

# 打音試験の結果

## 【目的】

接着系アンカーボルトの特性についてデータを収集し、天井板落下事故との関わりや同種事故の再発防止策等の検討に資する目的で打音試験等を実施したものである。

平成25年3月27日(水)

# 1. 打音試験の概要

## 目的

本試験は、接着系アンカーボルトの特性についてデータを収集し、天井板落下事故との関わりや同種事故の再発防止策等の検討に資する目的で現地での以下の試験を行うものである。

・「近接目視・触診・打音試験」の各試験方法の適用性評価

## 本日報告する試験の内容

- 1) 対象区間：笹子トンネル上り線全線（天井板落下区間を除く）
- 2) 実施期間：平成24年12月18日 ～ 平成24年12月30日

### 試験を実施したアンカーボルト箇所数

	内容	実施数
当初試験	トンネル全体でランダムな配置となるように配慮して実施(天井板落下区間とその前後区間を除く)	141箇所
追加試験	天井板落下区間の前後区間や当初引抜き抵抗試験で抵抗力の低い箇所など	44箇所

### 打音試験

- ・打音試験
- ・センサー付き打音試験(2検査)
- ・外観目視及び触診確認など(ボルト及び周辺覆工コンクリート)



### 引抜き抵抗力試験

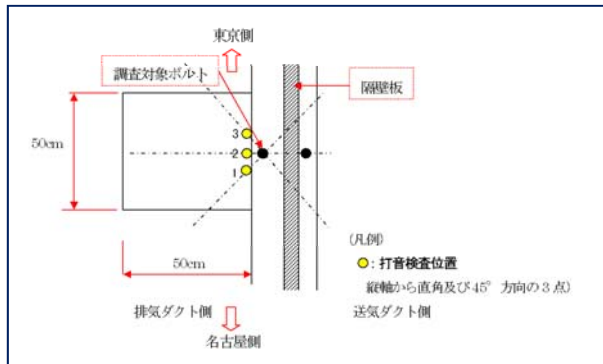
### 試験の実施手順

## 2. 試験の方法

- ・1試料に対し、点検員3名が各々打音ハンマーによりアンカーボルト頭部を打撃し、「道路トンネル定期点検要領(案)H14.4(国土交通省)」にもとづいて打撃音が清音※か濁音か、反発感の有無により良・不良を判定。軸方向と横方向で実施。
- ・打撃及び触診によるボルト・ナット部のゆるみの有無、目視によるアンカーボルト頭部及び覆工コンクリートの状態(点検範囲はアンカーボルト周辺50cm×50cm程度)なども確認し、写真を撮影。試験結果および写真類は、記録表として取りまとめる。
- ・打撃音が録音可能な試験装置および打撃力の時間波形がデジタル値として録音可能なコンクリートテストハンマーを利用した検査を実施。



打音試験の実施



試験の実施範囲

アンカーボルト		試験番号	20					
		西坑口からの通し番号	5006					
		作業番号	40					
試験前	アンカーボルト近傍 覆工コンクリート外観	実施日	2012/12/20	結果	ひび割れ	<input type="checkbox"/> 有・ <input checked="" type="checkbox"/> 無		
					漏水	<input type="checkbox"/> 有・ <input checked="" type="checkbox"/> 無		
					遊離石灰	<input type="checkbox"/> 有・ <input checked="" type="checkbox"/> 無		
	アンカーボルト外観	実施日	2012/12/20			ボルトさび	<input type="checkbox"/> 有・ <input checked="" type="checkbox"/> 無	
						ボルトゆるみ	<input type="checkbox"/> 有・ <input checked="" type="checkbox"/> 無	
						ナットさび	<input type="checkbox"/> 有・ <input checked="" type="checkbox"/> 無	
					ナットゆるみ	<input type="checkbox"/> 有・ <input checked="" type="checkbox"/> 無		
打音点検 (NEXCO中日本)		実施日	2012/12/13			○		
打音試験	打撃音の清音・濁音による良否	鉛直			○	○	○	
		水平			○	○	○	
	反発感の有無による良否	鉛直				○	○	○
		水平	2012/12/20			○	○	○
	ボルトのゆるみ判定					○	○	○
	ナットのゆるみ判定					○	○	○
総合判定					○	○	○	
備考								

■アンカーボルト天井板の写真

撮影日 2012/12/20

■アンカーボルト近傍の覆工コンクリートの写真

打音試験記録表の記録例

※清音: キンキンという高い音を発する。 濁音: ポコポコという鈍い音を発する。

### 3. 試験の結果(1) 点検員による判定の違い

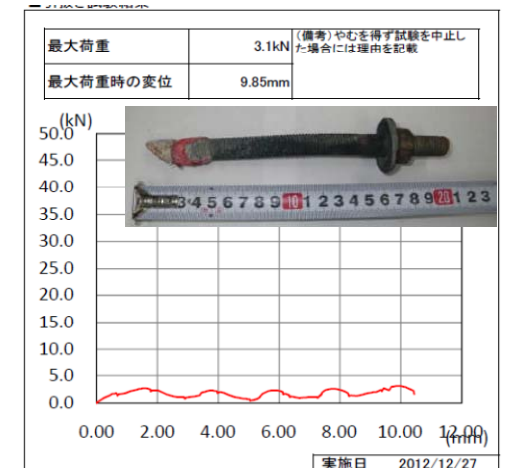
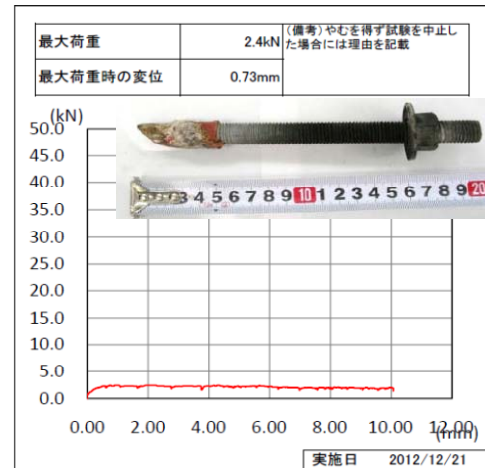
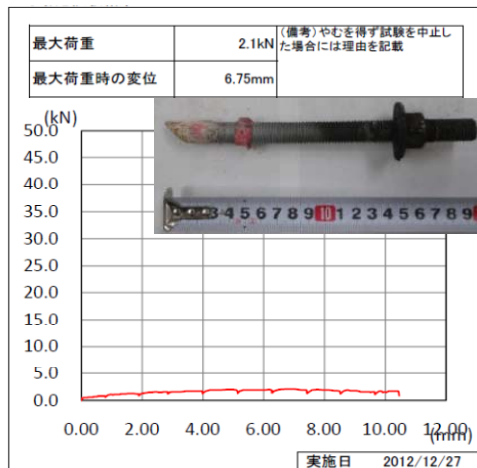
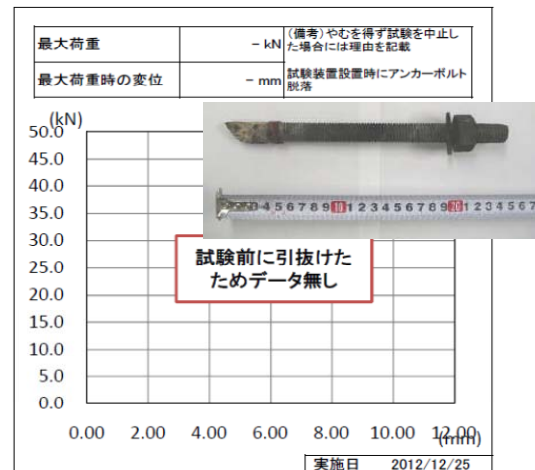
- ・点検員による総合判定のばらつきは少ない  
(全185箇所のうち判定が点検員間で不一致であったのは5%)
- ・結果判断方法を明確化すべき。

