

令和2年度～4年度  
住宅生産技術イノベーション促進事業

## あと施工アンカーを用いたリノベーションのための 施工品質検査の開発

株式会社アミック	代表取締役	長岡康之
アスワン電子株式会社	代表取締役	仲矢直司

# 背景と目的

## 背景

- 国土交通省の告示改正により、既存住宅ストックの有効活用においてあと施工アンカーが主要構造部材の接合に適用できることとなった。
- 評定申請者の参考として「接着系あと施工アンカー強度指定申請ガイドライン」（2022年3月）が発出された。
- ガイドラインでは工事中・工事後の検査が各種指定され、その内の「注入量検査」において、非破壊引張試験と同等の高度な検査方法として電磁パルス法が適用できる。

## 目的

装置・人材・不正防止  
の観点で  
システムの構築を検討

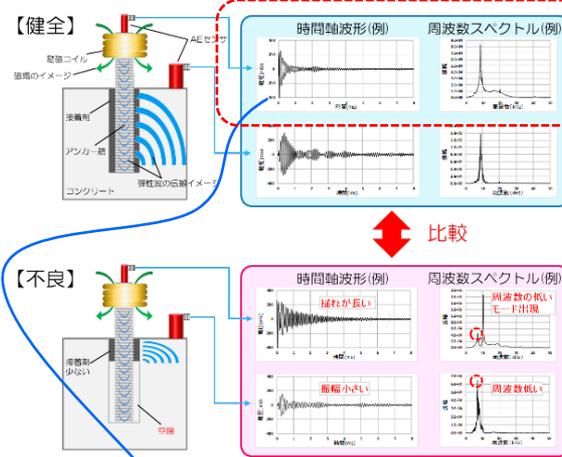
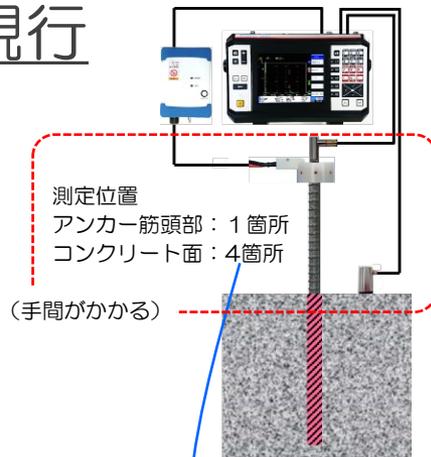


あと施工アンカーの施工品質確認ができる検査システムを開発する！！

# 技術開発の概要

※H27～H29：サポイン事業での開発成果

## 現行



健全なアンカーの信号と比較して  
良否を評価している

### 6種類の指標で評価

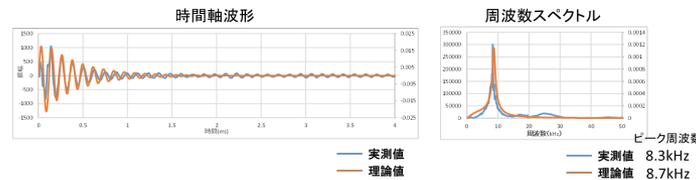
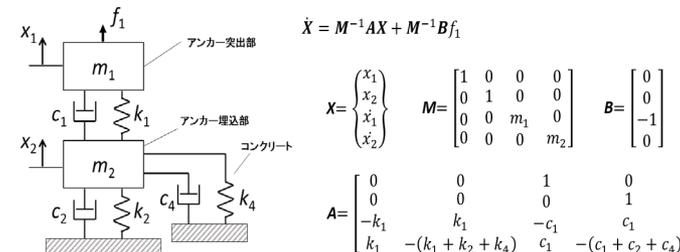
評価指標	傾向
波形エネルギー	充填状況が悪い場合に小さくなる
波形継続時間	充填状況が悪い場合に長くなる
スペクトル重心周波数	充填状況が悪い場合に低周波側にシフトする
スペクトル標準偏差	充填状況が悪い場合に標準偏差が小さくなる
スペクトルピーク数	充填状況が悪い場合にピーク数が増える
スペクトル相関係数	充填状況が悪い場合に相関係数が小さくなる

