

# 国土技術政策総合研究所資料 共同研究報告書

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 884

March 2017

道路橋等の点検効率化等への計測・非破壊検査技術の  
適用性検証に関する共同研究（Ⅱ）  
－ コンクリートあと施工アンカーボルトに対する  
非破壊検査の適用性に関する研究 －

Performance Validation Test Protocols on NDT Tools for the Inspection of  
Road Bridge and Structures:  
NDT Tools for Post-Installed Anchor Bolts

国土交通省 国土技術政策総合研究所  
佐藤工業（株）  
川田テクノロジーズ（株）  
デイ・アイ・エンジニアリング(株)  
一般社団法人 日本非破壊検査工業会  
日本ヒルティ（株）  
日進工業（株）  
(株)西日本グリーンメンテナンス  
(株)藤井基礎設計事務所  
一般社団法人 iTECS 技術協会

National Institute for Land and Infrastructure Management  
Sato Kogyo  
Kawada Technologies  
D.I. Engineering  
Japanese Association for Nondestructive Testing Industry  
Hilti Japan  
Nissin Kogyo Company  
Nishi Nihon Green Maintenance  
Fujii consulting & associates  
iTECS Association



道路橋等の点検効率化等への計測・非破壊検査技術の  
適用性検証に関する共同研究（Ⅱ）

ー コンクリートあと施工アンカーボルトに対する

非破壊検査の適用性に関する研究 ー

国土交通省 国土技術政策総合研究所  
佐藤工業（株）  
川田テクノロジーズ（株）  
デイ・アイ・エンジニアリング(株)  
一般社団法人 日本非破壊検査工業会  
日本ヒルティ（株）  
日進工業（株）  
(株)西日本グリーンメンテナンス  
(株)藤井基礎設計事務所  
一般社団法人 iTECS 技術協会

概要

道路橋の定期点検の方法は、近接目視を基本とし、必要に応じて打音や触診などの非破壊検査を併用するものとされている。しかし、打音や触診では、既に機能を喪失したアンカーを把握することはできても、それ以上の詳細な状態変化の把握は困難である。そこで、その他の非破壊検査技術を併用することで、診断の参考となる情報を更に取得することが期待されるが、得られた検査情報の解釈にあたっては、非破壊検査機器の性能や計測誤差と計測条件の関係を事前に把握しておくことが必要である。

そこで本研究は、あと施工アンカーの非破壊検査技術の性能を評価する手法を確立することを目的に行った。既設の道路構造物におけるあと施工アンカーの機能状態に関連して想定される様々な不具合を対象に既存非破壊検査技術の基本性能、適用性、作業性について実証による調査を行い、それらの結果も参考にして、あと施工アンカーに対する非破壊検査技術の性能評価試験法を提案した。

キーワード：非破壊検査，性能検証，あと施工アンカー

Performance Validation Test Protocols on NDT Tools for the Inspection of  
Road Bridge and Structures:  
NDT Tools for Post-Installed Anchor Bolts

National Institute for Land and Infrastructure Management  
Sato Kogyo  
Kawada Technologies  
D.I. Engineering  
Japanese Association for Nondestructive Testing Industry  
Hilti Japan  
Nissin Kogyo Company  
Nishi Nihon Green Maintenance  
Fujii consulting & associates  
iTECS Association

### Synopsis

The national bridge inspection standards specifies that bridge inspection shall be based on closed-view observation. In addition, hammer-striking and hands-on confirmation shall be conducted if needed. The combination of these methods is expected to identify malfunctioning bolts that have already lost the strength completely, but it hardly can estimate the residual load carrying-capacity. Accordingly, the use of non-destructive testing (NDT) tools is expected. However, when understanding non-destructive testing results from a particular test, it is necessary to know the performance of the NDT tool in advance, such as possible errors that are likely to change with different test conditions.

The present cooperative study has sought a performance evaluation protocol for NDT tools for post-installed anchors. Trial tests were conducted using newly developed test specimens to see if the developed performance evaluation protocol enable to ascertain the difference in the performance of different NDT tools for different distress patterns and anchor conditions. Finally, the present cooperative study has proposed the proto-type of performance validation testing protocol for non-destructive testing tools for post-installed anchors.

Key Words : non-destructive testing, validation, post-installed anchors

共同研究参加機関および担当者名簿

(平成 27 年 3 月現在 順不同)

【実施期間】平成 25 年 4 月～平成 27 年 3 月

国土交通省 国土技術政策総合研究所  
道路研究部 道路構造物管理研究室  
(平成 25 年 4 月～平成 26 年 3 月)

玉越 隆史  
白戸 真大  
大城 温  
窪田 光作  
石尾 真理  
宮原 史  
横井 芳輝  
小原 誠  
強瀬 義輝

道路構造物研究部 橋梁研究室  
(平成 26 年 4 月～平成 27 年 3 月)

玉越 隆史  
白戸 真大  
宮原 史  
横井 芳輝

道路構造物研究部 構造・基礎研究室  
(平成 26 年 4 月～平成 27 年 3 月)

小原 誠

佐藤工業(株)  
歌川 紀之  
北川 真也

櫻井 和人  
日進工業(株)、(株)西日本グリーンメンテナンス、  
(株)藤井基礎設計事務所

川田テクノロジーズ(株)、佐藤工業(株)、デイ・アイ・  
エンジニアリング(株)