#### 試験の結果

点検員3名の 打音試験評価	箇所数 割合	
判定が一致	175	箇所
	95	%
判定が不一致	10	箇所
	5	%

### 3. 試験の結果(2)

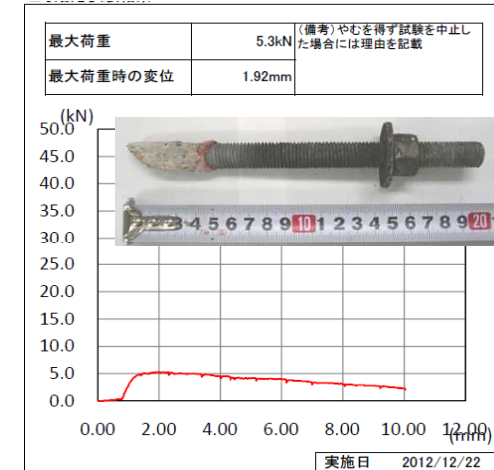
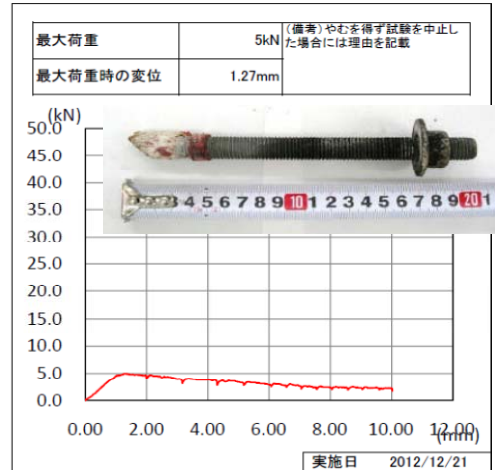
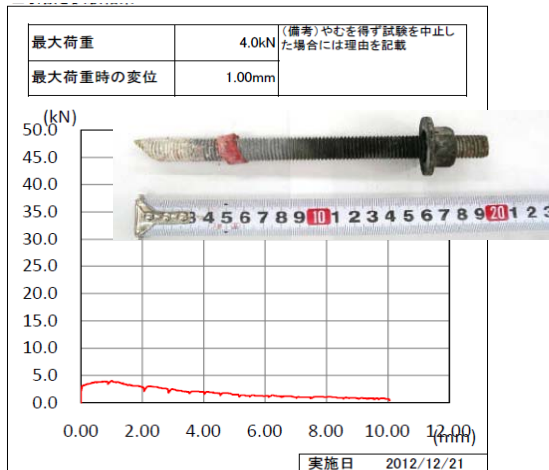
### 【明らかに抵抗機能が喪失していたと考えられるボルト】



※ 荷重変位曲線がフラットであり、明らかに抵抗機能が喪失 → 点検員全員が「×」と判定  
 ※ 手(触診)で引き抜けたものも存在 → 点検は近接を基本とし、触診も実施すべき

### 3. 試験の結果(3)

【最大荷重が低く、かつピークが明瞭でない荷重変位曲線】

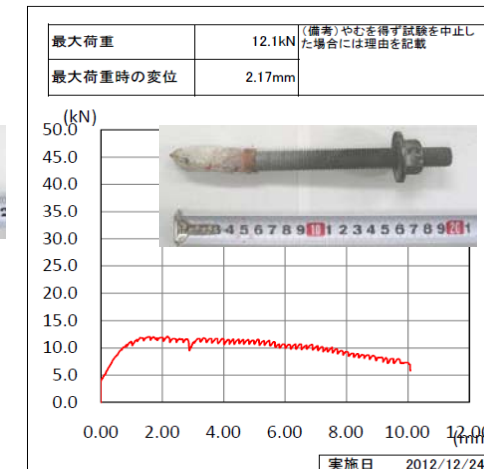
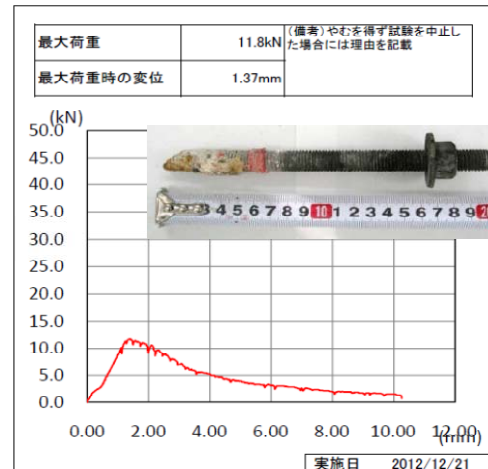
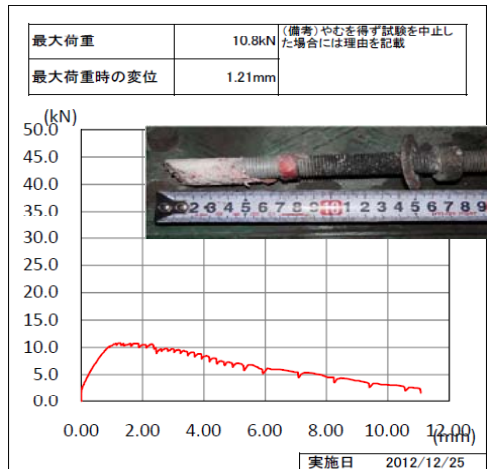
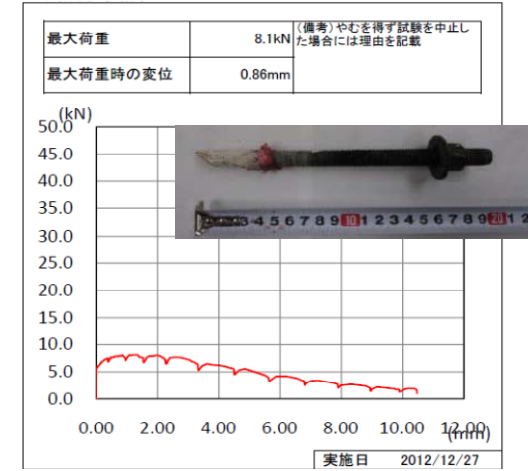
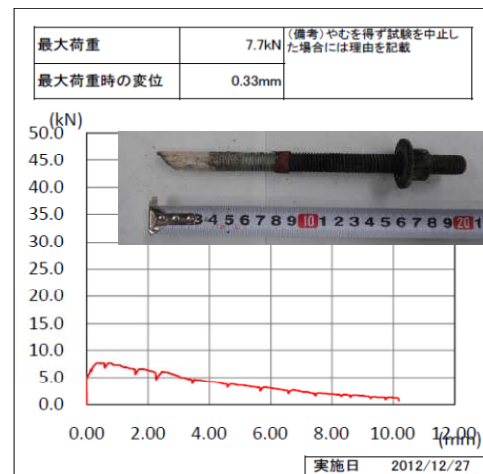
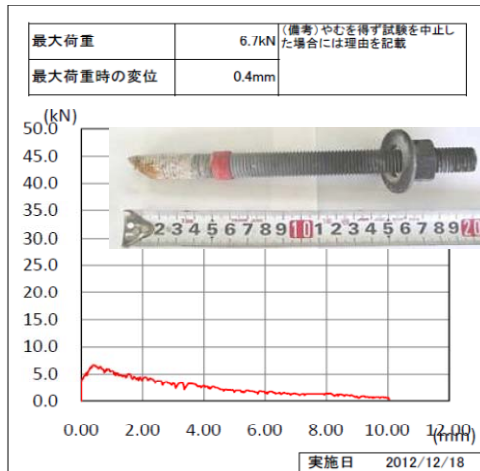


※ 荷重変位曲線性状のみでは、これらのボルトが荷重保持機能を喪失していたのかどうかを断定するのは困難。

※ 強度が小さく、かつ、ピークが明瞭でない → 点検員全員が「×」と判定

### 3. 試験の結果(4)

【最大荷重が低い、ピークが出ているもの】

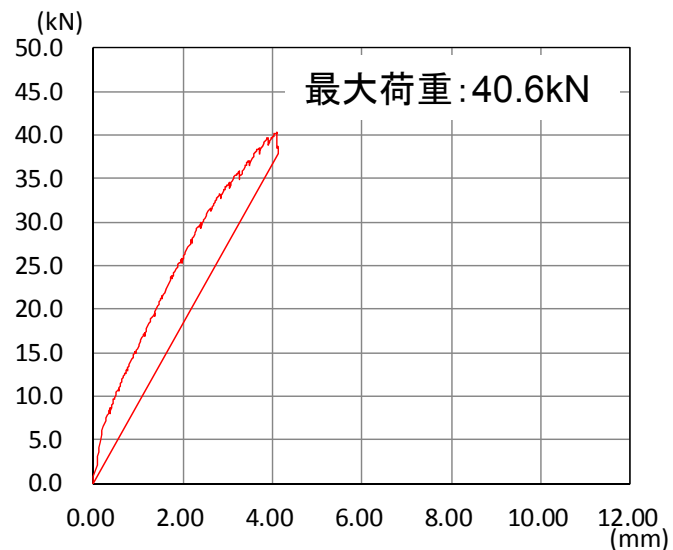


※ 強度が小さくても荷重変位曲線のピークが明瞭に見られる、または、最大荷重記録後に荷重が低下するような荷重変位曲線性状を有するボルトは、作用荷重に対する抵抗機能を保持していた可能性

