

## 第4章 非破壊検査技術の基礎的調査（性能評価手法の予備検討）

### 4.1 非破壊検査技術の基礎的調査の概要

#### 4.1.1 概要

あと施工アンカー定着部の不具合について非破壊検査技術の基礎的な性能を把握するために、国総研が準備した模擬供試体①に対して共同研究者が非破壊検査を実施する。国総研は共同研究者より提供を受けた検査結果を整理することで各検査技術の基礎的な性能（あと施工アンカーの検知可能な不具合の種類、検査精度、作業性能）について把握する。そして、整理したデータから非破壊検査技術の性能評価手法に求められる項目や条件、課題について整理する。

#### 4.1.2 検証対象とした非破壊検査技術

非破壊検査技術の基礎的調査では8技術について非破壊検査の検証を行った（表-4.1.1）。検査は共同研究者がそれぞれ行った。

表-4.1.1 検証対象技術一覧

検証対象技術	合計
技術 A、技術 B、技術 C、技術 D、技術 F、技術 G、技術 H、技術 I	8 技術

#### 4.1.3 検査に用いる供試体

評価手法の予備検討では、健全なアンカーの図面や健全なアンカーに対するキャリブレーション試験の実施等の予備情報を与えない状態で検査を実施する。模擬供試体①は実構造物での検査を想定して、あと施工アンカーが下向き、横向き、上向きに設置されており、不具合についても施工向きによって生じる接着剤の偏り等を模擬している。検査者には模擬供試体①中に模擬されている不具合の種類や程度、本数は伏せた状態で検査を実施する。

性能評価手法の予備検討では、あと施工アンカーの施工向きや作業条件（検査体勢や検査空間等）が検知性能に与える影響や非破壊検査技術の基本的な作業性等を確認することで、それらを客観的に評価するために必要な項目や条件等について把握する。

#### 4.1.4 検査条件

##### ①評価項目と着目点

評価項目と着目点は表-4.1.2 のとおりである。

表-4.1.2 評価項目と着目点

評価項目	着目点
①検知可能なあと施工アンカー一定着部の内部不具合等	検知可能なあと施工アンカー一定着部の内部不具合等について把握する。
②あと施工アンカー一定着部の内部不具合等の判定方法	あと施工アンカー一定着部の内部不具合の判定方法（定量的な評価、定性的な評価）について把握する。
③あと施工アンカー一定着部の内部不具合等の検査精度（正答率又は計測誤差）	あと施工アンカー一定着部の不具合等について検査精度（正答率又は計測誤差）について把握する。
④各検査技術の作業性能	作業性（準備・撤去を含む検査時間、キャリブレーションの有無）について把握する。
⑤検査要領書	確認項目や検査調書の様式等に不備がないか検査結果と併せて整理した。

## ②確認項目

表-4.1.2 で整理した評価項目が把握できるように表-4.1.3 のとおり確認項目を設定して、実務を想定した検査要領書を作成し、この検査要領書に従って各共同研究者が非破壊検査を実施した。

表-4.1.3 検査要領書の確認項目

確認項目	内容
1) あと施工アンカーボルト及びアンカー削孔の形状	①あと施工アンカーボルト長さ ②あと施工アンカーボルトの埋め込み長 ③あと施工アンカーボルト削孔径 ④あと施工アンカーボルト削孔長さ ⑤あと施工アンカー内部の樹脂充填状況（健全or否、充填率）
2) あと施工アンカーボルトの健全性	①あと施工アンカーボルトの耐力（引張強度） ②あと施工アンカーボルトの健全性（健全or否） ※否健全と判断した場合、「ボルト本体」、「定着部」、「アンカー削孔」等に生じている変状内容、範囲等について自由に記入して下さい。また、判断の根拠となる計測結果の数値的な裏付け根拠をつけて分かりやすく明記して下さい。
3) 検査条件	①検査の条件を詳細に明記（様式自由） ②測定ごとに検査条件が異なる場合は、測定ごとに条件を記載
4) 検査精度の評価	①本検査の推定精度についての自社評価と根拠について記載 ②機器性能等の性能により測定が不可能な場合、その理由
5) 使用機器及び作業性	①使用機器の緒元 ②使用機器の写真 ③作業性 ④計測結果のとりまとめに要した時間

## 4.2 非破壊検査技術の基礎的調査の結果と課題

### 4.2.1 用語の定義

結果の整理で使用する用語を以下のように定義する。

- ・「健全」とは、ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等の変状がない状態とした。
- ・「否」または「健全外」とは、ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状が生じている状態とした。
- ・「正答」とは、健全なアンカーの検査結果が健全である場合、または、健全外のアンカーの検査結果が健全外で不具合の内容が一致している場合とした。
- ・「空振」とは、健全なアンカーの検査結果が健全外である場合、または、健全外のアンカーの検査結果が健全外であっても不具合の内容が一致していない場合とした。
- ・「見逃し」とは、健全外のアンカーの検査結果が健全である場合とした。
- ・「検知」とは、検査結果の判定が「正答」または「空振」である場合とした。
- ・「正答率」、「空振率」、「見逃し率」、「検知率」とは、検査技術の不具合の検知性能を表す指標として、それぞれ下式のように定義した。

正答率 = 正答数 / 検査対象のアンカー本数

空振率 = 空振数 / 検査対象のアンカー本数

見逃し率 = 見逃し数 / 検査対象のアンカー本数

検知率 = 検知数 (= 正答数 + 空振数) / 検査対象のアンカー本数

### 4.2.2 基礎的調査のための非破壊検査結果

#### ① 検知可能なあと施工アンカー定着部の不具合等

各検査技術の検知可能なあと施工アンカー定着部の不具合等を把握するために、各検査技術で検知できた項目を整理した。また、各非破壊検査技術が検知対象とする項目を検知できているか把握するために、事前に実施したアンケートによる自己申告結果との対比を行った。結果を表-4.2.1～表-4.2.2に示す。

- ・表-4.2.1 のとおり、樹脂系のあと施工アンカー非破壊検査技術で検知できた項目は「あと施工アンカーボルト長さの絶対値」、「あと施工アンカーボルトの埋め込み長の絶対値」、「あと施工アンカー樹脂充填状況（健全 or 否、充填率）」、「あと施工アンカーボルト健全性（健全 or 否）」である。「あと施工アンカーボルト引張耐力の絶対値」は技術 F で結果を得られたが、報告結果を評価できる正解値がないため評価していない。また、表-4.2.2 のとおり金属系のあと施工アンカーにおいては「あと施工アンカーボルト長さの絶対値」、「あと施工アンカーボルトの埋め込み長の絶対値」、「あと施工アンカースリーブ打込状況（健全 or 否）」、「あと施工アンカーボルト健全性（健全 or 否）」である。
- ・他の項目に比べて検知できた検査技術が多かった項目は、樹脂系では「あと施工アンカー樹脂充填状況（健全 or 否）」、「あと施工アンカーボルト健全性（健全 or 否）」、金属系では「あと施工アンカースリーブ打込状況（健全 or 否）」、「あと施工アンカーボルト健全性（健全 or 否）」である。

- ・樹脂系及び金属系ともに「あと施工アンカー削孔径の絶対値」と「あと施工アンカー削孔長さの絶対値」、金属系では「あと施工アンカースリーブ打込み状況（打込率）」はいずれの検査技術においても検知できていない。
- ・自己申告に対する検査結果に着目すると、技術 F を除いた場合、あと施工アンカーボルト引張耐力については樹脂系と金属系ともに申告通り検知できた検査技術はない。
- ・樹脂系では「あと施工アンカー樹脂充填状況（充填率）」、金属系では「あと施工アンカースリーブ打込状況（健全 or 否）」において自己申告通り検知できた検査技術が少なかったが、その他はほぼ申告通りの検知できている。

表-4.2.1 検知可能なあと施工アンカーの不具合等の整理（樹脂系）

検査技術 検査項目		定着 方法	技術A		技術B		技術C		技術D		技術F		技術G		技術H		技術I		
			自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	
①	あと施工アンカーボルト長さの絶対値	樹脂系			○	○												○	
②	あと施工アンカーボルト埋め込み長の絶対値				○	○													○
③	あと施工アンカー削孔径の絶対値																		
④	あと施工アンカー削孔長さの絶対値																		
⑤-1	あと施工アンカー樹脂充填状況		健全or否	○	○			○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
⑤-2			充填率							○	×		○	○	○	×	○	○	
⑥	あと施工アンカーボルト引張耐力の絶対値										○	○*						○	×
⑦	あと施工アンカーボルト健全性(健全or否)			○	×	○	×	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○

※報告結果を評価できる正解値が無いため評価できていない。

○	： 検知可能
×	： 検知不可
—	： 未計測
空欄	： 検査対象外

表-4.2.2 検知可能なあと施工アンカーの不具合等の整理（金属系）

検査技術 検査項目		定着 方法	技術A		技術B		技術C		技術D		技術F		技術G		技術H		技術I		
			自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	自己申告	検査結果	
①	あと施工アンカーボルト長さの絶対値	金属系			○	○												○	
②	あと施工アンカーボルト埋め込み長の絶対値				○	○													○
③	あと施工アンカー削孔径の絶対値																		
④	あと施工アンカー削孔長さの絶対値																		
⑤-1	あと施工アンカースリーブ打込状況		健全or否					○	○	○	○			○	×	○	×	○	×
⑤-2			打込率																
⑥	あと施工アンカーボルト引張耐力の絶対値										○	○*						○	×
⑦	あと施工アンカーボルト健全性(健全or否)			○	×	○	×	○	○	○	○		○	○					○

※報告結果を評価できる正解値が無いため評価できていない。

○	： 検知可能
×	： 検知不可
—	： 未計測
空欄	： 検査対象外

## ②あと施工アンカー定着部の内部不具合等の判定方法

### (1)検知した不具合等の判定方法

各検査技術において検査項目の判定方法は異なり、「定量的」と「定性的」に大きく区分される。「定性的」評価の場合、健全なアンカー若しくは検査した周辺のボルトとの相対比較により健全 or 否を判断する。「定性的」判定は、不具合が少ないと考えられる新規施工のあと施工アンカーには有効と考えられるが、経年劣化したボルトの場合、比較基準となるボルトに不具合が生じていないかの判断が難しいと考えられる。このため、今後の点検等で非破壊検査が使用できるか検証する目的で各検査技術の判定方法について整理した。各検査技術が検知できた検査項目の判定方法について定量的に判定できる検査技術と定性的に判定できる検査技術に分類し、表-4.2.3～表-4.2.4 のとおり整理した。