磯 光夫 川田テクノロジーズ(株)  
歌川 紀之 佐藤工業(株)  
川井 重弥 デイ・アイ・エンジニアリング(株)

中光 眞史 日進工業(株)

松浦 慎一 同上

藤田 康洋 同上

倉永 太祐 同上

宮田 亮司 (株)西日本グリーンメンテナンス

藤井 俊逸 (株)藤井基礎設計事務所

榎谷 知之 同上

一般社団法人日本非破壊検査工業会

長岡 康之 (株)アミック

三輪 秀雄 同上

松原 良和 同上

高鍋 雅則 同上

池田 昌史 同上

堀江 優介 同上

古賀 洋平 同上

一般社団法人 iTECS 技術協会

境 友昭

岩野 聡史

山下 健太郎

久保 元樹

林 吉厚

村田 浩

日本ヒルティ(株)

久富 真吾

執筆担当者

国土交通省国土技術政策総合研究所  
道路構造物研究部 橋梁研究室

河野 晴彦  
正木 守

道路構造物研究部 構造・基礎研究室

小原 誠



## まえがき

本報告書は、道路構造物の既設のあと施工アンカーの健全性に関する非破壊検査技術の基本性能、適用性、作業性について実証による調査を行い、あと施工アンカーの非破壊検査技術の性能を評価する手法を確立することを目的として、平成25年度~平成26年度に国土交通省国土技術政策総合研究所と共同研究者9者で行った共同研究での結果を取りまとめたものである。

本研究では、主にあと施工アンカーの機能状態に関連した様々な不具合を模擬したあと施工アンカー供試体を用いて、各種非破壊検査を実施し、さらに、供試体あと施工アンカーの引張試験を行うことであと施工アンカーの不具合の種類、非破壊検査による不具合の検知及び不具合の程度の分類能力及び引張耐力の低下の関係性を調べた。そして、これらの結果を踏まえて、最終的にあと施工アンカーの健全性に関する非破壊検査技術の性能を評価するための試験方法を提案した。





道路橋等の点検効率化等への計測・非破壊検査技術の  
適用性検証に関する共同研究(Ⅱ)  
ー コンクリートあと施工アンカーボルトに対する  
非破壊検査の適用性に関する研究 ー

目 次

第1章 研究の概要

1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	1
1.3 研究の実施体制	1
1.4 本資料の構成	2

第2章 実験の計画

2.1 あと施工アンカーの実態調査	5
2.1.1 あと施工アンカーの施工法例	5
2.1.2 あと施工アンカーの生産実績	6
2.2 あと施工アンカーに生じる不具合の抽出	8
2.2.1 あと施工アンカーに関係した既知の不具合例の整理	8
2.2.2 性能評価手法において模擬の対象とする不具合の定義	9
2.3 あと施工アンカーを施工する構造物の状態の模擬	10
2.4 非破壊検査技術の性能検証供試体に用いるあと施工アンカーの種別	11
2.5 非破壊検査技術の概要	12

第3章 あと施工アンカーの非破壊検査技術性能検証供試体

3.1 供試体概要	15
3.1.1 供試体の種類	15
3.1.2 コンクリートの強度試験結果	15
3.1.3 供試体の形状寸法	16
3.2 あと施工アンカーの施工	20
3.2.1 あと施工アンカーの使用材料	20
3.2.2 あと施工アンカーの施工方法	20
3.2.3 あと施工アンカーを施工する構造物の状態の模擬	40

## 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	49
4.1.1 概要	49
4.1.2 検証対象とした非破壊検査技術	49
4.1.3 検査に用いる供試体	49
4.1.4 検査条件	49
4.2 非破壊検査技術の基礎的調査の結果と課題	51
4.2.1 用語の定義	51
4.2.2 基礎的調査のための非破壊検査結果	51
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	75

## 第5章 非破壊検査技術の性能評価手法の検証（提案と試行）

5.1 模擬供試体を使用した非破壊検査技術の基本性能の検証	77
5.1.1 概要	77
5.1.2 検証対象とした非破壊検査技術	77
5.1.3 検査に用いる供試体とあと施工アンカーに模擬する不具合等の種類	77
5.1.4 検査条件	80
5.1.5 基本性能の検証結果	81
5.2 非破壊検査技術の実構造物への適用性の検証	100
5.2.1 概要	100
5.2.2 検証対象とした非破壊検査技術	100
5.2.3 検査対象とした供試体とあと施工アンカー	101
5.2.4 検査条件	103
5.2.5 適用性能の検証結果	103

## 第6章 あと施工アンカーの不具合と引張耐力の関係性の検証

6.1 あと施工アンカーの引張試験	115
6.1.1 概要	115
6.1.2 引張試験方法	116
6.1.3 引張試験結果	118
6.1.4 あと施工アンカーの引張耐力低下に影響する不具合	127
6.2 検知目標とするあと施工アンカーの不具合の種類と程度の整理	135
6.2.1 あと施工アンカー引張耐力低下不具合の検知性能	135
6.2.2 非破壊検査技術に要求される不具合の検知性能	146

## 第7章 非破壊検査技術の性能評価試験法の提案

- 7.1 非破壊検査技術の性能評価手法に求められる項目の整理 ..... 149
- 7.2 非破壊検査技術の性能評価試験法 ..... 150

## 第8章 まとめ

- 8.1 非破壊検査技術の基礎的調査 ..... 155
- 8.2 非破壊検査技術の性能評価手法の検証 ..... 155
- 8.3 あと施工アンカーの不具合と引張耐力の関係性の検証 ..... 155
- 8.4 非破壊検査技術の性能評価試験法の確立に向けて ..... 156