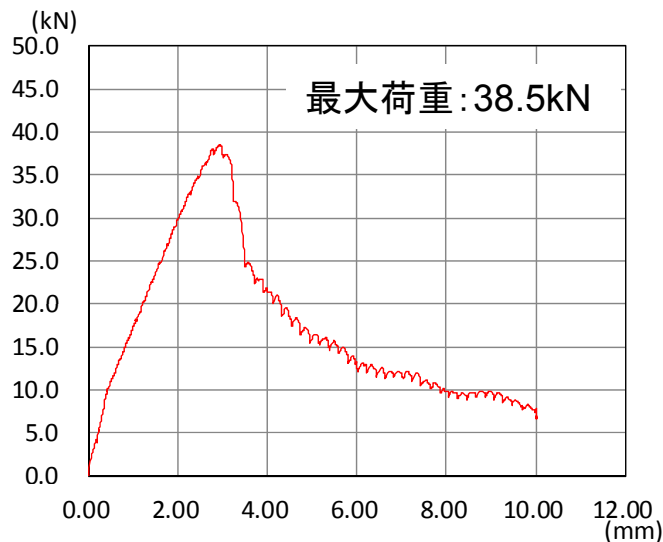
※ 点検では、「○」と判定される傾向。

# <参考> 最大荷重が大きく、かつ、試験にてOと判定されたボルトの荷重変位曲線

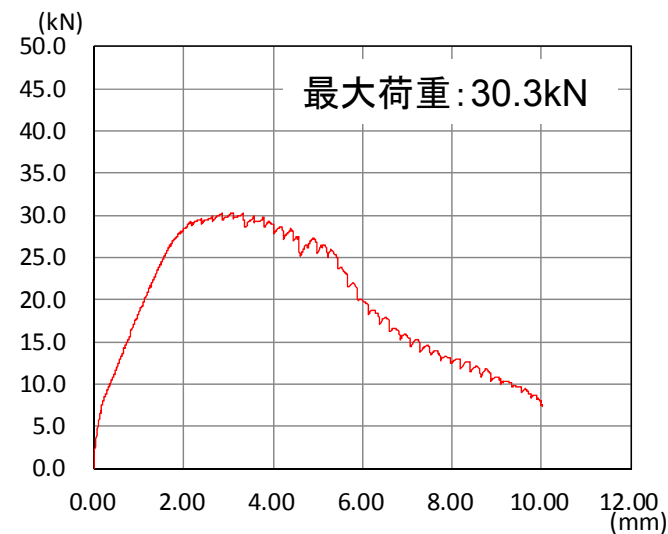
引き抜け無かったボルト



引き抜けたボルトのうち、最大荷重が大きいもの



引き抜けたボルトのうち、最大荷重が比較的大きいもの

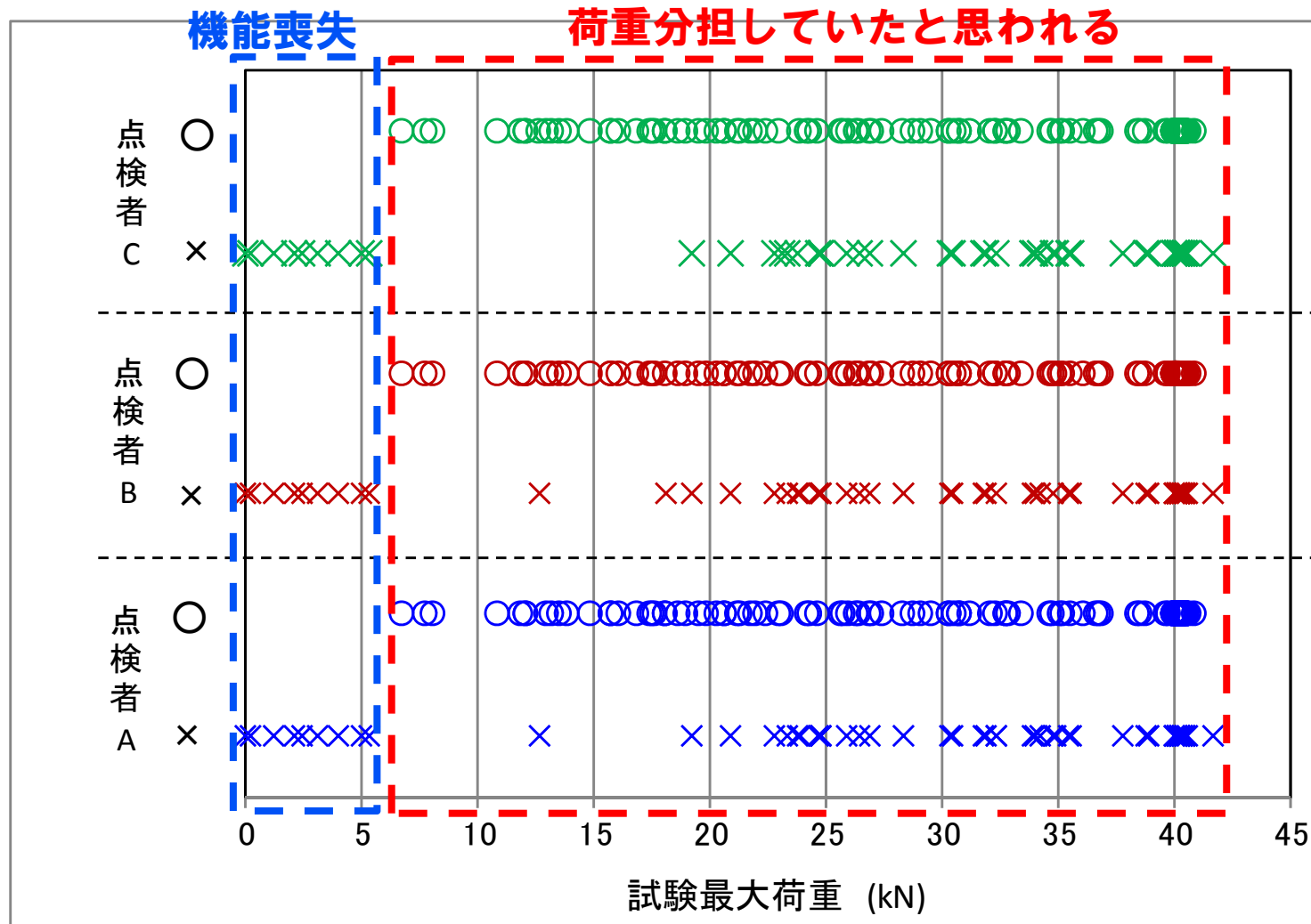




## 4. 試験結果の考察(1)

### ■ 試験結果と強度の関係

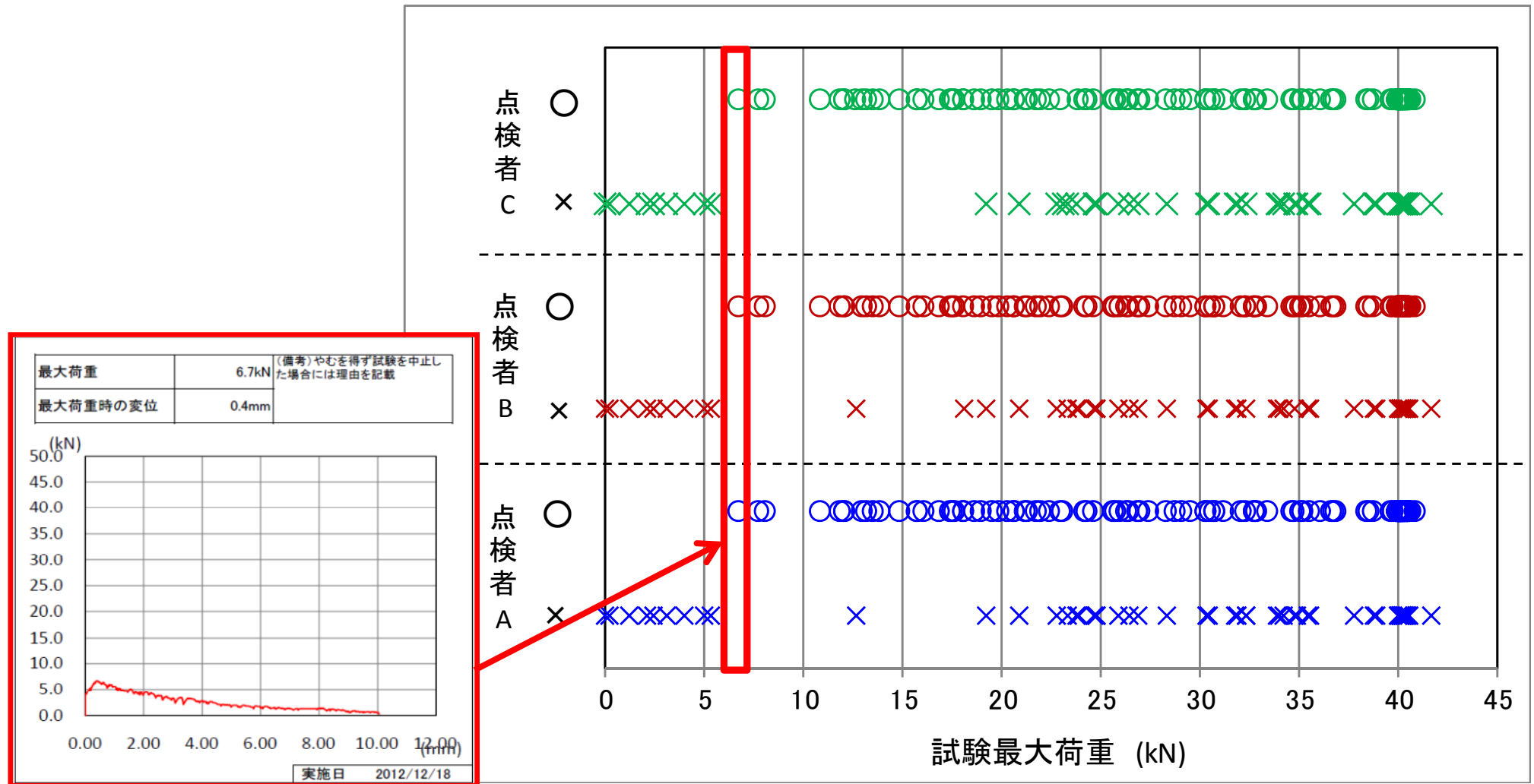
- 機能喪失したアンカーボルトを検出できる可能性があるが、作用荷重を負担しているボルトの付着強度を把握することは困難。