- ・ 定量的な判定ができた検査技術は技術 B、技術 G、技術 I の 3 技術である。
- ・ 定量的な判定ができた検査項目は「あと施工アンカーボルト長さの絶対値」、「あと施工アンカーボルトの埋め込み長の絶対値」、「あと施工アンカー樹脂充填状況（充填率）」である。
- ・ 各検査技術が定量的な判定を可能な不具合等の内容は下記のとおりである。

技術 B、技術 I

「あと施工アンカーボルト長さの絶対値」

「あと施工アンカーボルトの埋め込み長の絶対値」

技術 G、技術 I

「あと施工アンカー樹脂充填状況（充填率）」

表-4.2.3 検知した内部不具合等の判定方法の整理（樹脂系）

検査技術 検査項目		定着 方法	技術A		技術B		技術C		技術D		技術F		技術G		技術H		技術I			
			定性的	定量的	定性的	定量的	定性的	定量的	定性的	定量的	定性的	定量的	定性的	定量的	定性的	定量的	定性的	定量的		
①	あと施工アンカーボルト長さの絶対値	樹脂系				○													○	
②	あと施工アンカーボルト埋め込み長の絶対値					○														○
③	あと施工アンカー削孔径の絶対値																			
④	あと施工アンカー削孔長さの絶対値																			
⑤-1	あと施工アンカー健全or否		○				○		○		○		○		○		○		○	
⑤-2	あと施工アンカー樹脂充填状況 充填率												○							○
⑥	あと施工アンカーボルト引張耐力の絶対値																			
⑦	あと施工アンカーボルト健全性(健全or否)						○		○		○		○		○		○		○	

○：判定可能  
 -：未計測  
 空欄：検査対象外

表-4.2.4 検知した内部不具合等の判定方法の整理（金属系）

検査技術 検査項目		定着方法	技術A		技術B		技術C		技術D		技術F		技術G		技術H		技術I		
			定性的	定量的	定性的	定量的	定性的	定量的	定性的	定量的	定性的	定量的	定性的	定量的	定性的	定量的	定性的	定量的	
①	あと施工アンカーボルト長さの絶対値	金属系				○												○	
②	あと施工アンカーボルト埋め込み長の絶対値					○													○
③	あと施工アンカー削孔径の絶対値																		
④	あと施工アンカー削孔長さの絶対値																		
⑤-1	あと施工アンカー健全or否						○		○										
⑤-2	あと施工アンカースリップ打込状況		打込率																
⑥	あと施工アンカーボルト引張耐力の絶対値																		
⑦	あと施工アンカーボルト健全性(健全or否)						○		○		○		○						○

○：判定可能  
 -：未計測  
 空欄：検査対象外

(2)定量的な判定が可能な検査技術の分解能の把握

判定方法において不具合等の定量値の把握は補修の必要性の判断や補修の規模を決定するうえで重要である。そこで、定量的な判定が可能な検査技術の分解能について整理した。結果を表-4.2.5～表-4.2.6に示す。

・定量的な判定が可能な検査技術の分解能は、「あと施工アンカーボルト長さの絶対値」、「あと施工アンカーボルトの埋め込み長の絶対値」については樹脂系及び金属系ともに技術Bで1mm、技術Iで5mmである。接着系の「あと施工アンカー樹脂充填状況（充填率）」については技術Gで25%、技術Iで1%単位である。

表-4.2.5 定量的な判定が可能な検査技術の分解能（樹脂系）

検査技術 検査項目		定着方法	技術B	技術G	技術I
①	あと施工アンカーボルト長さの絶対値	樹脂系	1mm		5mm
②	あと施工アンカーボルト埋め込み長の絶対値		1mm		5mm
⑤-2	あと施工アンカー樹脂充填状況		充填率		25%

表-4.2.6 定量的な判定が可能な検査技術の分解能（金属系）

検査技術 検査項目		定着方法	技術B	技術G	技術I
①	あと施工アンカーボルト長さの絶対値	金属系	1mm		5mm
②	あと施工アンカーボルト埋め込み長の絶対値		1mm		5mm

### ③あと施工アンカー定着部の内部不具合等の検査精度（正答率又は計測誤差）

各検査技術において検査対象（アンカーボルトのタイプ、径）、不具合の状態（樹脂の充填率）、検査条件（向き）等が検査精度へ与える影響について把握する目的で検査精度（正答率又は計測誤差）について表-4.2.7～表-4.2.20、図-4.2.1～図-4.2.18 のとおり整理した。なお、検査精度については定量的に判定できる検査技術については計測誤差により整理し、定性的に判定する検査技術については各内部不具合等に対する正答率で整理した。

#### (1)あと施工アンカーボルト長さの絶対値【定量的判定】

##### 1)樹脂系

・表-4.2.7 のとおり、技術 B については、誤差のばらつきが少なく、全体の約 70%が 1～10mm の誤差範囲である。技術 I についても誤差のばらつきは少ないが、全体の約 60%が 31～40mm の誤差範囲である。計測誤差は技術 B、技術 I ともに＋方向に偏っている。

##### 2)金属系

・表-4.2.8 のとおり、樹脂系と同じ傾向を示し、技術 B については、誤差のばらつきが少なく、全て 1～10mm の小さい誤差範囲である。技術 I については、誤差のばらつきが大きく、全てが 41～50mm 又は 51mm 以上の誤差範囲である。

計測誤差は樹脂系と同様の傾向を示し、技術 B、技術 I ともに＋方向に偏っている。

#### (2)あと施工アンカーボルトの埋め込み長の絶対値【定量的判定】

##### 1)樹脂系

・表-4.2.9 のとおりで技術 B については、誤差のばらつきが少なく、全体の約 80%が 1～20mm の誤差範囲である。技術 I についても誤差のばらつきは少ないが、全体の約 90%が 31～40mm 又は 51mm 以上の誤差範囲である。計測誤差は技術 B、技術 I ともにボルト長さと同じ傾向で＋方向（長い方向）に偏っている。

##### 2)金属系

・表-4.2.10 のとおりで樹脂系と同じ傾向を示し、技術 B については、誤差のばらつきが少なく、全体の 80%が 1～10mm の誤差範囲にあり、全てが-10～10mm の誤差範囲である。技術 I については、誤差のばらつきが大きく、全体の約 90%が 41～50mm 又は 51mm 以上の誤差範囲である。計測誤差は技術 B、技術 I ともにボルト長さと同じ傾向で＋方向に偏っている。

#### (3)あと施工アンカーの削孔径の絶対値

・検査対象としている検査技術はない。

#### (4)あと施工アンカーの削孔長さの絶対値

・検査対象としている検査技術はない。

(5)あと施工アンカーの樹脂充填状況（健全 or 否）【定性的判定】

・表-4.2.11～表-4.2.12 のとおり、樹脂充填状況（健全 or 否）の正答率は「充填不足なし」の場合は各検査技術で約 60～100%と高い正答率である。「充填不足あり」の場合は約 10%～70%の正答率であり、検査技術により精度が異なった。

・正答率の傾向を「ボルト径」と「向き」で整理した結果を図-4.2.5～図-4.2.6 に示す。「充填不足なし」、「充填不足あり」とともに「ボルト径」が小さくなると正答率が低い傾向である。「向き」については「充填不足なし」の場合、「上向き」の正答率が低い傾向である。「充填不足あり」の場合、いずれの検査技術も「下向き」は比較的正答率が高い傾向にあるが、「上向き」や「横向き」については「下向き」に比べると正答率が低い傾向である。

(6)あと施工アンカースリーブ打込状況（健全 or 否）【定性的判定】

・表-4.2.13～表-4.2.14 のとおり、スリーブ打込み状況（健全 or 否）を検知対象とする検査技術は 2 技術だけである。正答率は「打込み不足なし」の場合で 60%である。「打込み不足あり」のアンカーについては約 40%で「打込み不足なし」の場合よりも低い正答率である。

・正答率の傾向を「ボルト径」と「向き」で整理した結果を図-4.2.7～図-4.2.8 に示す。「打込み不足なし」の場合は「ボルト径」による正答率の差は大きくないが、「打込み不足あり」の場合は「ボルト径」が小さいほうが正答率は低く、樹脂系の場合と同様である。「向き」については、「打込み不足なし」、「打込み不足あり」とともに明確な傾向は確認できない。

(7)あと施工アンカーの樹脂充填状況（充填率）【定量的判定】

・表-4.2.15、図-4.2.9 のとおり、計測誤差は技術 G、技術 I とともに概ね±25%で、ばらつきも少ない。

・表-4.2.16、図-4.2.10 に計測全数の計測誤差の相対度数を示す。計測誤差は±30%内で 0.92 となっておりばらつきは少ない傾向である。

・図-4.2.11～図-4.2.12 に各検査技術で整理した樹脂充填率と計測誤差の割合を示す。技術 G、技術 I とともに樹脂の充填率が小さいものほど誤差が大きくなる傾向である。

・図-4.2.13～図-4.2.14 に樹脂充填率ごとの検知割合を示す。技術 G については空振があるものが見逃しが少ない結果である。技術 I については充填率が低くなると見逃しが多くなる結果である。

(8)あと施工アンカースリーブ打込状況（打込率）【定量的判定】

・検査対象としている検査技術はない。

(9)あと施工アンカーボルト引張耐力

・引張耐力の正解値がないため評価しない。



(10)あと施工アンカーボルト健全性（健全 or 否）【定性的判定】

1)樹脂系

・表-4.2.17 のとおり「健全アンカー」については技術 D と技術 F の正答率が 100%である。他の検査技術については、約 40%～60%である。

・表-4.2.18 のとおり「健全外アンカー」の「充填不足」については、技術 D、技術 G、技術 H で約 80%～100%と高い検知率である。「健全外アンカー」の「その他不具合」の検知率は約 30%～80%である。「充填不足」では「空振」している検査技術はないが、「その他不具合」ではほとんどの検査技術で正答率よりも空振率の方が高い結果である。

2)金属系

・表-4.2.19 のとおり「健全アンカー」については技術 F の正答率が 100%である。他の検査技術の正答率は、約 20%～50%で低い結果である。

・表-4.2.20 のとおり「健全外アンカー」の「打込不足」については、技術 D、技術 G、技術 H で約 70%～80%と高い検知率である。「健全外アンカー」の「その他不具合」については技術 D、技術 G で約 70%～100%の検知率である。「打込不足」では正答率よりも空振率の方が小さい傾向であるが、「その他不具合」では検査対象のアンカーボルトが少ないため明確な傾向はみられない。