指標の閾値から外れたものにNGポイントを付与して  
合否判定

## 開発目標



- 基準になるアンカー筋の信号を理論式で算出



- AIを活用
- 新たな評価指標の追加



# 技術開発の先導性・効率性（開発実施体制）

## 先導性

- H27～H29年度：サポイン事業で研究開発した実績がある
- H29年度より、建築基準整備促進事業に参加（協力）した実績がある

## 株式会社アミック（代表提案者）

- 検査装置の開発
  - 試験体の作製とデータ採取
  - ソフトウェア（センサ数削減、AI、IoT）の開発

一般社団法人

日本社会基盤安全技術振興協会

## アスワン電子株式会社

- アドバイザリー委員会の実行責任者
- 人材育成のための講習会、資格制度の創設

効率的に技術開発を推進！

## アドバイザリー委員会

- 知見、ノウハウなどの提供
- 研究開発の方向性や結果の解釈、助言、指導 など

【メンバー】・・・以下の11名（敬称・法人格略、五十音順）

有木（都市再生機構、建築研究所）、宇田川（日本総合住生活）、大垣（日本建築あと施工アンカー協会）、清（計測技術サービス）、中村（IHI検査計測）、濱崎（芝浦工業大学）、檜枝（菱電湘南エレクトロニクス）、細川（細川建築構造研究所）、水谷（東京工業大学）、安田（ジャスコ）、和高（日本社会基盤安全技術振興協会）

# 技術開発の完成度、目標達成度

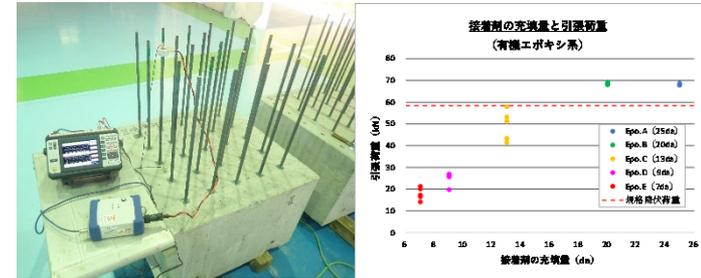
## 試験装置の開発

- (1) 試験データの採取(238本\*) 達成度100%
- (2) ソフトウェアの開発 達成度100%

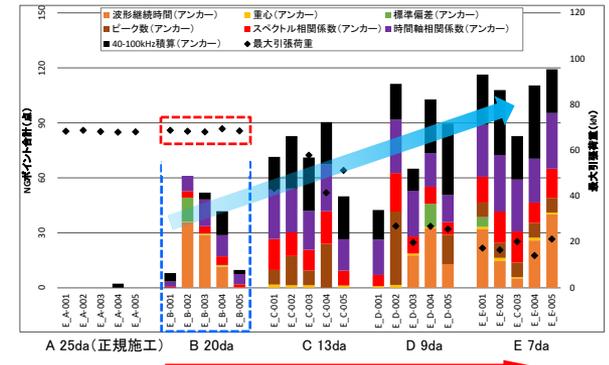
### 【成果】

\* 内訳：R2 (60本) R3 (72本) R4 (106本)

- アンカー筋頭部 1箇所の測定だけで評価できるようになった (測定箇所80%削減：作業効率向上)
- 理論的に基準になるアンカー筋の信号を算出して評価できるようになった (作業効率向上)
- 非破壊引張試験では検出できない 接着剤の充填不良が検出できるようになった (検査精度向上)
- IoTにより 改ざんを防止できるシステムとなった (結果の 信頼性向上)