## 付属資料

- 提案するあと施工アンカーボルトの非破壊検査技術の性能評価試験法 ..... 付1



## 第1章 研究の概要

### 1.1 研究の背景

平成24年12月、中央自動車道上り線笹子トンネルにおいて、トンネル換気のために設置されていた天井板が落下する事故が発生した。事故後の調査により、近接目視、打音及び触診による点検は、すでに機能を喪失したボルトを捕捉できることが報告されている<sup>1) 2)</sup>。しかし、同報告書<sup>3)</sup>によれば、打音時の音や反発力はボルトに作用する張力等の様々な要因の影響を受けること、また、近接目視、打音及び触診では引張強度までは把握できないことが指摘されている。あと施工アンカーは、補強に供する部材と既設構造物とを接合する場合や、付帯設備を土木構造物本体に取り付ける際に用いられるなど、コンクリート構造物に対して幅広く利用されている。機能を完全に喪失していないあと施工アンカーに対しても、非破壊検査によって外部からはわからない不具合の存在や残存強度を測定またはそれらを示唆する情報を得ることができれば、点検において有効と考えられる。そこで、非破壊検査について、万全ではなくてもその能力の範囲で得られる情報を活用していくということも期待され、そのためには能力を評価するための統一的な評価項目や試験方法の整備が求められている。

### 1.2 研究の目的

本研究は1.1の背景もふまえて、既設の道路構造物に用いられている、あと施工アンカーの機能状態に影響を与える様々な不具合の検知性能を対象に、既存の検査技術の基本性能(検知可能な不具合と検知精度)、適用性(予備情報の影響、検査向きの影響)、作業性(キャリブレーションの有無、検査時間等)について実証による調査を行い、あと施工アンカーに対する非破壊検査技術の性能を評価する手法を確立することを目的として行った。

### 1.3 研究の実施体制

本研究では、アンカー検査技術評価法の検討の参考とする既存の非破壊検査技術を広く公平に募集することを意図して「道路橋等の点検効率化等への計測・非破壊検査技術の適用性検証に関する共同研究」として共同研究者を公募し、申請のあった9者(佐藤工業(株)、川田テクノロジー(株)、デイ・アイ・エンジニアリング(株)、一般社団法人 日本非破壊検査工業会、日本ヒルティ(株)、日進工業(株)、(株)西日本グリーンメンテナンス、(株)藤井基礎設計事務所、一般社団法人 iTECS 技術協会)の非破壊検査技術開発者と国土技術政策総合研究所(以下、「国総研」という。)の共同研究として行った。以下、本報告書では公募により参加した、これらの9者を指して共同研究者という。国総研が実際の道路橋における検査条件として想定される状況を調査し、あと施工アンカーに対する非破壊検査技術に求める性能を考察し、模擬損傷供試体を試作した。次に、共同研究者が試作供試体に対する非破壊検査をブラインドで行った。そして、共同研究者が行った非破壊検査結果を国総研が比較・分析するとともに、試作供試体アンカーの引き抜き試験を実施した。以上の結果に基づき、国総研があと施工アンカー非破壊検査法の性能評価試験法の素案を作成し、最終的に、共同研究者とともに性能評価試験法をとりまとめた。すなわち、国総研は、共同研究者が非破壊検査を実施するフィールドの提供と要求ニーズの提案及び検査結果の比較・分析を担当した。

共同研究の体制を図-1.3.1 に示す。

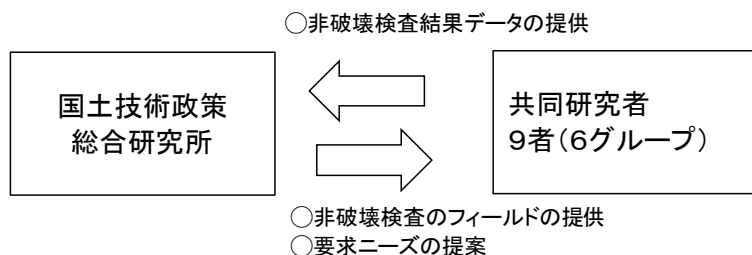


図-1.3.1 共同研究の体制

#### 1.4 本資料の構成

図-1.4.1 に本研究のフローを示す。

第1章では、研究の背景、目的、実施体制、構成について述べた。

第2章では、あと施工アンカーにおいて知られる不具合事例の整理と既存非破壊検査技術が価対象とする不具合について調査した結果をまとめた。

第3章は、あと施工アンカーの非破壊検査に用いる不具合模擬供試体の試作について報告する。試作したのは大別すると2種類で、非破壊検査技術の精度や作業性等の基本性能の確認を目的とし、様々な不具合を模擬したあと施工アンカーを上下横方向から検査できるように配置した模擬供試体、実構造物を想定した性能を確認を目的とし、計測原理によっては周辺の母材コンクリートの劣化やコンクリートのひび割れ、近接の支障物が計測結果に影響する可能性があることを踏まえ、撤去桁から採取した地覆部分に不具合を模擬したあと施工アンカーを新たに施工した実部材供試体である。