・グラフのサンプル数: 試験対象の185箇所

## 4. 試験結果の考察(2)

### ■ 笹子トンネルの特殊性の影響の例



※ 本ボルトの打音試験について点検員への聞き取りによれば、「ボルト打撃時に異音を感じたが、ボルトではなくCT鋼と覆工の間の緩みに起因すると判断した」との点検員のコメントあり

→ 笹子トンネルの特殊性

## 5. 接着系あと施工アンカーボルトの音響試験【室内試験】

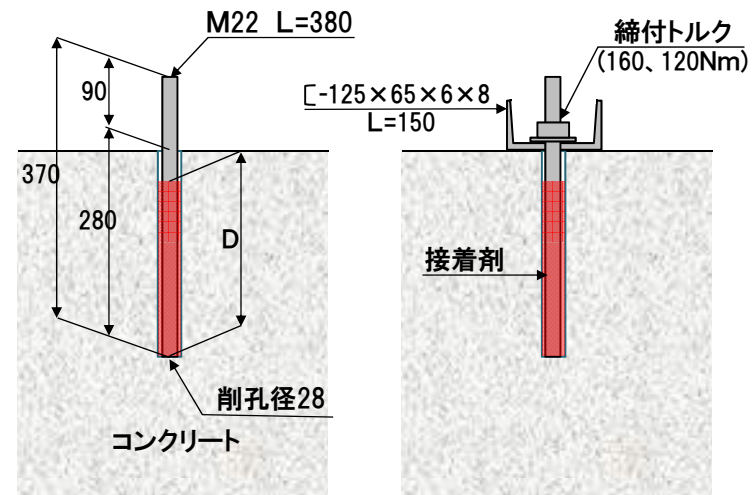
本実験は、センサー付打音装置を用いて、ボルトの打音に与える要因について室内試験を実施して分析を行った。

場所：(独)土木研究所

実験日：平成25年2月22日(金)

試験方法：鉛直方向・せん断方向に3回ずつセンサー付打音装置により打撃

接着剤充填状況
完全充填 (接着剤100%充填)
充填不良 (接着剤57%充填)
充填不良 (粘土充填)



$$\text{充填率} = D/280$$

それぞれのボルトに対して、  
「締付トルク160Nm」、「120Nm」、「0Nm」、  
「ナットがないボルト」で実験実施

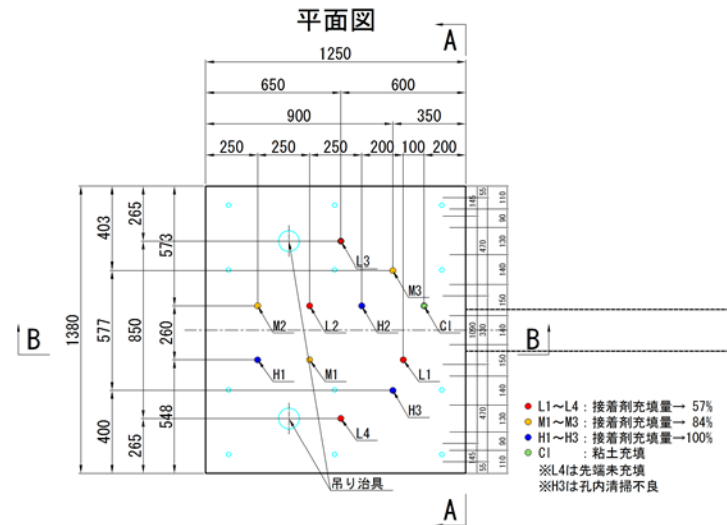
## 5. 接着系あと施工アンカーボルトの音響試験【室内試験】

試験方法: ボルトを打撃し、空気中に伝播する音を収集

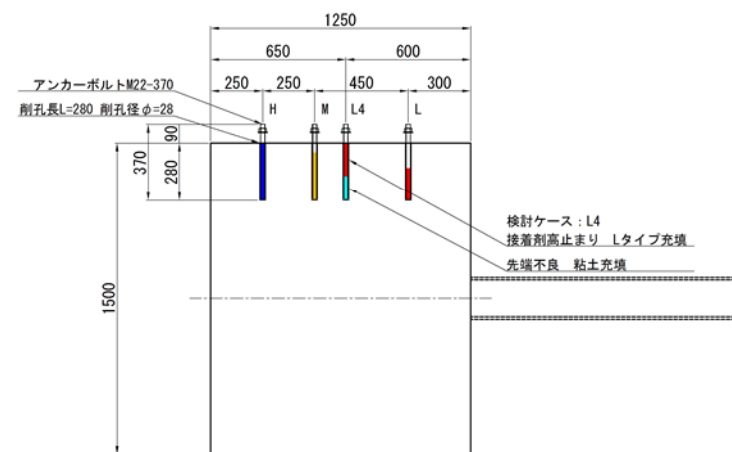


アンカーボルト: M22  
 ボルト全長: 370mm  
 削孔長 L=280mm  
 削孔径 φ=28

供試体概要図



側面図 (B-B)



## 【参考】センサー付打音装置(音響記録)の概要

### 【センサー付打音装置】

ここで用いたセンサー付打音装置は、**コンクリート表層部の健全性を点検するために開発されたもので**、コンクリート表層部を打撃した際に発生する振動がコンクリート内部を伝搬する過程を、コンクリート表面にて音圧として記録し、分析するための装置。

本検討では、**上記の装置本来の使用目的・方法とは異なるが**、インパクトハンマー(重量200g)で、ボルト先端打撃したときの打撃音を、ボルト先端から20cm離れた場所でフード付きマイクロフォン(周波数範囲20Hz~20kHz)により音圧として収録



センサー付打音装置

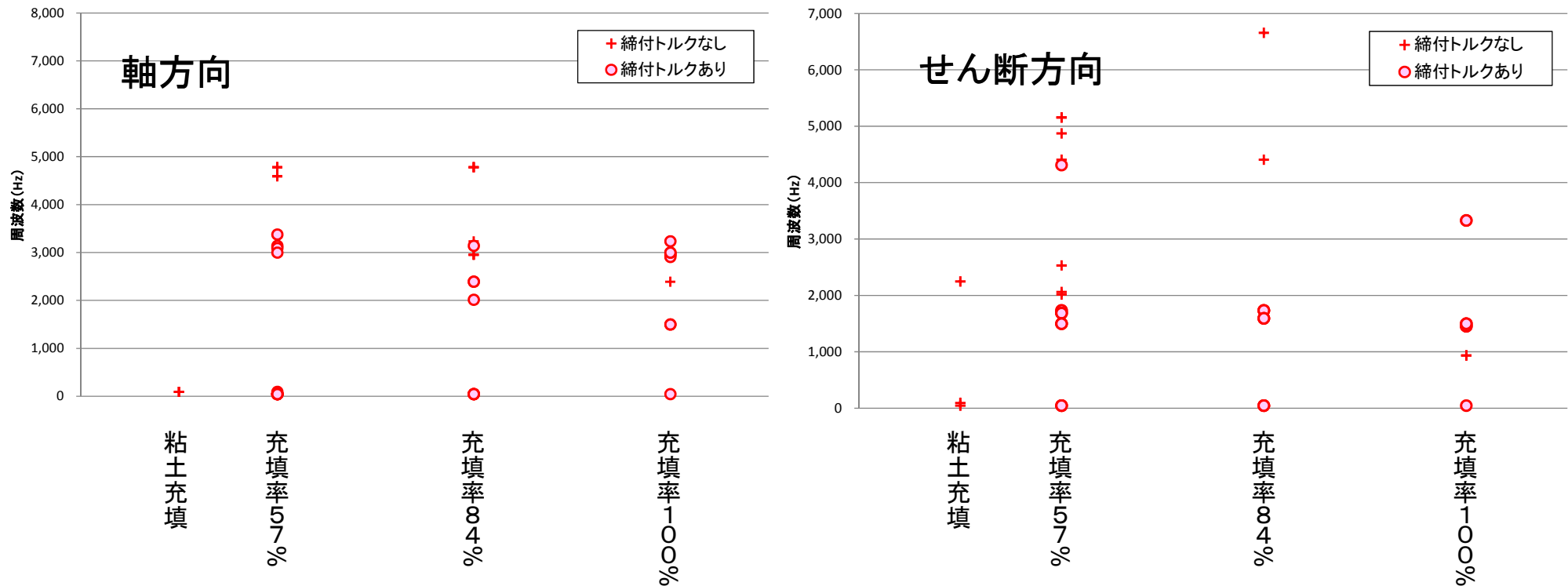


計測方法

## 5. 接着系あと施工アンカーボルトの音響試験【室内試験】

### 5-1 1次固有振動数の比較（充填率・締付トルク別）

軸方向に打撃した場合、1次固有周期は、充填率が高いほど小さくなる傾向が見られる。  
 締付トルクが入ると、1次固有周期と充填率の関係は顕著でなくなる。  
 データのばらつきも非常に大きい。



