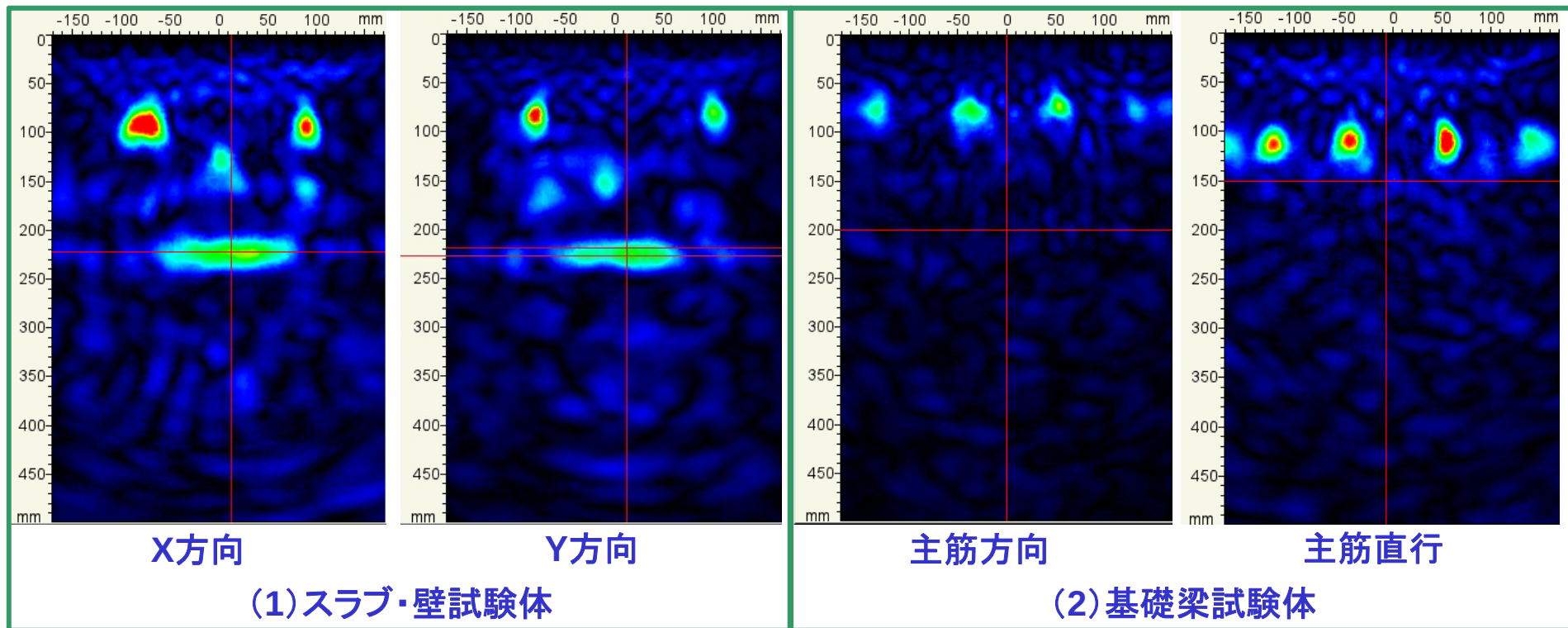


基礎梁模擬試験体

- ・スラブ・壁を模擬した試験体の鉄筋量は0.63%で細径の鉄筋を使用
- ・基礎梁モデルは鉄筋量が1.17～1.41%と多く、太径の鉄筋が使用されている
- ・矢印に示す方向で $V_s$ ,  $V_p$ の計測を行った
- ・調査方向の影響として、基礎梁試験体では主筋方向による差が考えられる