第4章は、非破壊検査技術の基礎的な性能の把握を目的に不具合模擬供試体に対して実施した結果の分析である。ここでは、あと施工アンカーの図面及び健全なあと施工アンカーのキャリブレーションデータ等の予備情報を検査者に与えず(ブラインドと呼ぶ)、非破壊検査を行ってもらっている。その分析結果から各検査技術の特徴の整理や性能評価するためにさらに検討が必要と考えられる事項の整理を行った。

第5章は、あと施工アンカーの図面及びキャリブレーションデータ等の予備情報がある条件で非破壊検査を実施した結果の分析である。第4章で用いた模擬供試体だけではなく、実部材供試体も用いた。その結果から検査技術の各検査条件における性能について整理を行った。

第6章では、試作した模擬供試体のアンカーボルトに対する引張試験を実施し、あと施工アンカーの不具合の種類や程度と引張耐力の低下度合いについて調べ、非破壊検査技術の検知目標とするあと施工アンカーの不具合の種類と程度について整理を行った。

第7章では、第2章～第6章を踏まえて非破壊検査技術の性能評価に必要な項目について整理した。そして、各種非破壊検査技術の不具合検知性能や誤差特性について統一かつ客観的な評価を行うための性能評価試験法を提案した。

第8章では、本研究で得られた成果と今後の課題をとりまとめた。

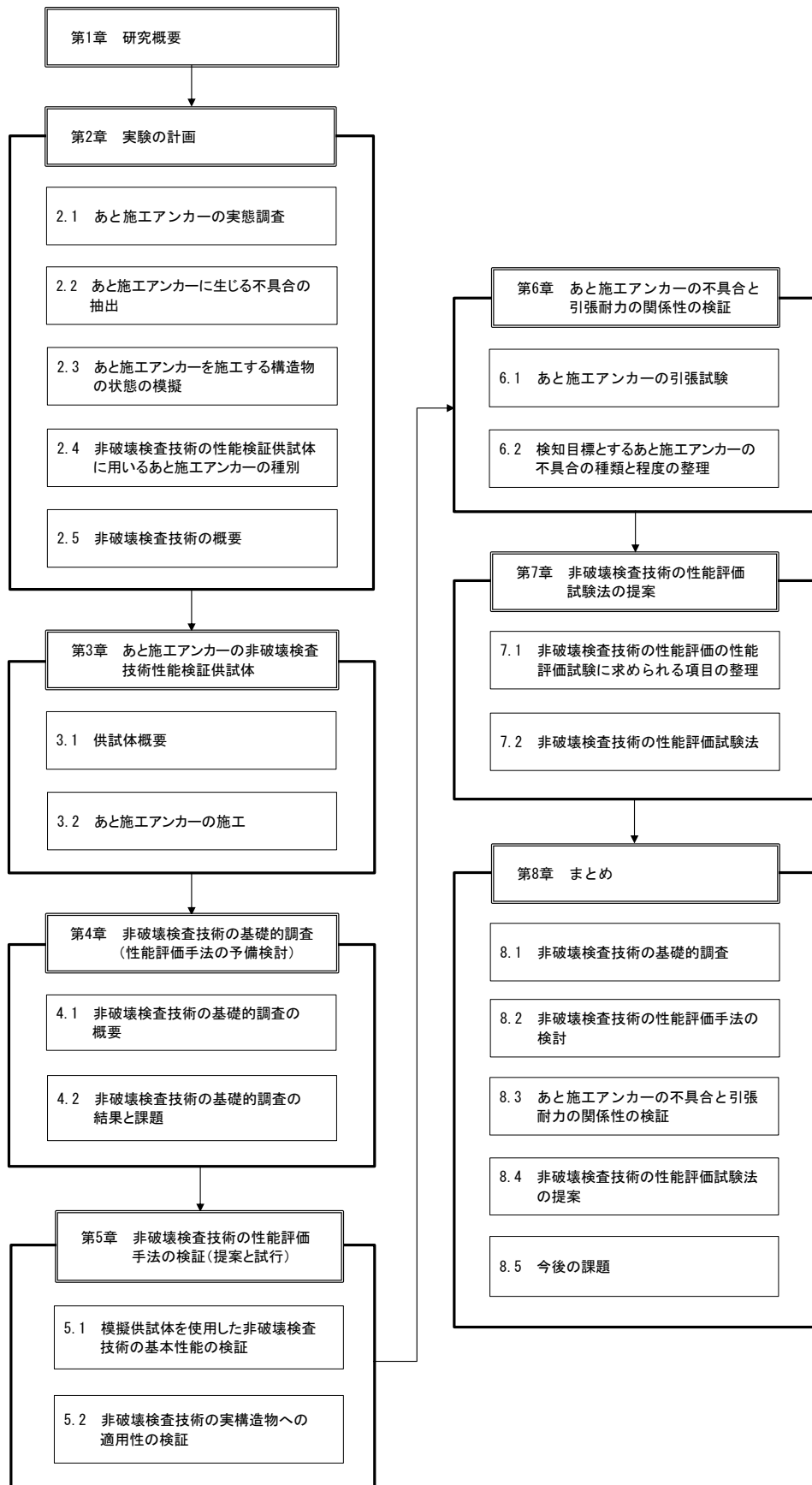


図-1.4.1 研究フローと報告書の構成

## 【第1章 参考文献】

- 1) トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会報告書、トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会、[http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/tunnel/pdf/130618\\_houkoku.pdf](http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/tunnel/pdf/130618_houkoku.pdf)、平成25年6月18日
- 2) トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会資料集、トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会、[http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/tunnel/siryu\\_shu.html](http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/tunnel/siryu_shu.html)、平成25年7月31日