表-4.2.7 あと施工アンカーボルト長さの計測誤差（樹脂系）【定量的判定】

【単位：本】

計測誤差(mm)	検査技術	技術B	技術I
~-51		3	
-50~-41			
-40~-31		2	
-30~-21			1
-20~-11			
-10~-1			5
0			
1~10		33	
11~20		8	4
21~30			
31~40		2	30
41~50			
51~			8
合計		48	48

※実際のボルト長さの絶対値に対する計測誤差

※マイナスは短く評価、プラスは長く評価

表-4.2.8 あと施工アンカーボルト長さの計測誤差（金属系）【定量的判定】

【単位：本】

計測誤差(mm)	検査技術	技術B	技術I
~-51			
-50~-41			
-40~-31			
-30~-21			
-20~-11			
-10~-1			
0			
1~10		15	
11~20			
21~30			
31~40			
41~50			4
51~			11
合計		15	15

※実際のボルト長さの絶対値に対する計測誤差

※マイナスは短く評価、プラスは長く評価

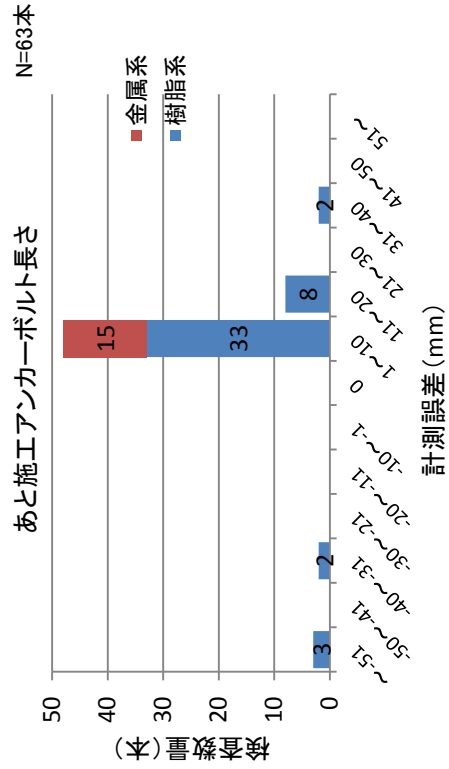


図-4.2.1 あと施工アンカーボルト長さの誤差分布 (技術B)

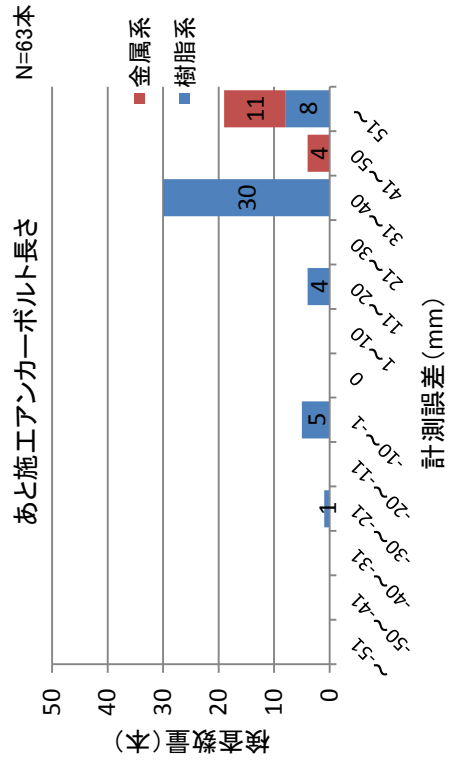


図-4.2.2 あと施工アンカーボルト長さの誤差分布 (技術I)

表-4.2.9 あと施工アンカーボルト埋め込み長の検査精度（樹脂系）【定量的判定】

【単位:本】

検査技術 計測誤差 (mm)	技術A	技術B	技術I
~-51		2	
-50~-41		2	
-40~-31		2	
-30~-21		1	5
-20~-11		0	
-10~-1		0	
1~10	29		
11~20	7		
21~30		2	30
31~40		5	13
41~50		46	
51~			48
合計			

※実際のボルト埋め込み長の絶対値に対する計測誤差

※マイナスは短く評価、プラスは長く評価

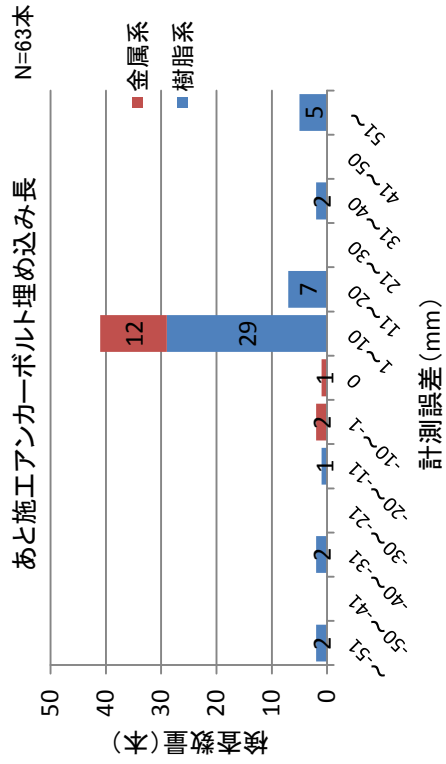


図-4.2.3 あと施工アンカーボルト埋め込み長の誤差分布 (技術B)

表-4.2.10 あと施工アンカーボルト埋め込み長の検査精度（金属系）【定量的判定】

【単位:本】

検査技術 計測誤差 (mm)	技術A	技術B	技術I
~-51			
-50~-41			
-40~-31			
-30~-21			
-20~-11		2	
-10~-1		1	
1~10	12		
11~20			
21~30			
31~40			2
41~50			13
51~			15
合計			

※実際のボルト埋め込み長の絶対値に対する計測誤差

※マイナスは短く評価、プラスは長く評価

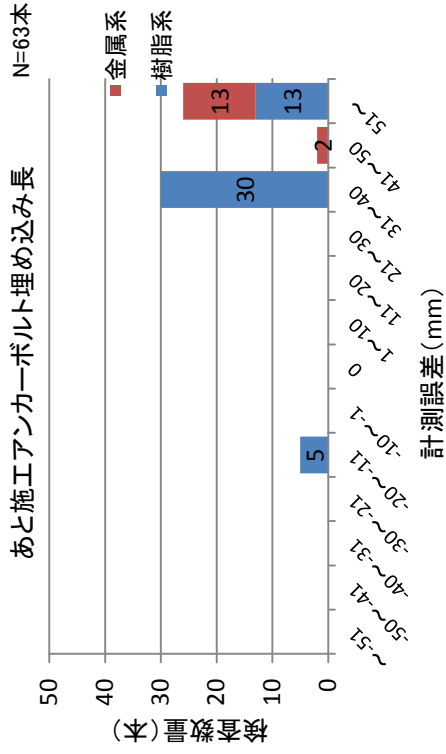


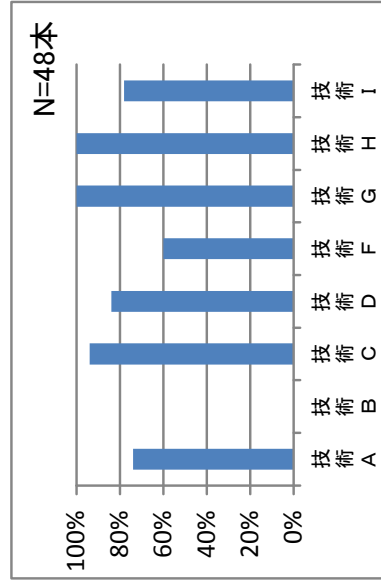
図-4.2.4 あと施工アンカーボルト埋め込み長の誤差分布 (技術I)

表-4.2.11 あと施工アンカーボルト樹脂充填状況（健全 or 否） 「充填不足なし」判定の正答率（樹脂系）【定性的判定】

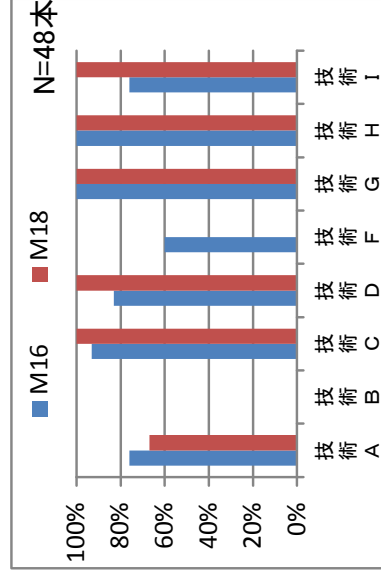
検査技術 検査条件	技術A	技術B	技術C	技術D	技術F	技術G	技術H	技術I
全体	74%	(結果なし)	94%	84%	60%	100%	100%	78%
M16	76%		93%	83%	60%	100%	100%	76%
M18	67%		100%	100%		100%	100%	100%
上向き	77%		90%	77%		100%	100%	60%
下向き	56%		100%	80%	60%	100%	100%	64%
横向き	93%		93%	93%		100%	100%	100%

アンカーの状態	検査結果	判定
健全	健全	正答
	否	空振
否 (健全外)	健全	見逃し
	否	正答
	否(内容違い)	空振

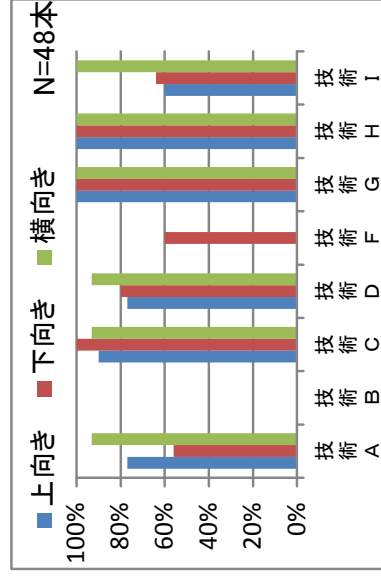
健全:ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状がない状態  
 否(健全外):ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状が生じている状態  
 正答:健全アンカーの検査結果が健全である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外で不具合の内容が一致している場合  
 空振:健全アンカーの検査結果が健全外である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外であっても不具合の内容が一致していない場合  
 見逃し:健全外アンカーの検査結果が健全である場合