性質が異なる2種類の模擬試験体を用いて、超音波横波による調査が有用な範囲を検証する

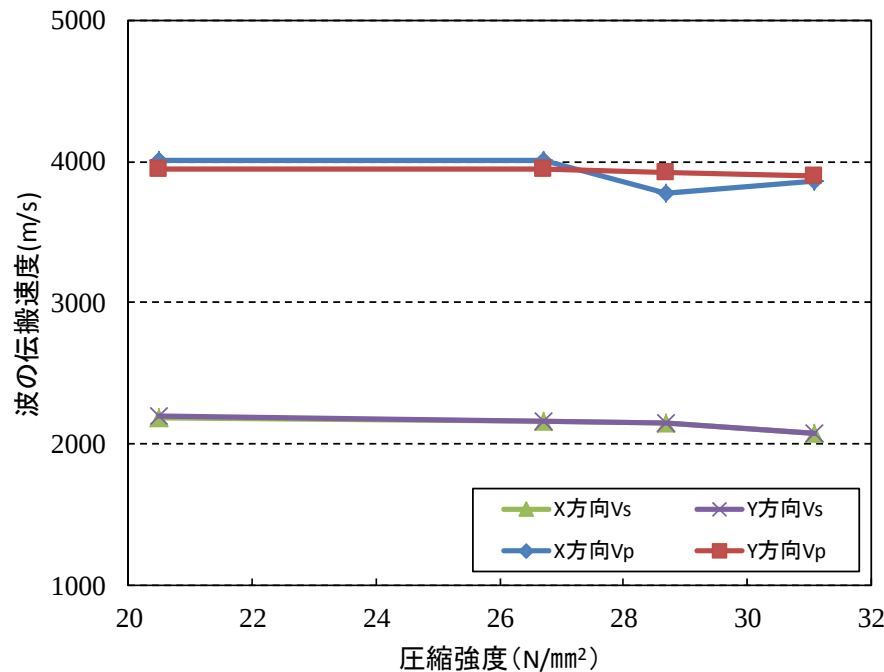
## 6-3. 横波による模擬試験体の配筋状況調査結果



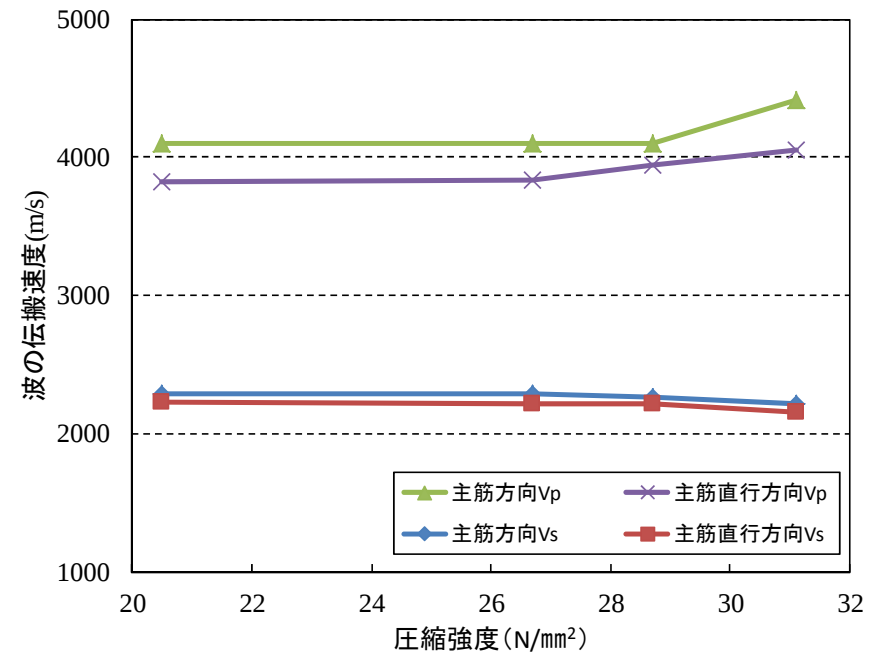
- ・スラブ壁モデルによる板厚の計測は、実測値とほぼ同じ値となった
- ・上端筋の鉄筋間隔は、試験体設計時の値とほぼ同一となった
- ・基礎梁では、主筋とスターラップで反応の強さが異なることが分かった
- ・ダブル配筋の検出についての知見は得られなかったため、今後の検討する

配筋量と鉄筋径が大きく異なる2種類の試験体の検証  
双方とも同等の検出精度であることを確認

## 6-4. 波の伝搬速度 ( $V_s, V_p$ ) とコンクリート強度の関係



スラブ・壁模擬試験体



基礎梁模擬試験体

- ・  $V_p$ は強度発現とともに上昇、 $V_s$ は若干低下する傾向がみられた
- ・ 硬化中の若材齢コンクリートは水分量も変化するため、今後の課題である
- ・  $V_p$ と比較して $V_s$ の方が鉄筋方向による値の変化が小さい

硬化中のコンクリートは、物性が刻々と変化しパラメータが多いため、今後詳細な調査を行いデータを蓄積する

## 6-5. Vs, Vp関係の理論的検証

- ・弾性波である横波と縦波の速度は、ポアソン比を用いた理論的な関係が成立する。

Vs－Vpの関係式

$$V_p = V_s \cdot \sqrt{(2 - 2\nu)/(1 - 2\nu)}$$



実験により得られた値が理論と対応するかを検証

ポアソン比を0.2とするとVp/Vsは1.83となる

実験により得られたVp/Vs値

|                          |      |      |      |      |
|--------------------------|------|------|------|------|
| 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) | 20.5 | 26.7 | 28.7 | 31.1 |
| Vp (Y方向) (m/s)           | 4098 | 4104 | 4104 | 4413 |
| Vp (X方向) (m/s)           | 3830 | 3838 | 3950 | 4055 |
| Vs (Y方向) (m/s)           | 2286 | 2289 | 2268 | 2221 |
| Vs (X方向) (m/s)           | 2229 | 2211 | 2222 | 2158 |
| Vp/Vs (Y方向)              | 1.79 | 1.79 | 1.81 | 1.99 |
| Vp/Vs (X方向)              | 1.72 | 1.74 | 1.78 | 1.88 |

実験値は1.72～1.99となり、理論値1.83との対応性は良好

## 7. まとめ

本論では、超音波横波を用いた鉄筋コンクリート構造物の非破壊試験法の検証として、模擬試験体を用いた実測を行った。

- (1) 板状RC構造物の板厚を200～400mmの範囲で計測した結果、調査した板厚の範囲での計測値は実測値とほぼ一致した。
- (2) トンネル覆工コンクリート、スラブ、壁、RC基礎梁を模擬した試験体を用い、鉄筋位置の検出を行った結果、実測位置は試験体設計時の配筋とほぼ一致した。
- (3) 鉄筋位置の検出は既設構造物(15年経過したトンネル試験体)、若材齢コンクリート(スラブ壁、基礎梁)ともに良好であり、コンクリートの材齢の影響を受けないことが分かった。
- (4)  $V_s$ ,  $V_p$ -圧縮強度の結果から、両者は早期にほぼ一定値に収束する傾向が見られた。また、 $V_s$ では若干の速度減少傾向、 $V_p$ では増加傾向が見られた。
- (5)  $V_s$ ,  $V_p$ の材齢増加に伴う速度の変化は、コンクリートの水分量の影響が考えられるため、今後データの蓄積を行い解明を試みる予定である。

END

ご清聴ありがとうございました