## 第2章 実験の計画

### 2.1 あと施工アンカーの実態調査

#### 2.1.1 あと施工アンカーの施工法例<sup>1)</sup>

建設分野において用いられるあと施工アンカーは、金属系アンカーと接着系アンカー、その他のアンカー類に大別され（図-2.1.1）、一般的には金属系アンカーと接着系アンカーが多く使用されている。

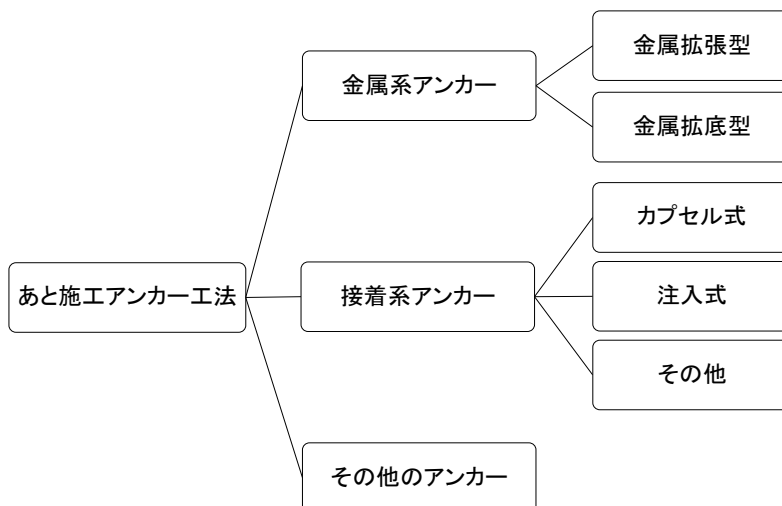


図-2.1.1 あと施工アンカー工法の分類<sup>1)</sup>

金属系アンカーは金属拡張アンカーと金属拡底アンカーに区分され、金属拡張アンカーは母材に予め削孔した孔の中でアンカーの拡張部が開き、孔壁に機械的にボルトを固着するものである。金属拡底アンカーは、孔底に拡底部を設けたうえで金属系アンカーを固着するものである。

拡張方式により、金属系アンカーは図-2.1.2 のとおり分類される。

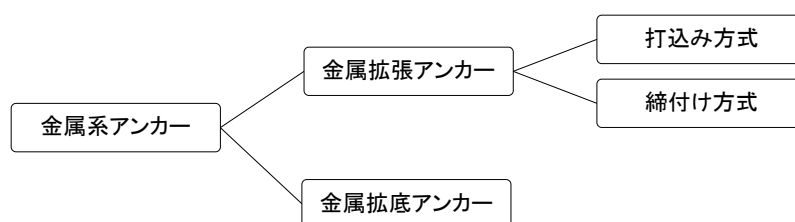


図-2.1.2 金属系アンカーの種類<sup>1)</sup>

接着系アンカーは、母材コンクリートの孔壁部とアンカー筋との空隙に接着剤を充填し、コンクリートの孔壁にアンカー筋を定着するものである。接着剤の充填方法により、カプセル方式と注入方式に区分されている（図-2.1.3）。接着剤は無機系と有機系があり、有機系はエポキシ系とアクリル系に分類される。

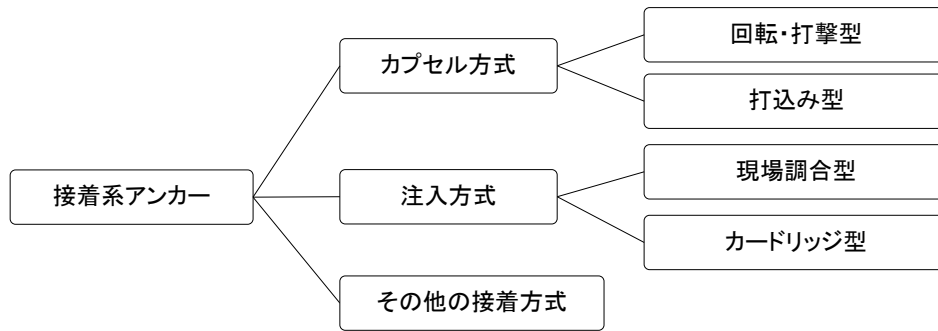


図-2.1.3 接着系アンカーの種類

### 2.1.2 あと施工アンカーの生産実績

一般社団法人日本建築あと施工アンカー協会が実施した、平成 25 年「あと施工アンカーの生産実績」調査<sup>2)</sup> (以下、実績調査) に示されるあと施工アンカーの生産実績を図-2.1.4、図-2.1.5 に示す。図-2.1.4 が生産量、図-2.1.5 が生産金額である。金属系アンカーと接着系アンカーで全体の生産量の約 45% を占め、生産金額も約 85% を占めている。その他のアンカー類は生産量が最も多いが、対象母材に応じて様々なものがある。

合計：667,812 (単位：千本)