(1) 全体



(2) 径による分類



(3) 向きによる分類

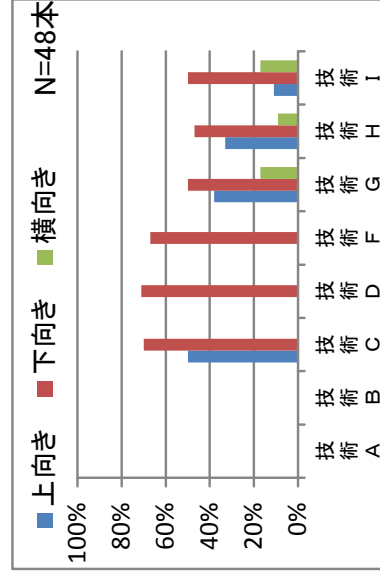
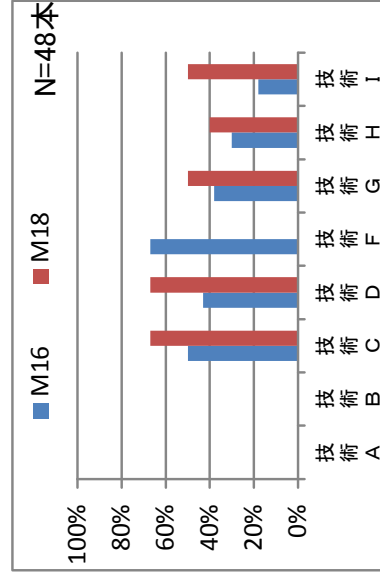
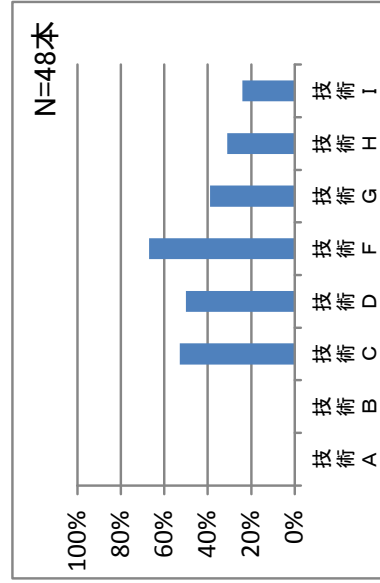
図-4.2.5 あと施工アンカーボルト樹脂充填状況（健全 or 否） 「充填不足なし」判定の正答率（樹脂系）【定性的判定】

表-4.2.12 あと施工アンカーボルト樹脂充填状況（健全 or 否） 「充填不足あり」判定の正答率（樹脂系）【定性的判定】

検査技術 検査条件	技術A	技術B	技術C	技術D	技術F	技術G	技術H	技術I
全体 (結果なし)	0%	(結果なし)	53%	50%	67%	39%	31%	24%
M16	0%		50%	43%	67%	38%	30%	18%
M18	判定数0		67%	67%	---	50%	40%	50%
上向き	0%		50%	0%	---	38%	33%	11%
下向き	0%		70%	71%	67%	50%	47%	50%
横向き	0%		0%	0%	---	17%	9%	17%

アンカーの状態	検査結果	判定
健全	健全	正答
	否	空振
否 (健全外)	健全	見逃し
	否(内容違い)	空振

健全: ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状がない状態  
 否(健全外): ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状が生じている状態  
 正答: 健全アンカーの検査結果が健全である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外で不具合の内容が一致している場合  
 空振: 健全アンカーの検査結果が健全外である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外であっても不具合の内容が一致していない場合  
 見逃し: 健全外アンカーの検査結果が健全である場合



(1) 全体

(2) 径による分類

(3) 向きによる分類

図-4.2.6 あと施工アンカーボルト樹脂充填状況（健全 or 否） 「充填不足あり」判定の正答率（樹脂系）【定性的判定】

表-4.2.13 あと施工アンカーボルトスリーブ打込み状況（健全 or 否） 「打込み不足なし」判定の正答率（金属系）【定性的判定】

検査技術 検査条件	技術A (結果なし)	技術B (結果なし)	技術C	技術D	技術E (結果なし)	技術F (結果なし)	技術G (結果なし)	技術H (結果なし)	技術I (結果なし)
全体			60%	60%					
M16			50%	63%					
M24			67%	50%					
上向き			50%	67%					
下向き			100%	60%					
横向き			50%	50%					

アンカーの状態	検査結果	判定
健全	健全	正答
否	否	空振
否(健全外)	健全	見逃し
	否	正答
	否(内容違い)	空振

健全:ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状がない状態  
 否(健全外):ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状が生じている状態  
 正答:健全アンカーの検査結果が健全である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外で不具合の内容が一致している場合  
 空振:健全アンカーの検査結果が健全外である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外で不具合の内容が一致していない場合  
 見逃し:健全外アンカーの検査結果が健全である場合

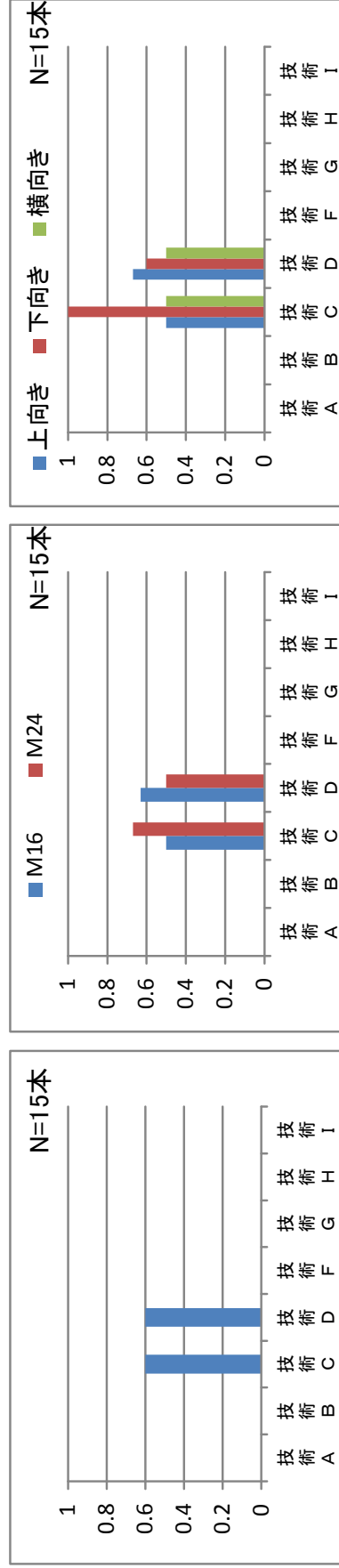


図-4.2.7 あと施工アンカーボルトスリーブ打込み状況（健全 or 否） 「打込み不足なし」判定の正答率（金属系）【定性的判定】

表-4.2.14 あと施工アンカーボルトスリーブ打込み状況（健全 or 否） 「打込み不足あり」判定の正答率（金属系）【定性的判定】

検査技術 検査条件	技術A (結果なし)	技術B (結果なし)	技術C	技術D	技術F (結果なし)	技術G (結果なし)	技術H (結果なし)	技術I (結果なし)
全体		40%	40%	40%				
M16			29%	0%				
M24			67%	50%				
上向き			33%	50%				
下向き			50%	判定数0				
横向き			33%	33%				

アンカーの状態	検査結果	判定
健全	健全	正答
	否	空振
	健全	見逃し
否 (健全外)	否	正答
	否(内容違い)	空振

健全: ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状がない状態  
 否(健全外): ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状が生じている状態  
 正答: 健全アンカーの検査結果が健全である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外で不具合の内容が一致している場合  
 空振: 健全アンカーの検査結果が健全外である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外であっても不具合の内容が一致していない場合  
 見逃し: 健全外アンカーの検査結果が健全である場合

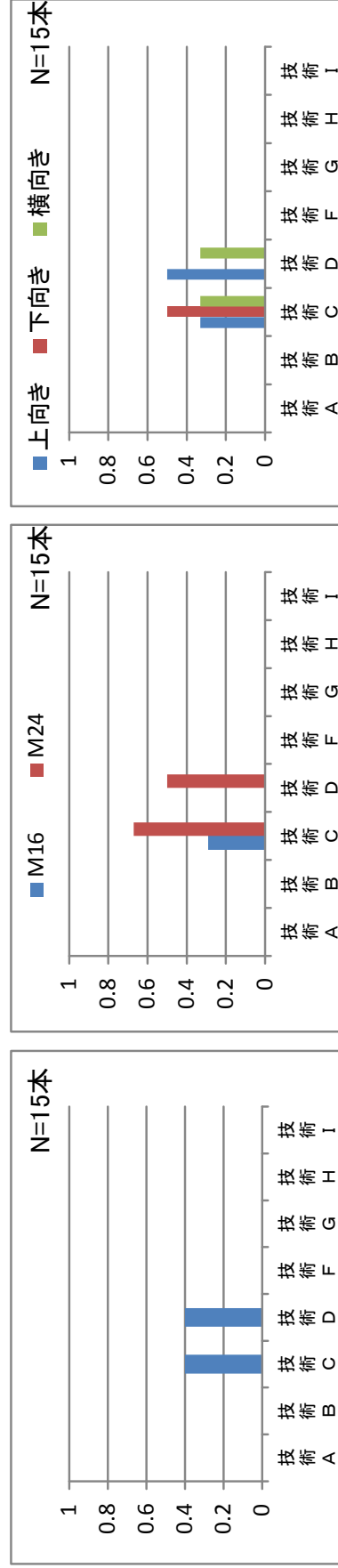


図-4.2.8 あと施工アンカーボルトスリーブ打込み状況（健全 or 否） 「打込み不足あり」判定の正答率（樹脂系）【定性的判定】

表-4.2.15 あと施工アンカーボルト樹脂充填率の検査精度（樹脂系）【定量的判定】

検査技術 計測誤差	技術G	技術I
~-50%	1	0
-50~-25%	2	1
-25~0%	16	33
0%	22	3
0~25%	7	5
25~25%	0	2
50%~	0	4
合計	48	48

※実際の樹脂充填率に対する計測誤差

表-4.2.16 樹脂充填状況（充填率）の誤差相対度数

充填率誤差(%)	相対度数	累計相対度数
-90~-81	0	0
-80~-71	0	0
-70~-61	0	0
-60~-51	0	0
-50~-41	0.02	0.02
-40~-31	0.01	0.03
-30~-21	0.22	0.25
-20~-11	0.04	0.29
-10~-1	0.25	0.54
0	0.28	0.82
1~10	0.03	0.85
11~20	0.03	0.88
21~30	0.07	0.95
31~40	0.01	0.96
41~50	0	0.96
51~60	0	0.96
61~70	0.03	0.99
71~80	0.01	1
81~90	0	1