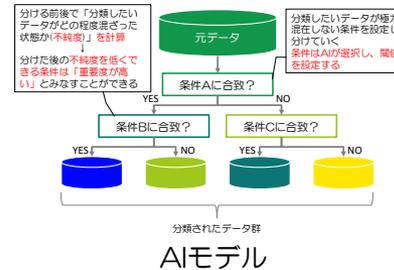


アンカー試験体の測定・引張試験状況



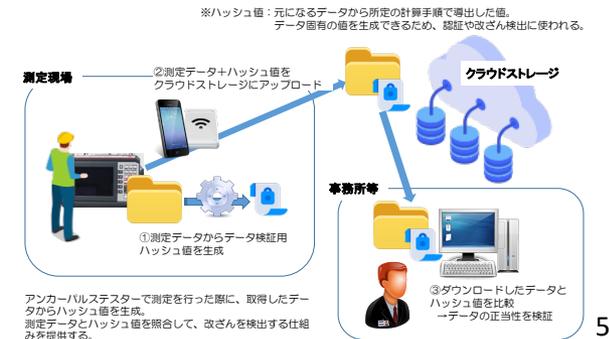
アンカー試験体の評価結果 (有機エポキシ樹脂)

データ分析に用いられる「決定木」と呼ばれるアルゴリズムを採用



### 【追加変更したソフトウェアの具体】

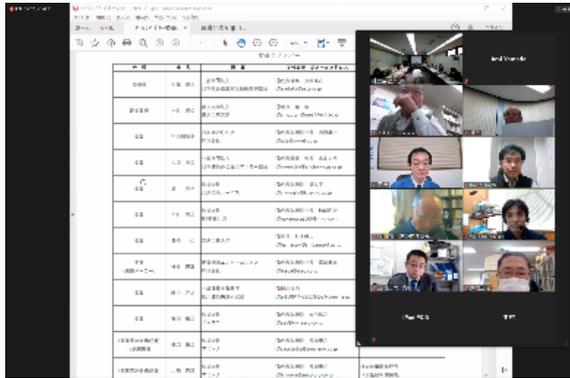
1. NGポイント算出方法の変更・追加
  - ・評価指標値を閾値からの乖離度で計算へ変更
  - ・評価指標ごとの重み付け係数追加
  - ・評価指標2種類追加 (6種類→8種類)
    - 時間軸波形の相関係数 (CFt)
    - 40~100kHzの周波数成分積算値 (HF)
2. 理論式による評価機能追加
3. バンドパスフィルタ機能追加
4. 標準偏差による指標の判定閾値計算機能追加



# 技術開発の完成度、目標達成度

## アドバイザー委員会の設置 (3) 各年度の方向性決定

達成度100%



R2委員会（一例）



R3委員会（一例）



R4委員会（一例）

応募時に目標としていた開発は、達成することができたと考えている。

### <適用範囲>

- アンカー筋径：D10～D16
- 接着剤：エポキシ系接着剤
- アンカー筋の埋込長さ：～400mm
- アンカー筋の突出長さ：～650mm

### <検出性能>

- 接着剤適正充填量の80%を下回った充填不良アンカー

技術開発終了後も、精度向上のために必要な研究を進めている（後述）

# 実用化・市場化の状況

- 2022年度に（一社）日本社会基盤安全技術振興協会より、普及推進技術としての認定を受けた
- 建築分野においては、2023年2月よりガイドラインを適用して認定を受けようとしている企業の協力を得てその対象アンカーを測定し、実現場での要求に対応できるように準備を進めている
- 土木分野においては、某高速道路会社におけるトンネル設備への適用要求に答える形で、2023年5月より現場実証試験を実施中である
- 今後も市場要求に対応すると共に、論文投稿などで周知を図る予定である



認定証



評定用アンカーの試験状況



道路トンネル設備の試験状況

# 技術開発等に関する結果（成功点・残された課題）

## 【成功点】

- 学識者や各分野の専門家をアドバイザーに招聘できたことで、ターゲット\*1の明確化や問題\*2解決の力になった

（\*1：ターゲット）  
主要構造部材に適用する定着長の長い  
あと施工アンカー

（\*2：問題）  
接着剤が疎らについたアンカーを検出する決め手がない。どのAIをどう使えばよいかわからない。大きなブロック供試体を製作し保管する場所がない。

- AIの活用により、今まで検出が困難であった充填不良を検出できる新しい指標を発見することができた
- 日本建設あと施工アンカー協会の協力が得られたことで、大きなコンクリート試験体の作製やアンカーの施工ができた