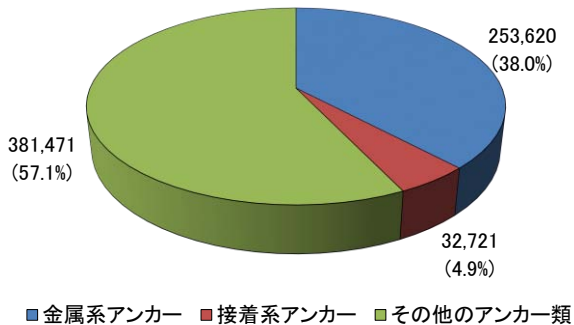


図-2.1.4 あと施工アンカー工法ごとの生産量<sup>2)</sup>

合計：20,227,513 (単位：千円)

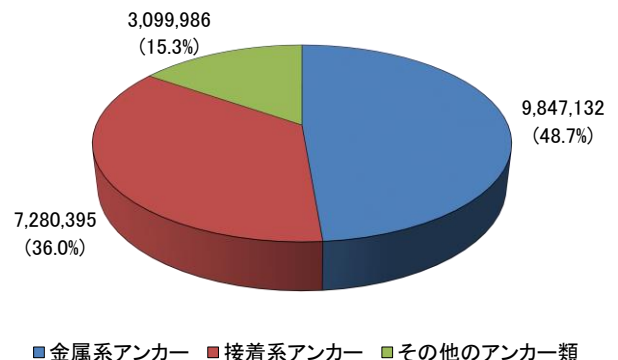


図-2.1.5 あと施工アンカー工法ごとの生産金額<sup>2)</sup>

金属系アンカーにおける生産実績が図-2.1.6、図-2.1.7 である。拡張アンカーがほぼ 100% の生産量と生産金額を占めており、拡底アンカーの実績はかなり小さかった。国総研が別途行ったメーカーヒアリングによれば、土木構造物において使用実績が多いのは「スリーブ打ち込み式」ということであった。図-2.1.6 及び図-2.1.7 において、スリーブ打ち込み式 A とスリーブ打ち込み式 B の合計は、生産量では 4.1%、生産金額では 6.3% である。

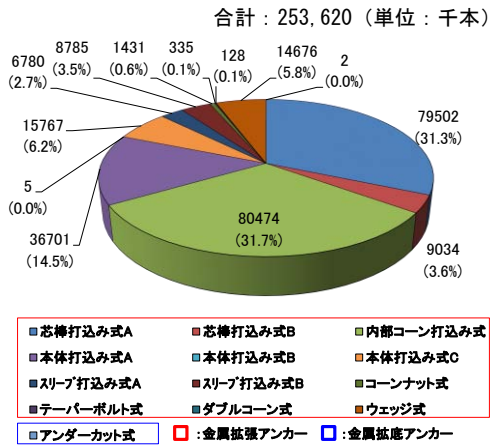


図-2.1.6 金属系アンカーの生産量

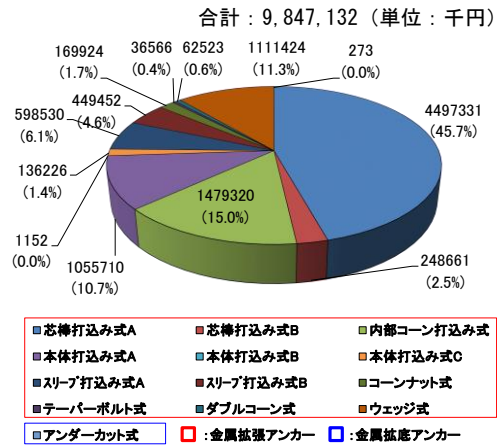


図-2.1.7 金属系アンカーの生産金額

接着系アンカーの生産実績が図-2.1.8、図-2.1.9である。なお、接着系アンカーのうち「現場調合2液混合式」について174,589kg生産されているが、単位が異なるため図-2.1.8の生産量に含めていない。

カプセル方式の生産量は「有機系回転打撃式ガラス管式」が56.8%で最も多く、生産金額も45.7%を占めている。注入方式については「現場調合2液混合式」が生産量の図に含まれておらず比較できないため、生産金額のみで比較した場合、「有機系カートリッジ型ミキシングノズル式」が36.0%で最も大きい。