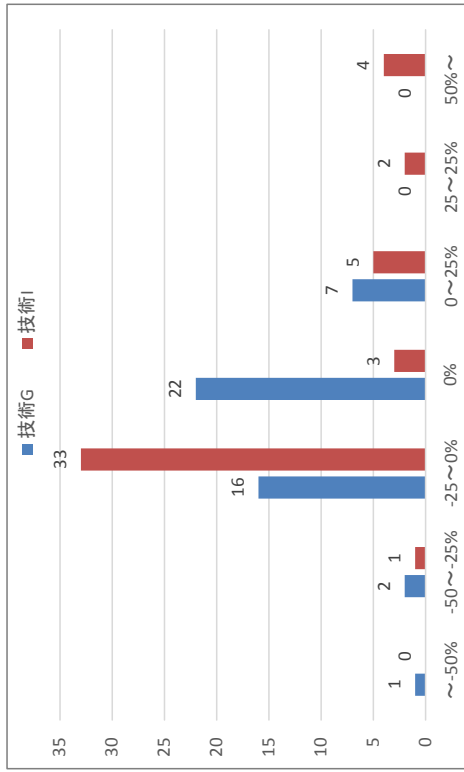


図-4.2.9 樹脂充填状況（充填率）の誤差分布（検査技術別）

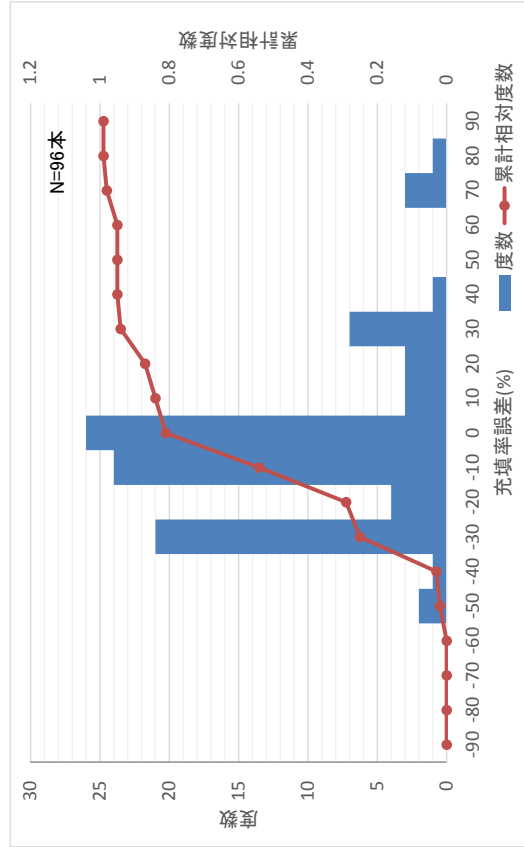


図-4.2.10 樹脂充填状況（充填率）の誤差ヒストグラム（計測全数）



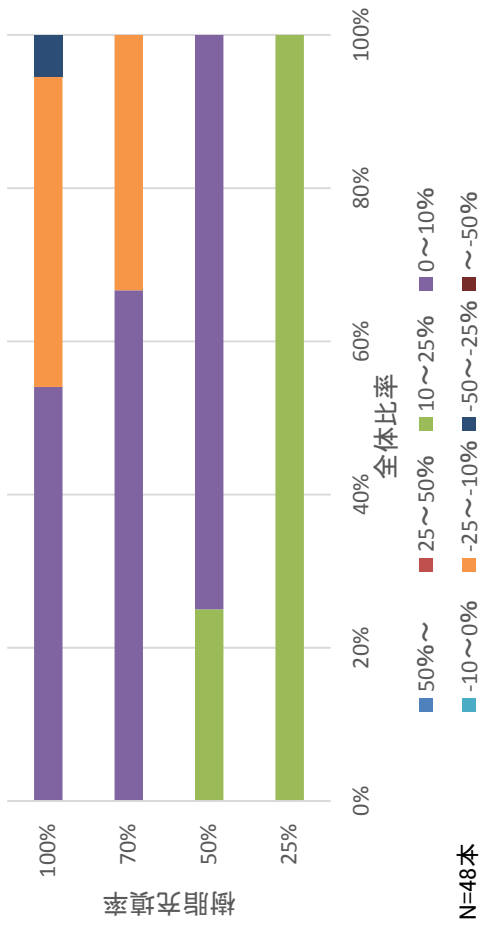


図-4.2.11 樹脂充填率と計測誤差割合 (技術G)

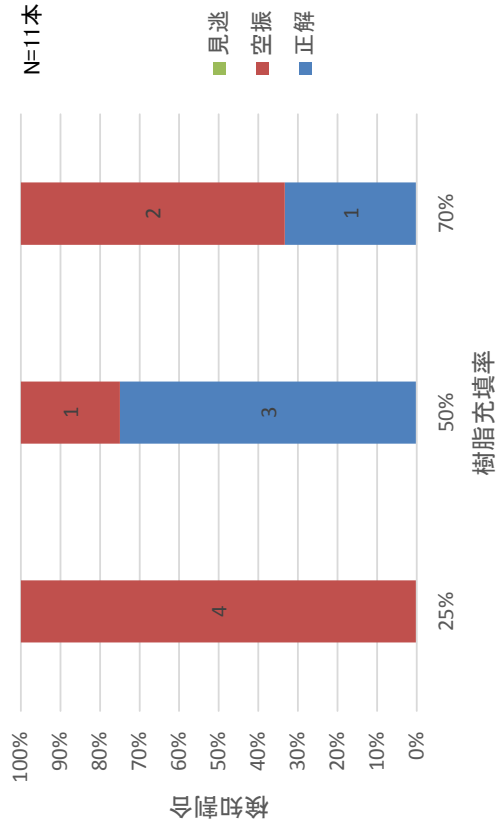


図-4.2.13 樹脂充填率の検知性能 (技術G)

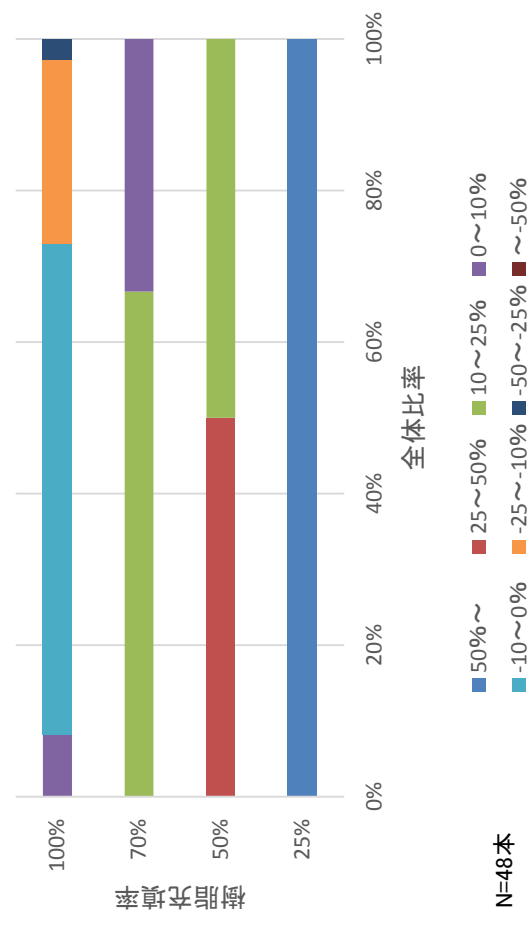


図-4.2.12 樹脂充填率と計測誤差割合 (技術I)

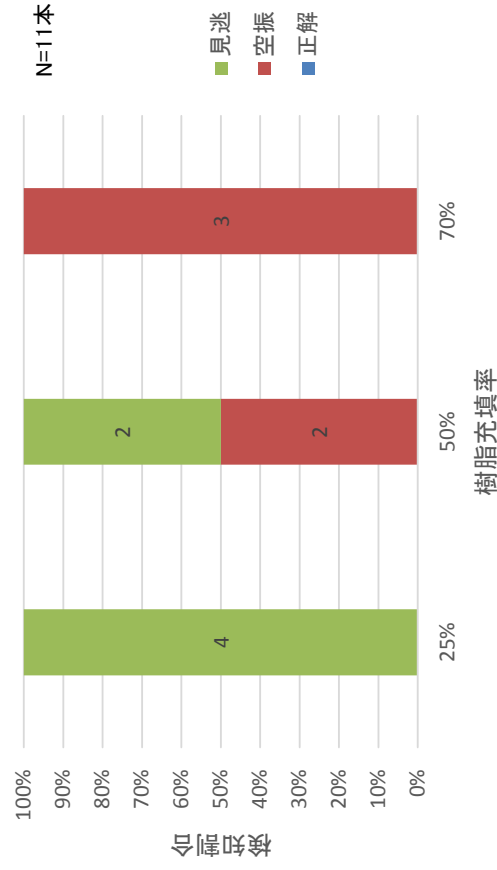


図-4.2.14 樹脂充填率の検知性能 (技術I)

表-4.2.17 あと施工アンカーボルトの健全性 (健全 or 否) 「健全アンカー」判定の正答率 (樹脂系) 【定性的判定】

検査結果	検査技術	技術A (結果なし)	技術B (結果なし)	技術C 63% (5本/8本)	技術D 100% (8本/8本)	技術F 100% (2本/2本)	技術G 44% (3本/8本)	技術H 44% (4本/8本)	技術I 50% (4本/8本)	アンカーの状態 健全	検査結果 健全	判定 正答
正答率 (正答数/健全本数)										健全	健全	正答
										否 (健全外)	健全	空振
										否 (内容違い)	否	見逃し
										否 (内容違い)	否	正答
										否 (内容違い)	否	空振