※各充填率に対してボルトが3本、それぞれのボルトに3回打撃  
 ※「締付けトルクあり」のときのトルクは160Nm

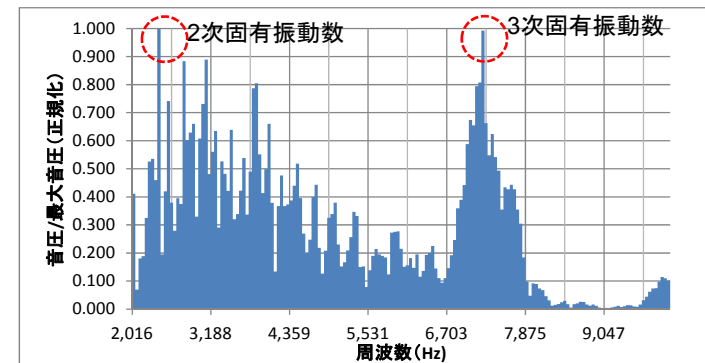
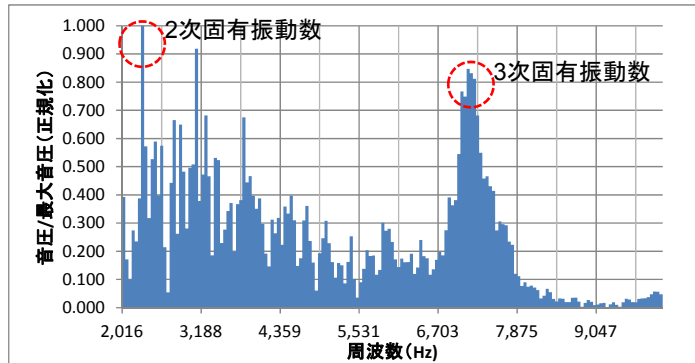
## 5. 接着系あと施工アンカーボルトの音響試験【室内試験】

5-1 一次固有周期以外の比較 (軸方向: ナット有無別(ナット有は手でナットを締めつけたもの))

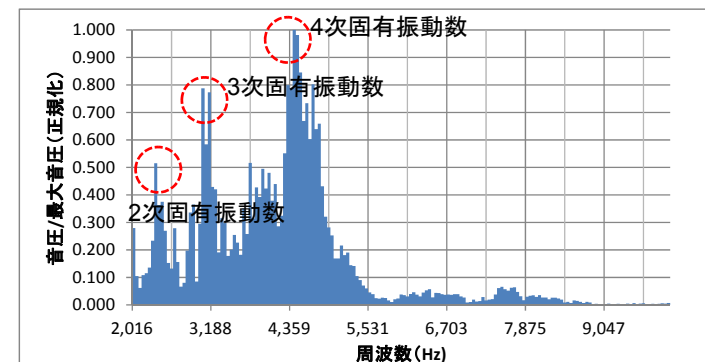
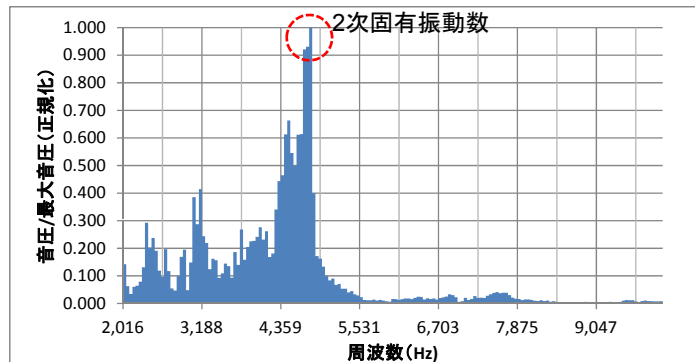
ナットなし: 充填率が高いと周波数の高い域に固有振動がみられる。

ナット有り: 充填率に応じて差が見られる(ナットなしの場合と同様の傾向)

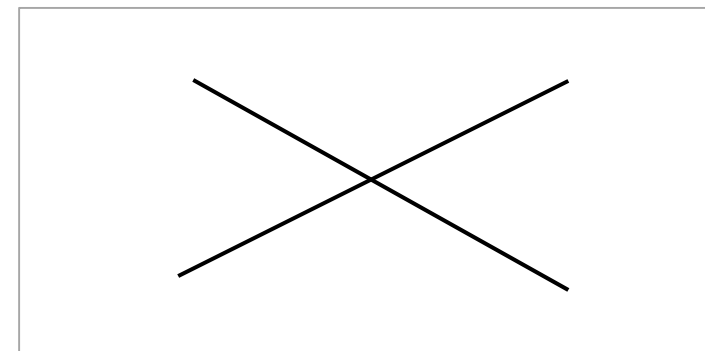
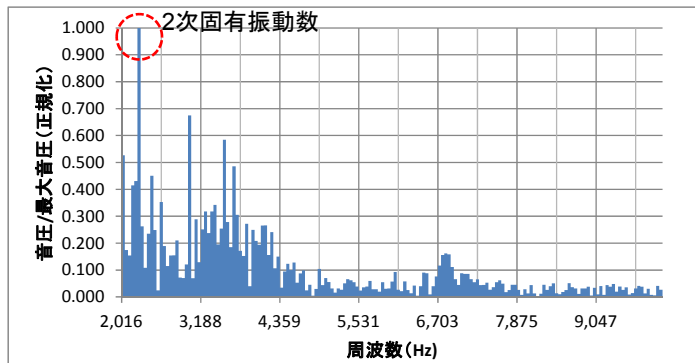
充填率  
100%



充填率  
57%



充填不良  
(粘土充填)



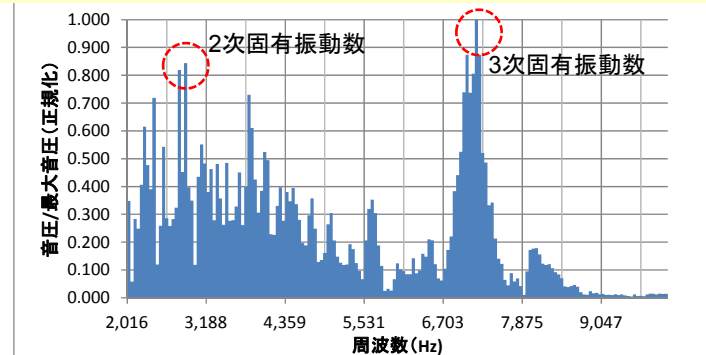
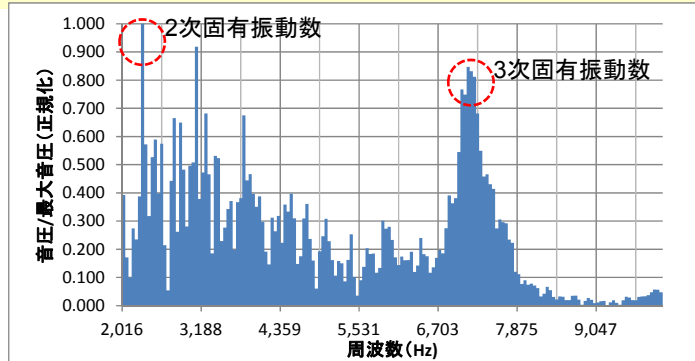
# 5. 接着系あと施工アンカーボルトの音響試験【室内試験】

## 5-2 一次固有周期以外の比較（軸方向：締付トルク有無別）

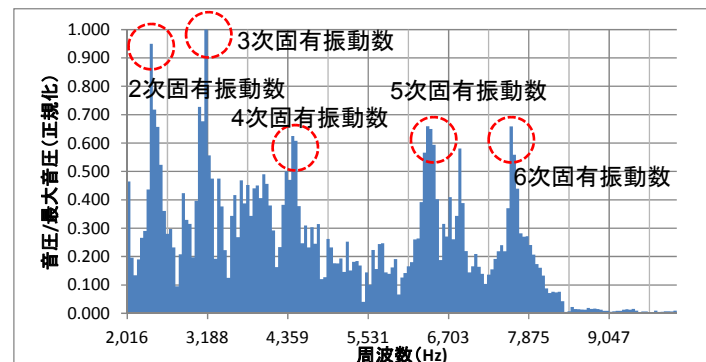
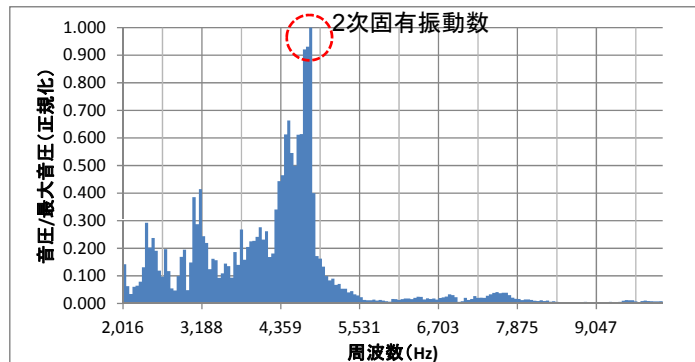
締付トルクなし：充填率が高いと周波数の高い域（約7,000Hz）に固有振動がみられる。