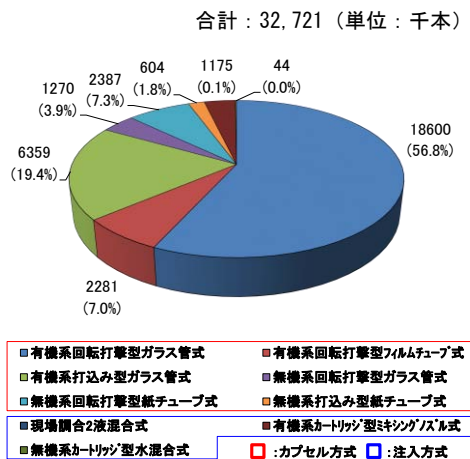


図-2.1.8 接着系アンカーの生産量<sup>2)</sup>

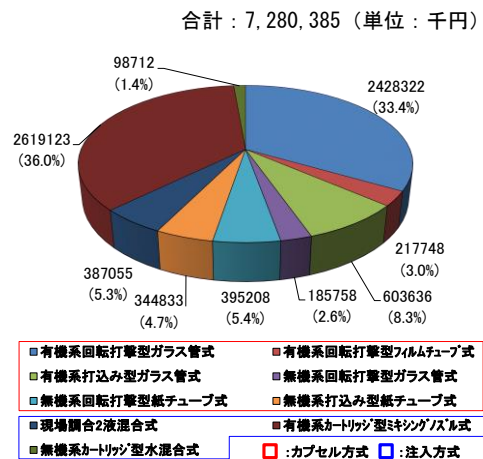


図-2.1.9 接着系アンカーの生産金額<sup>2)</sup>

## 2.2 あと施工アンカーに生じる不具合の抽出

### 2.2.1 あと施工アンカーに関係した既知の不具合例の整理

既設の道路構造物に用いられているあと施工アンカーに生じる不具合の内容を抽出するため、あと施工アンカーに関係した不具合事例について、既往の文献を調査した。2002年頃の橋梁の耐震補強工事におけるアンカーボルトの埋め込み長不足<sup>3)</sup>、2011年3月の東日本大震災によるトンネルの天井版や配管ダクト等に使用されているあと施工アンカーの抜けだし<sup>4)</sup>、2012年12月の笹子トンネルの天井板及び隔壁板等の落下事故<sup>5)</sup>において不具合事例が報告されている。

これらの文献を調査した範囲において、不具合事例の内容と発生要因について整理した結果を表-2.2.1に示す。文献調査の結果から、あと施工アンカーに関係した不具合は、設計不具合、施工不良、経年劣化等の様々な要因で生じていることが確認された。

表-2.2.1 あと施工アンカーの不具合内容と発生要因の例（文献調査）

種別	項目	内容	発生要因	参考文献
接着系アンカー	ボルトの埋め込み長不足	ボルトの埋め込み長不足 引抜き強度のばらつき	設計時の配慮不足 施工不良	3)
	アンカーボルトの定着長不足	ボルト先端と孔底の不一致による定着長不足	設計時の配慮不足 施工不良	5)
	アンカーボルトの定着長不足、充填不足	コンクリート内部空隙への接着剤流出	施工不良	5)
	アンカーボルトの硬化不良、付着不良	接着剤の攪拌不足・まわり込み不足	施工不良	5)
	接着剤の強度低下	経年による接着剤の疲労や材料劣化（加水分解）による強度低下の可能性	経年劣化	5)
	アンカーボルトの付着不良	付着面における亀裂や空洞の発生による付着力低下の可能性	経年劣化	5)
	アンカーボルトの腐食・破断	接着剤の充填不良箇所において水の浸入によるボルトが腐食・破断	経年劣化	5)
金属系アンカー	金属拡張アンカーボルトの拡張不足	アンカーの拡張不足により設計上必要な引抜耐力を満足せず抜け出しが発生	施工不良	4)
	おねじタイプに比べて耐力の小さいめねじタイプの使用	設計上必要な引抜耐力を満足せず抜け出しが発生	施工不良	4)

また、今回実施した文献調査では確認されなかったものの、既存の図書<sup>6)</sup>においてあと施工アンカーに不具合を生じさせる可能性のある項目として挙げられているものについても表-2.2.2のように整理した。

表-2.2.2 文献<sup>6)</sup>に示されるあと施工アンカーの不具合内容と発生要因の例

種別	項目	内容	発生要因
接着系アンカー	アンカーボルトの削孔不良（斜め）	鉄筋等の支障物を避けるために斜削孔。アンカーボルトを曲げて固定となるので母材自体が損傷	設計ミス、施工不良
接着系アンカー 金属系アンカー	アンカーボルトの削孔不良（削孔径大）	アンカーボルトの削孔径大による接着剤の充填不足	設計ミス、施工不良
接着系アンカー 金属径アンカー	アンカーボルトの削孔不良（削孔深さ浅い）	アンカーボルトの削孔深さ浅いによるアンカーボルトの定着長不足	設計ミス、施工不良
接着系アンカー 金属系アンカー	アンカーボルトの削孔不良（清掃不足）	アンカーボルトの削孔の清掃不足による付着不良	施工不良

## 2.2.2 性能評価手法において模擬の対象とする不具合の定義

2.2.1 で整理した不具合の整理結果を基に、あと施工アンカーに生じる可能性のある不具合について表-2.2.3 のとおり分類した。そして、本研究で考える性能評価手法において模擬する不具合を①～⑪まで設定した。表-2.2.4 に模擬する不具合の定義を示す。

表-2.2.3 あとアンカーボルトの不具合内容と分類

アンカー種別	あと施工アンカー不具合内容	不具合の分類												
		接着系アンカー									金属系アンカー			
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪		
接着系アンカー	ボルトの埋め込み長不足	○												
	鉄筋の有無による削孔精度		○											
	ボルト鋼材の腐食・減肉が原因であるボルト破断			○	○									
	コンクリート内部空隙への接着剤流出による定着長不足					○								
	ボルト先端と孔底の不一致による定着長不足、接着剤の攪拌不足・まわり込み不足					○	○			○				
	固着不良（上向き施工時の養生不良）					○		○						
	削孔不良（削孔深さが大きい）					○				○				
	固着不良（カプセル方式の攪拌不足・過剰攪拌）						○							
	削孔径が原因である接着系ボルトの引張強度不足						○		○					
	経年による付着面における亀裂や空洞の発生による付着力低下								○					
削孔不良（孔内清掃不足）								○						
金属系アンカー	金属拡張アンカーの拡張不足											○		
	固着不良（打ち込み不足）											○		
接着系アンカー 金属系アンカー	削孔不良（ドリル径が大きい）								○				○	