表-4.2.18 あと施工アンカーボルトの健全性 (健全 or 否) 「健全外アンカー」判定の検知率 (樹脂系) 【定性的判定】

検査結果	検査技術	技術A (結果なし)	技術B (結果なし)	技術C 11本 45% (5本/11本)	技術D 11本 82% (9本/11本)	技術F 4本 50% (2本/4本)	技術G 11本 100% (11本/11本)	技術H 11本 100% (11本/11本)	技術I 11本 27% (3本/11本)	アンカーの状態 健全	検査結果 健全	判定 正答
①充填不足(損傷本数)										健全	健全	正答
正答率 (正答数/損傷本数)										健全	健全	空振
空振率 (空振数/損傷本数)				0% (0本/11本)	0% (0本/11本)	0% (0本/4本)	0% (0本/11本)	0% (0本/11本)	18% (2本/11本)	健全	健全	見逃し
見逃し率 (見逃し数/損傷本数)				55% (6本/11本)	18% (2本/11本)	50% (2本/4本)	0% (0本/11本)	0% (0本/11本)	55% (6本/11本)	健全	健全	正答
検知率 (正答数+空振数)/損傷本数				45% (5本/11本)	82% (9本/11本)	50% (2本/4本)	100% (11本/11本)	100% (11本/11本)	45% (5本/11本)	健全	健全	空振
②その他不具合(損傷本数)				29本 10% (3本/29本)	29本 0% (0本/29本)	2本 50% (1本/2本)	29本 0% (0本/29本)	29本 0% (0本/29本)	29本 7% (2本/29本)	健全	健全	正答
正答率 (正答数/損傷本数)				17% (5本/29本)	28% (8本/29本)	0% (0本/2本)	41% (12本/29本)	69% (20本/29本)	38% (11本/29本)	健全	健全	空振
空振率 (空振数/損傷本数)				72% (21本/29本)	72% (21本/29本)	50% (1本/2本)	59% (17本/29本)	31% (9本/29本)	55% (16本/29本)	健全	健全	見逃し
見逃し率 (見逃し数/損傷本数)				28% (8本/29本)	28% (8本/29本)	50% (1本/2本)	41% (12本/29本)	69% (20本/29本)	45% (13本/29本)	健全	健全	正答
検知率 (正答数+空振数)/損傷本数										健全	健全	空振

健全:ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状がない状態  
 否(健全外):ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状が生じている状態  
 正答:健全アンカーの検査結果が健全である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外で不具合の内容が一致している場合  
 空振:健全アンカーの検査結果が健全外である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外であっても不具合の内容が一致していない場合  
 見逃し:健全外アンカーの検査結果が健全である場合

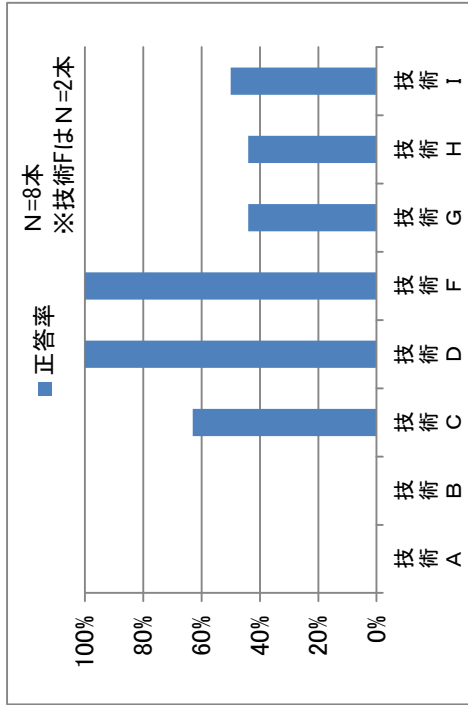
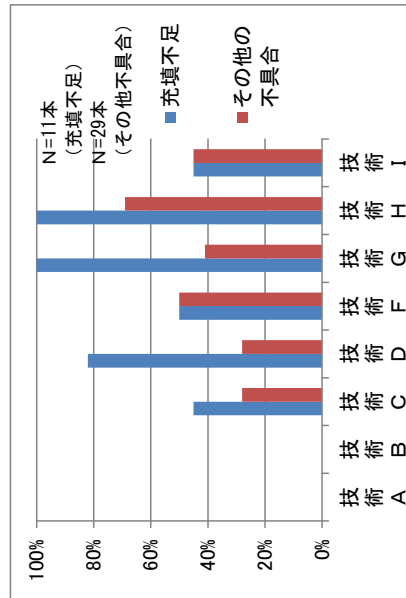
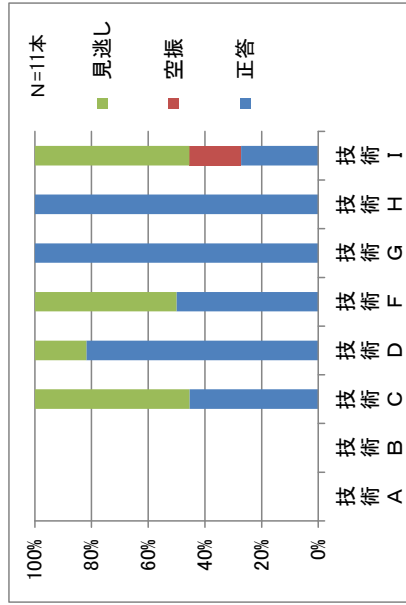


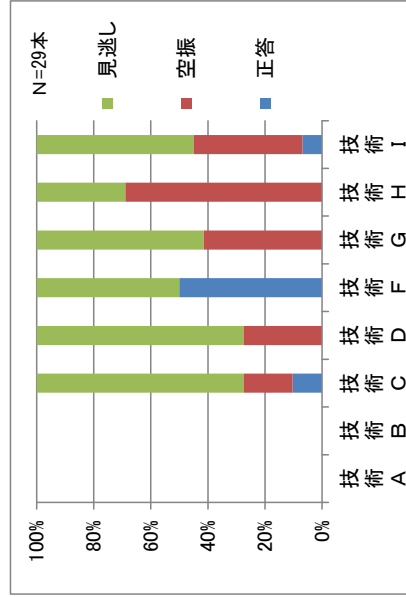
図-4.2.15 あと施工アンカーボルトの健全性（健全 or 否） 「健全アンカー」 判定の正答率（樹脂系）【定性的判定】



(1) 検知率（全体）



(2) 検知率（充填不足）



(3) 検知率（充填不足除くその他不具合）

図-4.2.16 あと施工アンカーボルトの健全性（健全 or 否） 「健全外アンカー」 判定の検知率（樹脂系）【定性的判定】

表-4.2.19 あと施工アンカーボルトの健全性 (健全 or 否) 「健全アンカー」判定の正答率 (金属系) 【定性的判定】

検査技術	技術A	技術B	技術C	技術D	技術F	技術G	技術G	技術I
検査結果	技術A (結果なし)	技術B (結果なし)	技術C 50% (3本/6本)	技術D 50% (3本/6本)	技術F 100% (6本/6本)	技術G 17% (1本/6本)	技術G (結果なし)	技術I 33% (2本/6本)
正答率 (正答数/健全本数)			50% (3本/6本)	50% (3本/6本)	100% (6本/6本)	17% (1本/6本)	(結果なし)	33% (2本/6本)
検査結果	健全	健全	健全	健全	健全	健全	健全	健全
判定	正答	正答	正答	正答	正答	正答	正答	正答

表-4.2.20 あと施工アンカーボルトの健全性 (健全 or 否) 「健全外アンカー」判定の検知率 (金属系) 【定性的判定】

検査技術	技術A	技術B	技術C	技術D	技術F	技術G	技術H	技術I
検査結果	技術A (結果なし)	技術B (結果なし)	技術C 6本 33% (2本/6本)	技術D 6本 67% (4本/6本)	技術F 6本 100% (2本/6本)	技術G 6本 83% (5本/6本)	技術H (結果なし)	技術I 6本 33% (2本/6本)
①充填不足(損傷本数)			6本 33% (2本/6本)	6本 67% (4本/6本)	6本 100% (2本/6本)	6本 83% (5本/6本)	(結果なし)	6本 33% (2本/6本)
正答率 (正答数/損傷本数)			33% (2本/6本)	67% (4本/6本)	100% (2本/6本)	83% (5本/6本)		33% (2本/6本)
空振率 (空振数/損傷本数)			17% (1本/6本)	0% (0本/6本)	0% (0本/6本)	0% (0本/6本)		33% (2本/6本)
見逃し率 (見逃し数/損傷本数)			50% (3本/6本)	33% (2本/6本)	0% (0本/6本)	17% (1本/6本)		33% (2本/6本)
検知率 (正答数+空振数)/損傷本数			50% (3本/6本)	67% (4本/6本)	100% (2本/6本)	83% (5本/6本)		67% (4本/6本)
②その他不具合(損傷本数)	3本 0% (0本/3本)	3本 0% (0本/3本)	3本 33% (1本/3本)	3本 100% (3本/3本)	3本 100% (3本/3本)	3本 67% (2本/3本)	3本 0% (0本/3本)	3本 100% (1本/3本)
正答率 (正答数/損傷本数)	0% (0本/3本)	0% (0本/3本)	33% (1本/3本)	100% (3本/3本)	100% (3本/3本)	67% (2本/3本)	0% (0本/3本)	100% (1本/3本)
空振率 (空振数/損傷本数)			67% (2本/3本)	0% (0本/3本)	0% (0本/3本)	33% (1本/3本)		0% (0本/3本)
見逃し率 (見逃し数/損傷本数)			33% (1本/3本)	100% (3本/3本)	100% (3本/3本)	67% (2本/3本)		100% (1本/3本)
検知率 (正答数+空振数)/損傷本数			33% (1本/3本)	100% (3本/3本)	100% (3本/3本)	67% (2本/3本)		100% (1本/3本)
検査結果	健全	健全	健全	健全	健全	健全	健全	健全
判定	正答	正答	正答	正答	正答	正答	正答	正答