締付160Nm：充填率が低いときも、充填率が高いときと顕著な差がない。

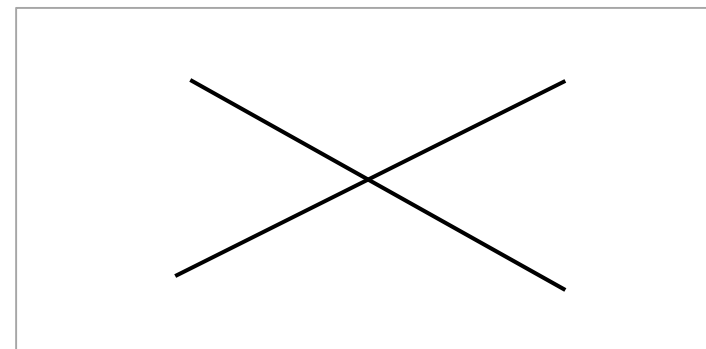
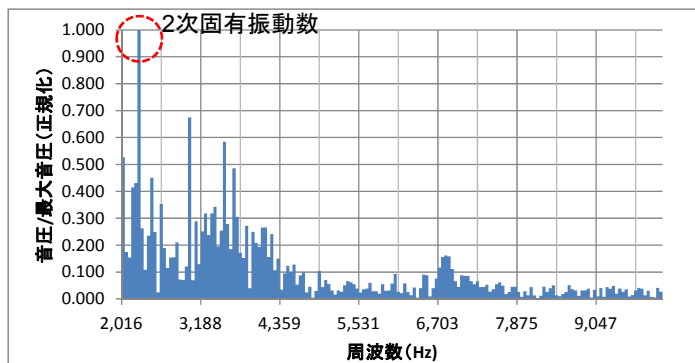
充填率  
100%



充填率  
57%



充填不良  
(粘土充填)





# 5. 接着系あと施工アンカーボルトの音響試験【室内試験】

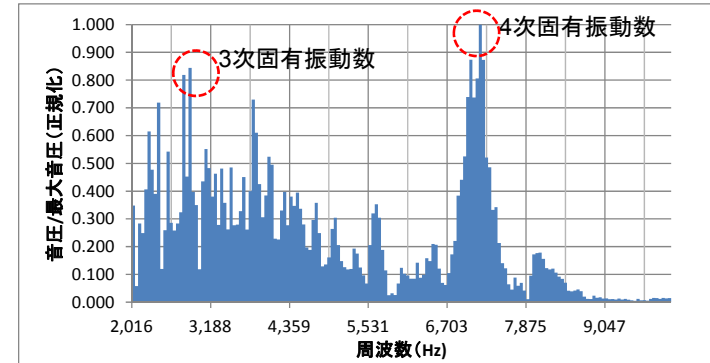
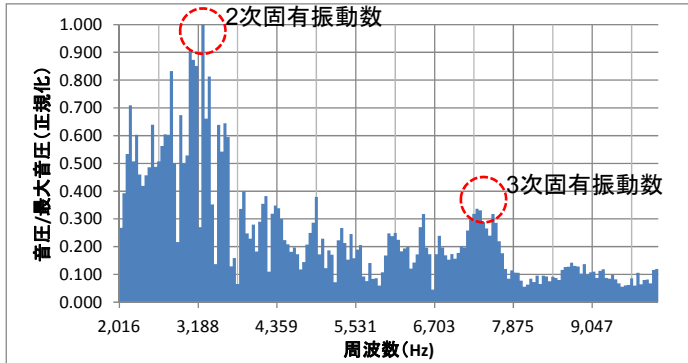
## 5-3 一次固有周期以外の比較（せん断方向）

せん断方向も軸方向と類似の傾向を有する可能性

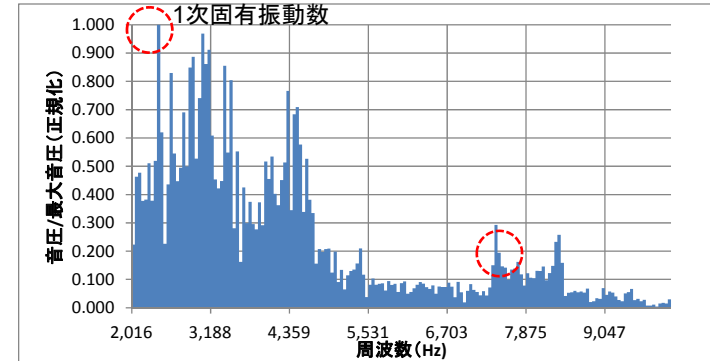
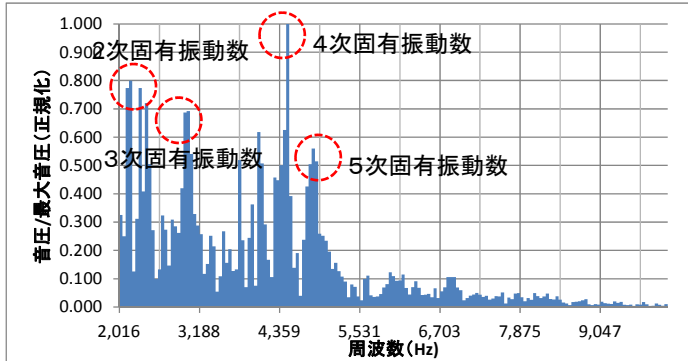
締付トルクなし

締付160Nm

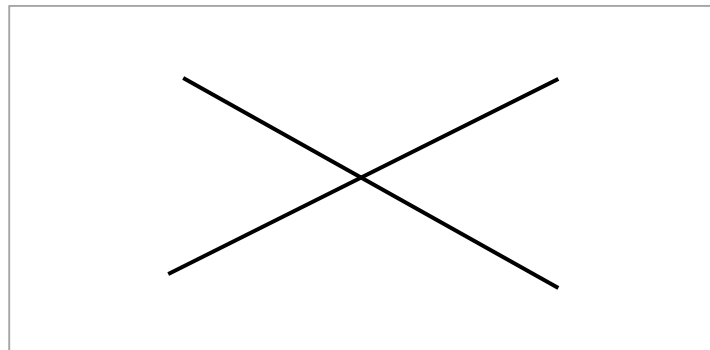
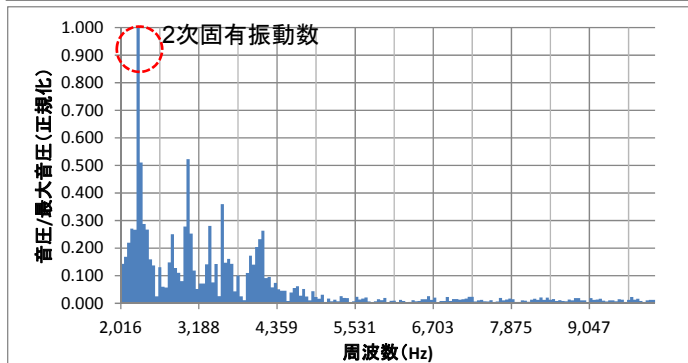
充填率  
100%



充填率  
57%



充填不良  
(粘土充填)

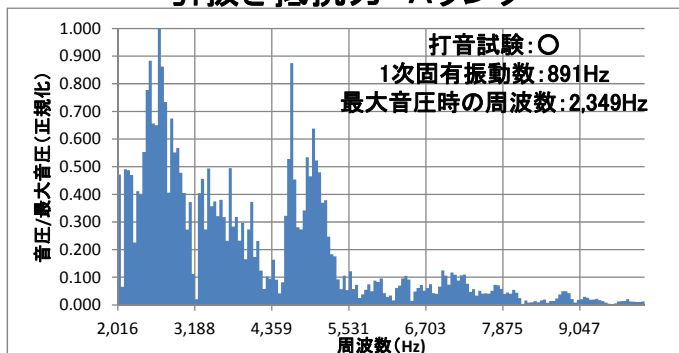


## 6. 接着系あと施工アンカーボルトの音響試験【現場試験】

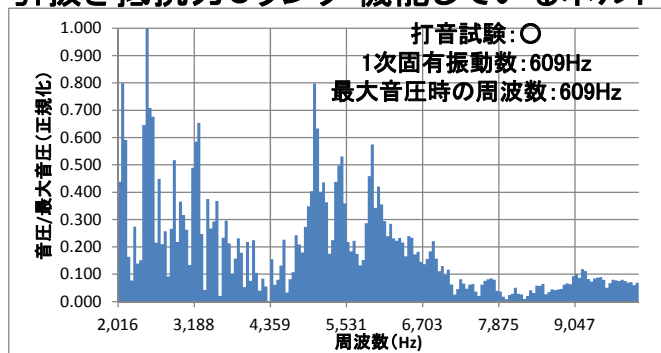
### 6-1 一次固有振動数及び2000Hz以上の帯域のスペクトル図の比較（9サンプル、軸方向打撃）