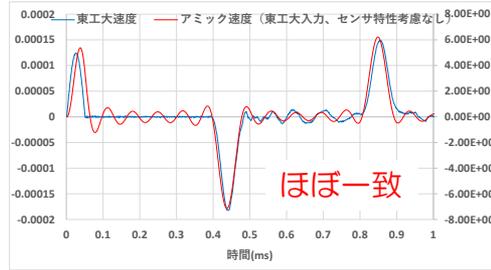
## 【残された課題】

- 本技術開発で構築した理論式では、アンカーの突出長さが短い場合にピーク周波数と減衰特性にわずかな差異があるため、更なる精度の向上を図りたい
- アンカーの定着が長い場合に、接着剤の種類によっては充填不良の検出性が悪いものがあることが分かったので、その改善と共に適用範囲などの検討が必要である

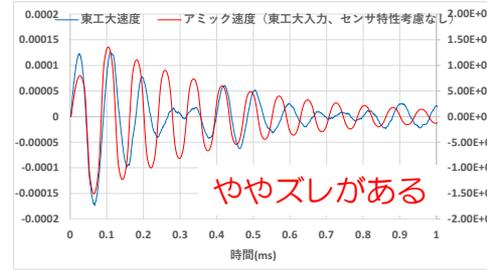
# 今後の見通し

- 理論式については、有限要素解析ソフトを新たに導入して、弾性波時刻歴波形の生成精度を上げる

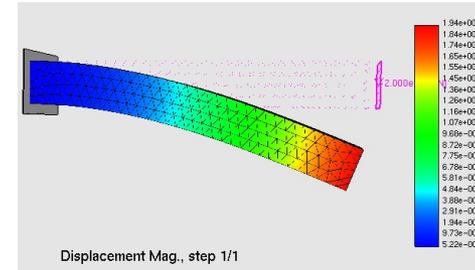
突出長さ1000mm



突出長さ50mm



有限要素解析例



- 充填不良の検出性が悪い接着剤については、接着剤単体の試験体を作製して材料定数や弾性波の伝搬特性を調べて、検出性能を上げるための条件や適用範囲（限界）を明確にする予定である

(材料定数の算出結果)

$$V_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \times \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \dots \textcircled{1} \quad V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho} \times \frac{1}{1+\nu}} \dots \textcircled{2}$$

①②式より

$$\nu = \frac{1}{2} \times \frac{V_L^2 - 2V_S^2}{V_L^2 - V_S^2} \dots \textcircled{3}$$

$$E = \rho \cdot V_S^2 \times \frac{3V_L^2 - 4V_S^2}{V_L^2 - V_S^2} \dots \textcircled{4}$$

$$G = \rho \cdot V_S^2 \dots \textcircled{5}$$

$V_L$  : 縦波音速(m/s)  
 (sound velocity of a longitudinal wave)  
 $V_S$  : 横波音速(m/s)  
 (sound velocity of a shear wave)  
 $\rho$  : 密度(kg/m<sup>3</sup>)  
 $\nu$  : ポアソン比  
 $E$  : ヤング率(GPa)  
 $G$  : 剛性率(GPa)  
 (単位換算)  
 $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$  ⑦  $1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$  ⑧  
 ⑦⑧より  $1\text{kg/ms}^2 = 1\text{Pa}$

③④⑤式より

材料特性 Material Properties	エポキシ樹脂 Epoxy resin	モルタル混合樹脂 Mortar-mixed resin	モルタル Mortar
$V_L$ (m/s)	2,706	3,105	4,698
$V_S$ (m/s)	1,330	1,574	2,854
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1,340	1,780	2,050
$\nu$	0.341	0.327	0.208
$E$ (GPa)	6.4	11.7	40.3
$G$ (GPa)	2.4	4.4	16.7