健全: ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状がない状態

否(健全外): ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状が生じている状態

正答: 健全アンカーの検査結果が健全である場合

空振: 健全アンカーの検査結果が健全外である場合

または、健全外アンカーの検査結果が健全外である場合

見逃し: 健全外アンカーの検査結果が健全である場合

または、健全外アンカーの検査結果が健全である場合

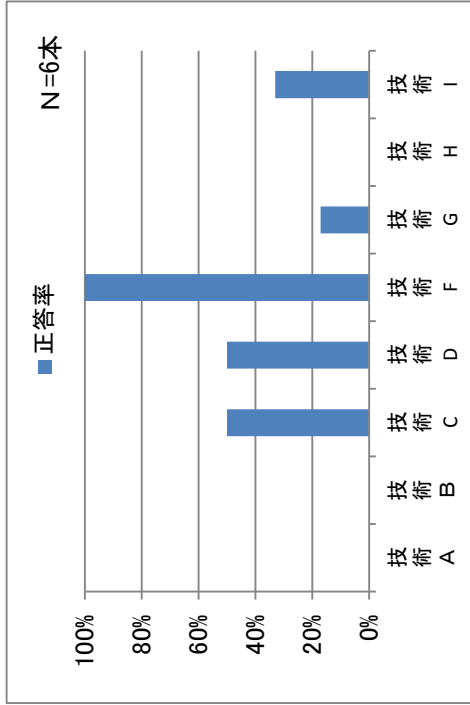
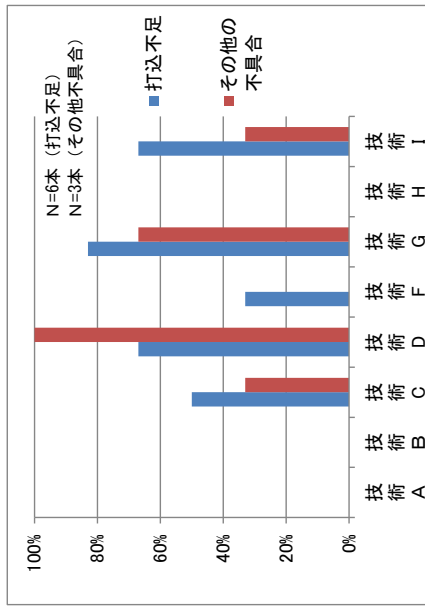
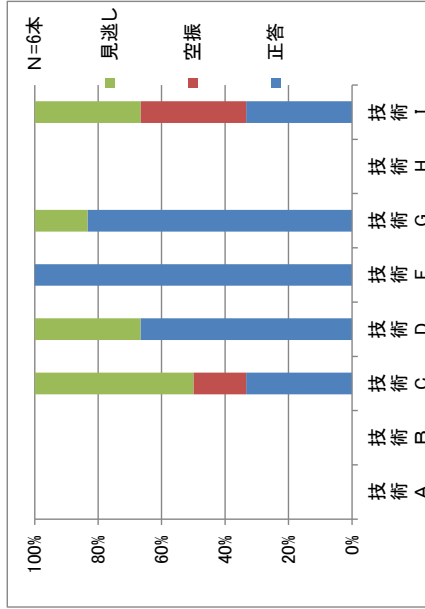


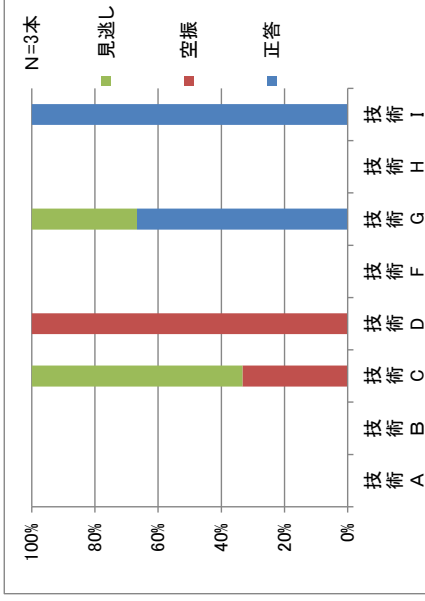
図-4.2.17 あと施工アンカーボルトの健全性 (健全 or 否) 「健全アンカー」判定の正答率 (金属系) 【定性的判定】



(1) 検知率 (全体)



(2) 検知率 (充填不足)



(3) 検知率 (充填不足除くその他不具合)

図-4.2.18 あと施工アンカーボルトの健全性 (健全 or 否) 「健全外アンカー」判定の検知率 (金属系) 【定性的判定】

#### ④各検査技術の作業性能の把握

非破壊検査を現地での調査に活用する場合、検査機器の大きさや作業時間、作業人員などの作業性能に関わる項目は点検計画を立てるうえで重要な要素である。そこで、各検査技術の検査機器の情報（形状寸法、重量等）、作業性（準備・撤去を含む検査時間、キャリブレーションの有無）について、事前に実施したアンケート結果及び検査結果から表-4.2.21、図-4.2.19 のとおり整理した。また、各検査技術の作業時間と「あと施工アンカーの健全性（健全 or 否）」の「正答率」との関係について表-4.2.22、図-4.2.20 のとおり整理した。

##### (1)検査機器

表-4.2.21 のとおり各検査技術の検査機器の寸法と重量は、最大値は総重量：約 30kg で寸法：約 400×700×500mm である。最小値は総重量：約 0.71kg で寸法：42×108×169mm である。

##### (2)作業性

###### 1)検査時間

表-4.2.22 のとおり検査技術全体での 1 本当たりのあと施工アンカーボルトの検査時間は平均で約 8 分/本であり、最小値は技術 C で約 1 分/本、最大値は技術 F で約 20 分/本である。

###### 2)キャリブレーションの有無

表-4.2.21 のとおりキャリブレーションを必要としない技術は技術 C、技術 D、技術 F である。

###### 3)作業時間と正答率の関係

表-4.2.22、図-4.2.20 に各検査技術の作業時間と「あと施工アンカーの健全性（健全 or 否）」の「正答率」との関係を示す。作業時間が短い検査技術ほど正答率が下がる傾向がみられる。ばらつきが存在することから調査の目的に応じて、期待する時間と期待する精度を事前に設定した上で、機器の選定をすることが重要である。

表-4.2.21 各検査技術の使用検査機器及び作業性

評価項目	検査技術									
	技術A	技術B	技術C	技術D	技術F	技術G	技術H	技術I		
検査機器	寸法(mm) 高さ×幅×奥行き	220×320×340	50×220×125	42×108×109	68×260×190	190×110×65	500×500×200	400×700×500	300×200×180	
	検査機器本体重量(kg)	5.0	0.6	0.36	2.3	3.0	30.0	1.2	2.3	
	総重量(kg) ※1	5.5	3.0	0.71	2.3	3.0	30.0	15.0	2.3	
作業性	キャリブレーションの有無	有り	有り	無し	無し	無し	有り	有り	無し	
	キャリブレーションに必要な時間(min)	約15~20	約15~20	-	-	-	約10~20	約10	-	
	検査機器の準備時間(min)	18	18	0	0.5	12	30	60	6	
	検査時間(1本当たり平均)(min)	1.8	2.4	1	1	10	1	3.78	1	
	検査機器の撤去時間(min)	18	18	0	0	12	30	30	6	
	作業人数(人)	3	3	1	2	2	3	3	3	
	延べ作業時間(min×人)	448.2	561.6	63	127	1308	369	984.42	225	
	アンカー本数(本)	63	63	63	63	63	63	63	63	
	1本当たり作業時間(本/min) ※2	7	9	1	2	21	6	16	4	
						1本当たり作業時間平均値(本/min)				

※1: 総重量は検査機器以外の付属品を含む重量

※2: 1本当たり作業時間(本/min)は、検査機器の準備・撤去時間を含めて算出

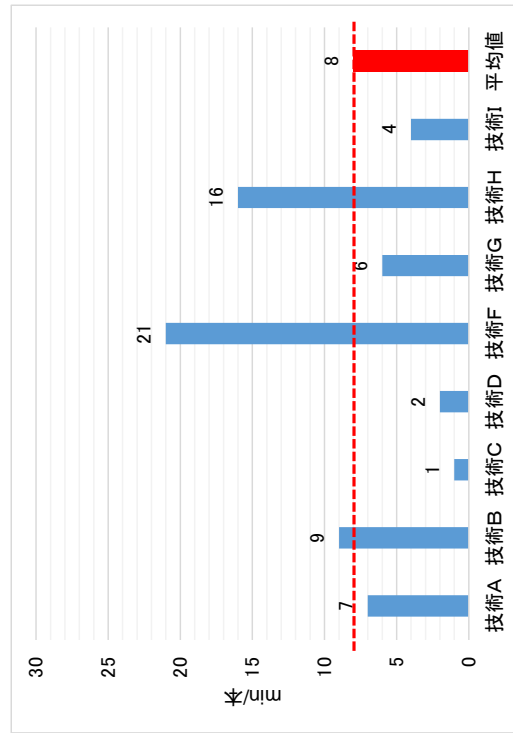


図-4.2.19 各検査技術のあと施工アンカーポルト1本当たりの検査時間

表-4.2.22 各検査技術の作業時間とあと施工アンカーの健全性の正答率

評価項目	検査技術	技術A	技術B	技術C	技術D	技術F	技術G	技術H	技術I
1本当たり作業時間(本/min)		7	9	1	2	21	6	16	4
あと施工アンカーの健全性 正答率(%)		27%	0%	56%	40%	75%	54%	73%	46%
※正答率は健全なあと施工アンカーポルトを含むものとする。 但し、測定対象外のポルトは含まない。									
あと施工アンカーの健全性 正答率 平均値 46%									

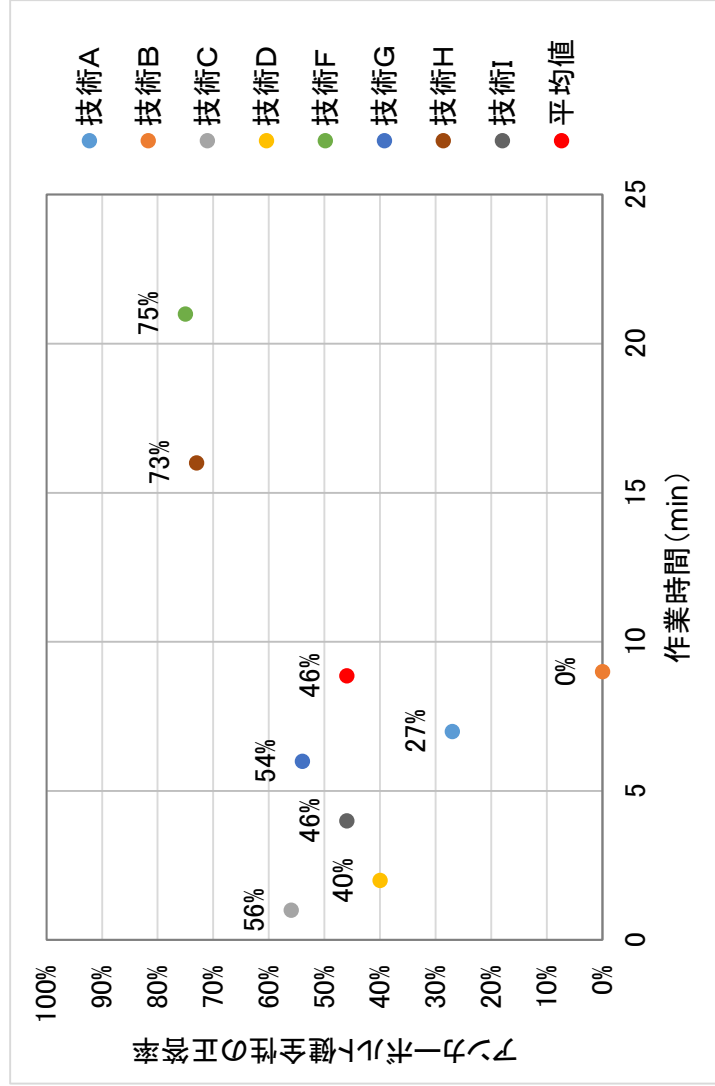


図-4.2.20 各検査技術の作業時間とあと施工アンカーの健全性の正答率との関係



## ⑤検査要領書

検査要領書の妥当性を確認するため、共同研究者から提出された検査調書について確認し、検査調書の様式等について課題を抽出した。また、提出された検査結果を整理・分析したうえで共同研究者へ報告し、設定した評価項目や検査調書の確認項目について共同研究者へアンケート及びヒアリングを実施した。なお、本検討で使用した模擬供試体①は、今後の検証試験に使用することを前提としており、共同研究者への検査結果報告において、各あと施工アンカーの定着部に模擬した不具合等の詳細については公表していない。共同研究者からのアンケート及びヒアリング内容を整理した結果を表-4.2.23 に示す。