機能喪失ボルトを除けば、打音の○×や引抜き抵抗力のランクに応じた顕著な違いはみられない可能性。  
 なお、最大音圧を与える振動数は、必ずしも1次固有振動数に一致しない。

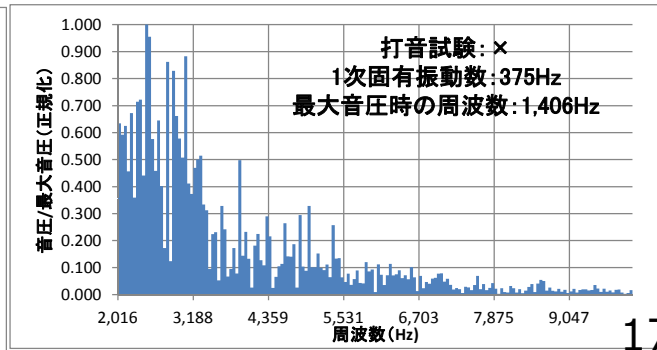
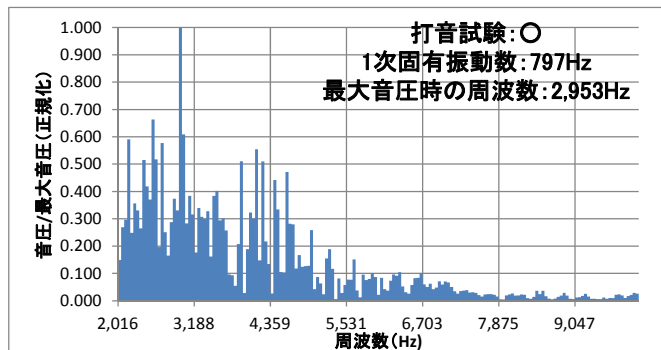
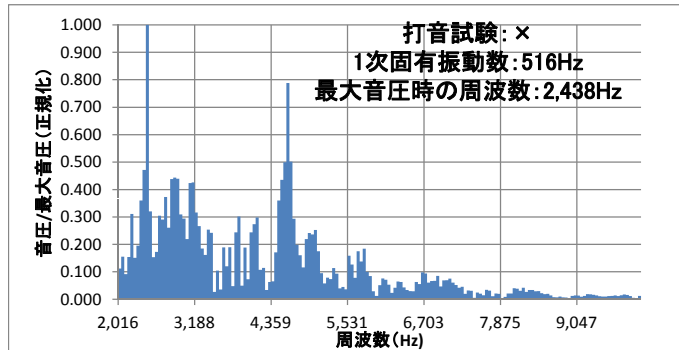
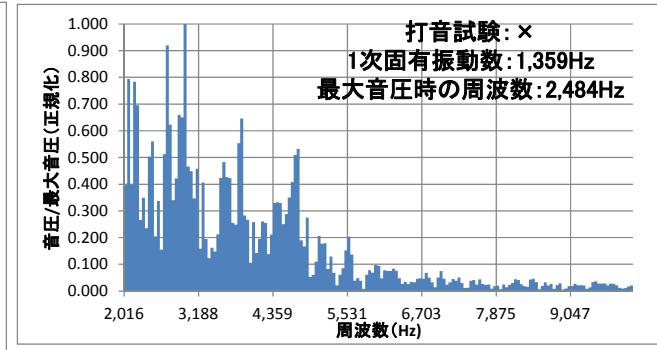
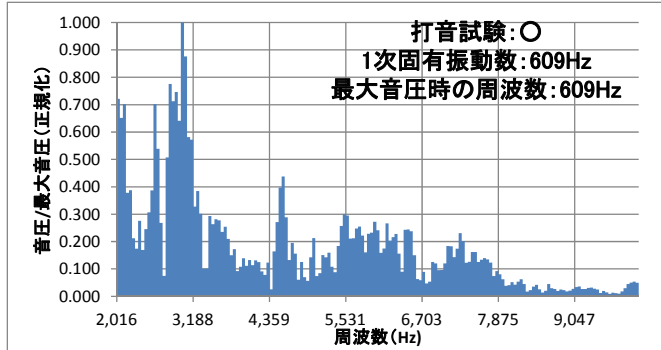
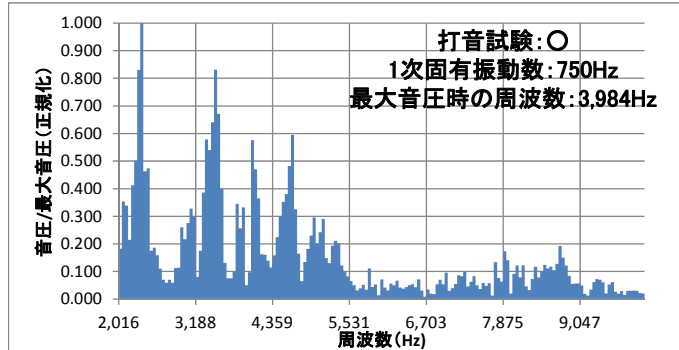
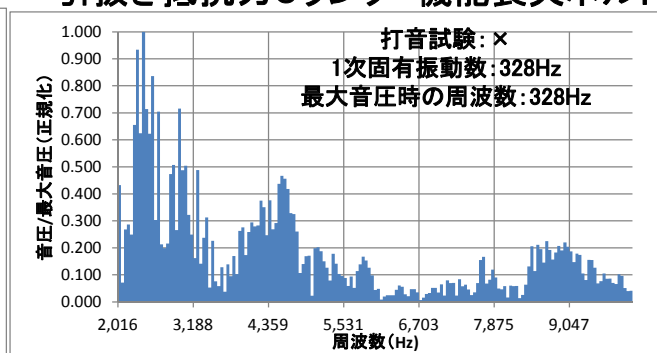
引抜き抵抗力 Aランク



引抜き抵抗力Cランク 機能しているボルト



引抜き抵抗力Cランク 機能喪失ボルト

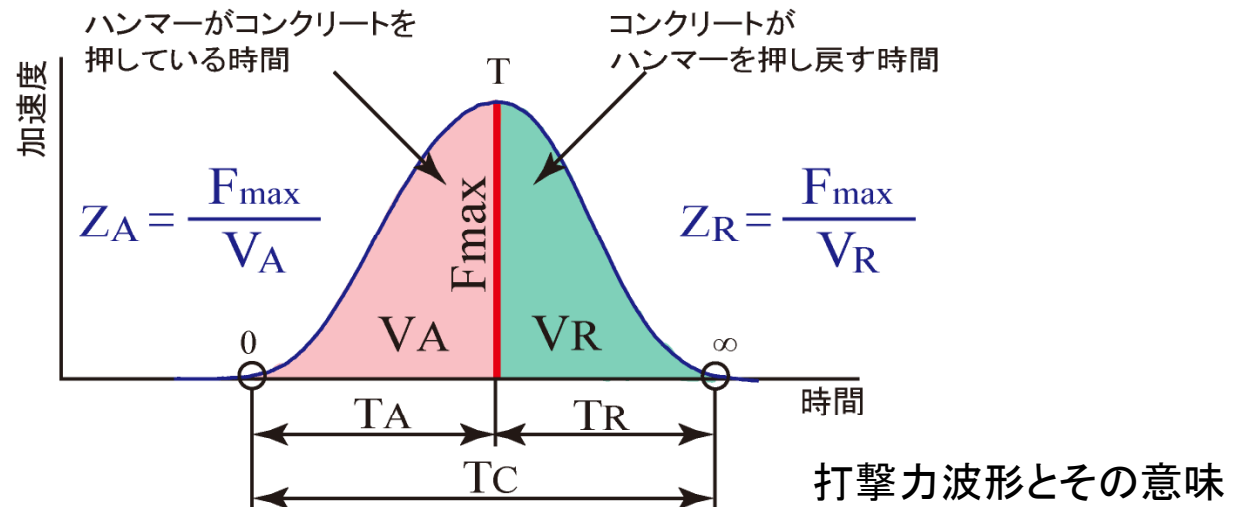


## 7. 機械式インピーダンス法試験

打撃した時の打撃力・反発力の時間波形を解析

⇒ **コンクリート強度の推定や表面近傍の浮き・剥離の存在を判定するために開発された装置**

⇒ 製品の仕様上、金属への打撃は装置の適用範囲外とされており、ここでの試験が本装置自体の精度や能力を示すものではない。



機械インピーダンス  $Z = F_{\max}/V$  : 動的荷重を作用させた被載荷物がどの程度の速度で運動するかを示した値。

ここで、 $F_{\max}$  : 最大打撃力、 $V$  : 始点から終点までの加速度の数値積分

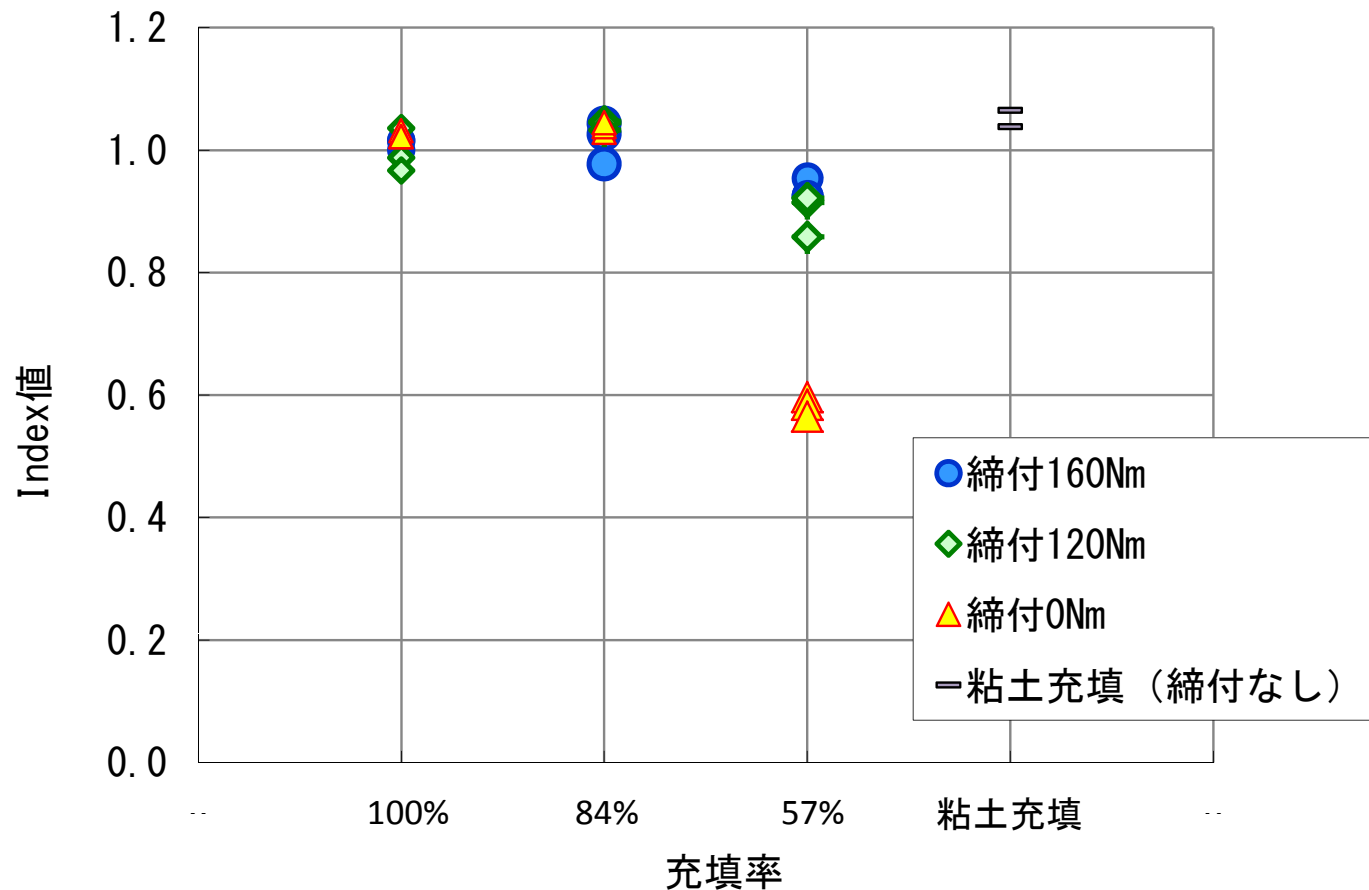
Index値  $\text{Index} = Z_A/Z_R$

ピークの前半と後半の機械インピーダンスの比

## 7. 機械式インピーダンス法試験【室内試験】

充填率とIndex値（締付トルク有無別）

- 軸力が導入されていない場合には充填量の違いにより計測値に差が見られ、充填率が悪い場合にはINDEX値が低くなる傾向がみられる。
- ボルトへの導入軸力が大きくなると、充填量の違いに応じた計測値の差が無くなる。



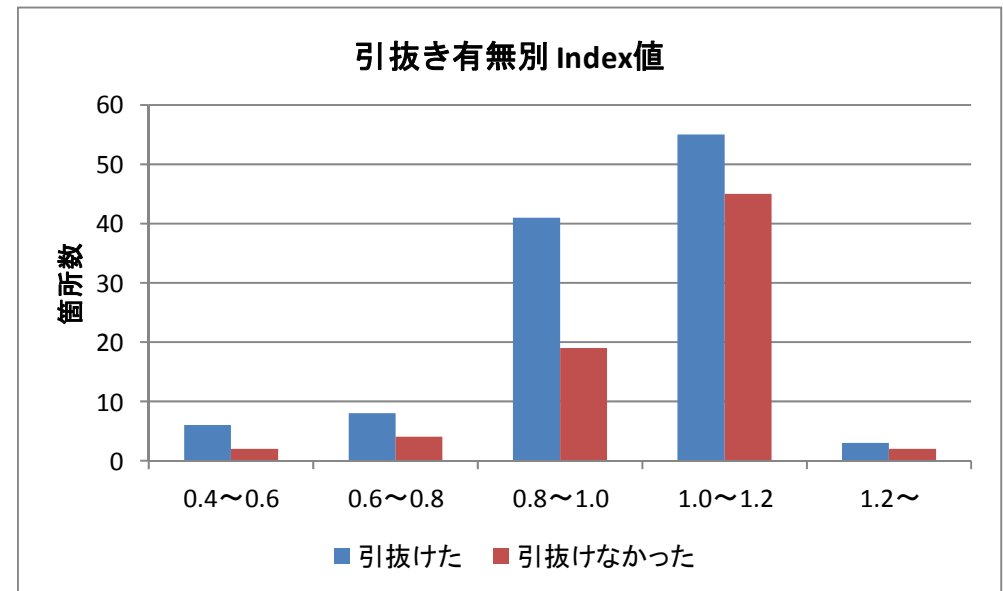
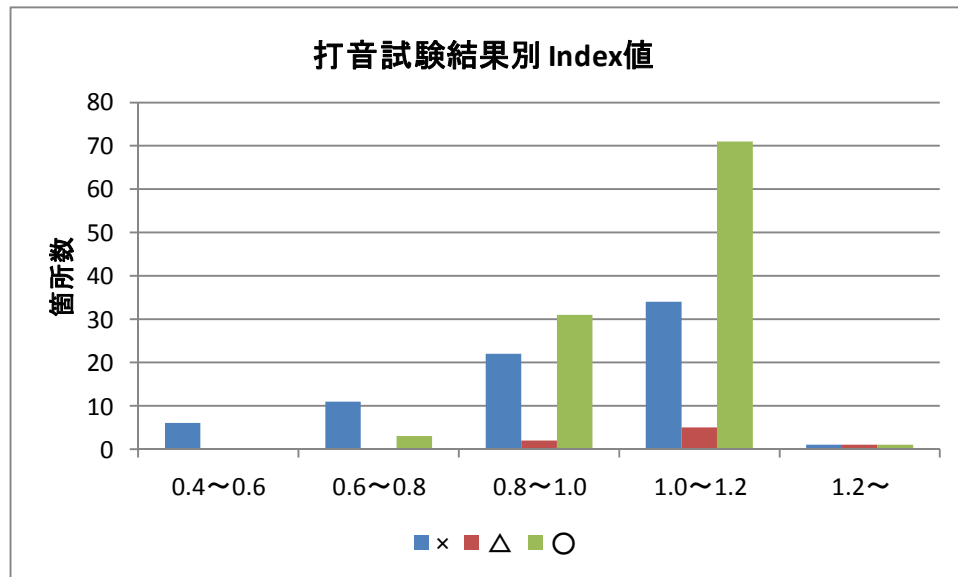
## 8. 機械式インピーダンス法試験【現場試験】

(現場試験での打音試験および機械式インピーダンス法結果による関係性)

コンクリートの浮き・剥離の検出は、Index 値1.0以上・以下を指標

打音試験が×の場合、Index値が小さくなる傾向が見られる。

引き抜けたものと引き抜けなかったものの比較では、ヒストグラムの分布性状は変わらない。



- ・散布図のサンプル数: 音響試験が実施されたうち、引き抜けたことにより引抜き抵抗力が測定された113本
- ・打音試験結果: 3名の試験員の総合評価
- ・Index値: 機械インピーダンス法において、ハンマーが対象を動的に押している時間ZAと対象がハンマーを押している時間ZRの比(ZA/ZR: 反発係数)の逆数を取り、対象表面の劣化指標としているもの

## 9. まとめ

- ◆ 笹子トンネル上り線の接着系アンカーボルトへの打音試験では、以下の知見が得られた。
  - ・ 近接目視・打音で、引抜き抵抗力をほぼ喪失したボルトは確実に把握できる。
  - ・ 引抜き抵抗力の強弱の把握には限界がある。
  - ・ 笹子トンネルの場合、アンカーボルトにCT鋼がつり下げられており、複数の音源の存在が考えられ、打音試験によるアンカーボルトの健全性判定を困難にした可能性も見られた。
- ◆ センサーを用いた試験結果も併せて考察すると、打撃時の音や反発力は、アンカーボルトの付着状態だけでなく、ボルトに作用する軸力の大小等によっても異なってくる。