### (1)検査調書に関する課題

- ・あと施工アンカーの定着部の各不具合に対しての「健全 or 否」の問いに対して「△」等の中間的な回答もあり、正しく評価できないケースがあった。
- ・「あと施工アンカーボルトの健全性」において検知できた変状の位置・形状について自由に記入にしていたが、検査従事者の全てが土木・建築に関わっているわけではないため、あと施工アンカーに起こりうる不具合について網羅していないことが原因で記入の仕方や不具合の判断に迷っているケースが見られた。
- ・検査項目に対して検査技術の検知の対象外なのか、施工条件や検査条件等によって検知することが不可なのか明確でない回答があった。

### (2)アンケート及びヒアリング結果の整理

- ・健全アンカーとの相対比較で検査結果を評価する検査技術は、キャリブレーションを実施できない場合、検知率や精度に影響を及ぼす可能性がある。
- ・あと施工アンカー定着部に模擬した不具合の内容や種類がわからないことで、検査結果（受信波形の異常等）を適切に評価できない場合がある。
- ・樹脂系あと施工アンカーの充填不足を主とした検知対象としている検査技術において、その他の不具合を模擬していても充填不足がない場合は「健全」と判定してしまう可能性がある。
- ・非破壊検査技術の結果の検証には、検査対象としたあと施工アンカー定着部の不具合の詳細を開示する必要がある。
- ・あと施工アンカーボルトに軸力が作用している場合やナットにプレートが設置されている場合には、検査結果に影響を与えたり、検査が不可能となったりする場合がある。
- ・あと施工アンカーが施工されている母材コンクリートの状態（ひび割れ、空洞、表面の平坦性等）やアンカーボルトの検査機器接触面や突出部の異常（表面の平坦性、ボルトの傾き等）が検査結果に影響を及ぼす場合がある。

表-4.2.23 検査結果報告後の共同研究者へのアンケート及びヒアリング結果

アンケート項目	回答
<p>1) 計測結果の通知を受けての反省点や課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・キャリアプレーションを実施しない中での実施だったため、特徴を判定できていない可能性が大きい。</li> <li>・解析時に反射波形にいくつかの特徴があったが、樹脂充填率の差異等によって目的の信号とは違う波形のピークを選択した可能性が大きい。</li> <li>・解析条件や検査機器の周波数の設定や解析方法の検討が必要。</li> <li>・充填不足以外の定着部の不具合によって生じる波形の異常を誤って充填不足として検出した可能性が高い。</li> <li>・充填不良が生じていると施工アンカーを誤って「健全」と判定することがなく、全件において安全側の判定をすることができた。</li> <li>・充填不良以外の定着部の不具合のうち、樹脂充填率が100%のものについては検出が困難である。</li> <li>・充填不足以外の定着部の不具合にどのようなものがあるのか理解できなかったため、受信信号に異状があったポルトをすべて充填不足と判定した。</li> <li>・充填不足以外の定着部の不具合について、受信信号のどのパラメータ(例えば周波数など)に変化があるのか着目し評価を行う必要がある。</li> <li>・金属系アンカーの評価手法の確立が課題。</li> </ul>
<p>2) 検査要領、計測方法及び計測結果の通知等についての改善点</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・結果の検証にはアンカーポルトに模擬されている不具合の詳細を開示してもらった必要がある。</li> <li>・検査対象がどのように施工されているか等、事前の情報を得ている場合、判断精度が向上する可能性がある。</li> <li>・検査条件や模擬されている定着部の不具合のパラメータ等の提示を希望する。</li> </ul>
<p>3) 次の非破壊検査の計測についての要望事項(計測条件、計測時間、供試体の配置等)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検出の成否の評価基準を明確にすることを希望する。</li> <li>・供試体のコンクリートの施工条件などについての明示を希望する。</li> <li>・プレートを設置し、ナット締め(軸力あり)の状態での計測を行う必要がある。</li> </ul>
<p>4) 計測不可になる構造上の問題点は何か(部材厚など)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ボルトに軸力(トルク)が作用している場合に結果に影響を及ぼす可能性がある。</li> <li>・コンクリートに空隙やひび割れ等の変状がある場合に結果に影響を及ぼす可能性がある。</li> <li>・雨天は計測不可である。</li> <li>・ボルトの頭の計測時の接触面が平坦でない場合は誤差が大きくなる可能性がある。</li> <li>・アンカーポルトが傾きすぎていると計測できない場合がある。</li> <li>・計測器を設置するためにある程度ボルトの突出長が必要。</li> <li>・固定プレート等ある場合は計測できない場合がある。</li> </ul>
<p>5) 今回設定した計測時間(63本/日)が適正かどうか</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・適正である。</li> </ul>

#### 4.2.3 非破壊検査技術の基礎的調査から得られた知見と課題

第4章では、あと施工アンカーが下向き、横向き、上向きに設置されており、不具合についても施工向きによって生じる接着剤の偏り等を模擬した供試体に対して共同研究者が非破壊検査を実施し、共同研究者より提供を受けた検査結果を整理することで各検査技術の基礎的な性能（あと施工アンカーの検知可能な不具合の種類、検査精度、作業性能）について確認した。基礎的調査から得られた知見と性能評価手法を策定するために検討すべき課題を以下に示す。

##### ①非破壊検査技術の基礎的調査から得られた知見

- ・非破壊検査技術毎に検知可能なあと施工アンカー定着部に生じる不具合の種類や程度は異なる。また、検査結果の判定については、定量的な判定を行う検査技術と定性的な判定を行う検査技術が存在し、検査精度や誤差特性（誤差の範囲や偏り）、分解能は検査技術によって異なる。以上から、非破壊検査技術の基礎的調査で実施した検査において、各検査技術が検知対象とする不具合や検知性能、誤差特性について概ね把握することが可能であることが確認された。
- ・あと施工アンカーの定着部に模擬した不具合の検知率は、アンカーボルトの径やあと施工アンカーが施工されている向きの影響を受ける場合がある。これらは、検査技術が検知対象とするボルト径の範囲が異なること、あと施工アンカーが上向きや横向きに施工されていることで検査機器の設置精度や検査体勢による影響を受けることなどが要因と考えられる。
- ・充填不足に対する検知率は高い傾向であるが、その他不具合に対しては検知率が低く、さらに正答（不具合内容が一致）よりも空振（不具合内容が不一致）の回答が多くなる傾向である。これは、検査原理や機器に固有の特性に加えて、検査技術が想定していない不具合があと施工アンカー定着部に模擬されている場合、定着部に充填不足がなければ健全なアンカーと判定してしまうことや、不具合の内容まで判定できずに空振となってしまうこと等が要因になっていることが考えられる。
- ・検査調書において、健全性の判定について明確な回答が得られない場合があるため、検査調書ではあと施工アンカーに起こりうる不具合の定義を明確にするとともに、あいまいな点が介在しない検査調書とする必要がある。
- ・健全なアンカーに対する事前のキャリブレーションを実施できない場合、アンカーボルトにプレートが取り付けられていたり軸力が作用したりしている場合、母材コンクリートに変状等が生じている場合にそれらが検査精度に影響を及ぼす可能性がある。これらは、検査原理から、比較対象とする健全なアンカーの測定結果がないことで適切な判定ができないこと、軸力の有無や母材コンクリートの状態によって応答値が変化し適切な判定ができないことなどが要因と考えられる。

##### ②性能評価手法策定のために検討すべき課題

- ・アンケート結果にもあったように、標準施工された健全なアンカー図面やその健全なアン

カーに対するキャリブレーション等の予備情報があることによって、検査結果が向上する可能性が示唆された。実構造物を対象とした検査では、その構造物の置かれた状況によって予備情報の有無や質に大きな差があり、これを補うことは困難な場合も多いと考えられる。よって、本来の検査機器の性能を把握するためには、予備情報が不具合の検知率や検査精度に与える影響についても事前に検証しておく必要がある。

- あと施工アンカーの引張耐力について検知できた非破壊検査技術はあったものの、模擬供試体①については今後の活用も考慮して引張試験（破壊試験）を実施していない。そのため、あと施工アンカー定着部の不具合と引張耐力の関係は把握できていない。一方で、不具合と引張耐力の関係を明確にしておくことは、あと施工アンカーの維持管理において重要な情報である。非破壊検査では直接的には耐力を知ることはできないため、あと施工アンカーの引張試験等により別途不具合内容と引張耐力の関係について明らかにする必要がある。そのうえで、将来的には明らかにした結果から今後の点検で非破壊検査技術を使用する場合に必要な検知すべき不具合内容とその定量値について整理していく必要がある。
- 今回検証実験に用いた模擬供試体は新規に製作したもので、実際に接続されている構造物も無い状態での検査結果であった。一方で、実構造物への適用性を確認するためには、実構造物に生じているようなコンクリートの変状（ひび割れや空洞、表面の平坦性等）の影響やアンカーボルトに軸力が作用している場合の影響についての検証が必要である。