表-2.2.4 模擬する不具合の定義

アンカー種別	不具合ケース		不具合内容の定義
接着系アンカー	①	鋼材長不足	所定の深さまで鋼材が埋め込まれていない状態
	②	斜め削孔	鉄筋の干渉等により削孔が斜めに実施され、斜行している孔に対して斜めにあと施工アンカーが設置されてしまった状態
	③	鋼材破断	水の侵入などによってあと施工アンカーが腐食し、埋め込まれている部分であと施工アンカーが破断している状態
	④	鋼材腐食	水の侵入などによって埋め込まれている部分であと施工アンカーが腐食している状態
	⑤	充填不足	接着剤の未充填部がある状態
	⑥	硬化不良	接着剤の硬化不良を生じている状態
	⑦	付着不良	清掃不足によって接着剤の所要の付着力が発揮できない状態
	⑧	削孔径大	削孔径が所定の大きさよりも大きい状態
	⑨	削孔長深	あと施工アンカー埋め込み長よりも削孔長が深い状態
金属系アンカー	⑩	拡張不足	金属スリーブの埋め込み深さが不足し、所定の拡張が満足されていない状態
	⑪	削孔径大	削孔径が所定の大きさよりも大きい状態

### 2.3 あと施工アンカーを施工する構造物の状態の模擬

土木構造物へのトンネルの換気ダクトや標識等の付帯設備の取り付けは、あと施工アンカーにナットによって固定される場合がある。その場合、固定する際のナットの締め付けや何らかを吊り下げることによってアンカーボルトには初期軸力が導入される。また、あと施工アンカーはその用途によって、母材コンクリートの端部付近やコンクリートにあらかじめ埋め込まれている支柱の近傍に設置しなければならない場合がある。さらに、実構造物では構造的要因や環境要因等によってコンクリートのひび割れや経年劣化によるコンクリート表面の荒れ、凹凸等が生じる場合がある。これらは、あと施工アンカー自体に発生する不具合ではないが、あと施工アンカーの非破壊検査に用いる検査機器の原理や仕様によっては、適用性や検査精度に影響を及ぼす可能性がある。そこで、本研究では 2.2.2 で定義した不具合を模擬することに加えて、以下の状態を模擬することとした。

- 1)あと施工アンカーが健全な状態で施工されている状態
- 2)あと施工アンカーに軸力が導入されている状態
- 3)母材コンクリートにひび割れや表面の凹凸が生じている位置にあと施工アンカーが施工された状態
- 4)あと施工アンカーが母材コンクリートの端部付近に施工された状態
- 5)支障物またはそれらが撤去された位置の近傍にあと施工アンカーが施工された状態

なお、母材コンクリートにひび割れや表面の凹凸が生じている状態を模擬することは難しく、3)～5)については実構造物から撤去された部材を用いることとした。

#### 2.4 非破壊検査技術の性能検証供試体に用いるあと施工アンカーの種別

非破壊検査技術の性能検証供試体に用いるあと施工アンカー種別は、土木構造物での使用実績があり、さらに、2.2 で定義したあと施工アンカーに生じる不具合を適切に模擬できる必要がある。2.1 のあと施工アンカーの実績調査結果も踏まえ、本研究で対象とするあと施工アンカー種別を選定した。金属系アンカーにおいては、金属拡底アンカーの実績が著しく小さいことから、金属拡張アンカーから1種類の方法を選定することとした。接着系アンカーにおいては、カプセル方式と注入方式で施工方法が大きく異なることから、それぞれの方式から1種類ずつ選定することとした。選定結果と選定理由を表-2.3.1 に示す。

表-2.4.1 本研究で使用するあと施工アンカー

アンカー種別	固着方式	選定理由
金属系アンカー	スリーブ打ち込み式	金属系アンカー全体に対する生産実績の割合は小さいが、土木構造物において使用実績が多いと考えられるため
接着系アンカー (カプセル方式)	有機系回転打撃型 (ガラス管式)	カプセル方式の中で生産実績が最も多いと考えられるため
接着系アンカー (注入方式)	現場調合2液混合式	接着剤注入量を管理しやすい (充填不足を正確に管理できる) と考えられるため

## 2.5 非破壊検査技術の概要

今回の共同研究で共同研究者が用いた各検査技術の機器仕様ならびに装置の特徴を表-2.5.1 に示す。それぞれの機器仕様及び装置の特徴については、検査実施前に共同研究者に対するアンケートによって調査したものである。キャリブレーションとは、健全なアンカーに対する事前計測をいう。軸力（締付けトルク）の影響とはナットの締付けによってアンカーボルトに軸力が生じている場合の影響をいう。

表-2.5.1 非破壊検査技術の機器仕様及び装置の特徴

技術名	検知対象とする(検知可能と考えられる)事象	入力事象	入力位置	出力事象	計測位置	キャリブレーションの必要性	軸力(締付けトルク)の影響の有無
技術A	アンカーボルトの定着部の内部充填の有無 アンカーボルトの異常	弾性波(ハンマーによる打撃)	ボルト頭部	ボルトから生じる音	ボルト近傍の空間	必用	有
技術B	アンカーボルトの長さ アンカーボルトの腐食の有無、位置 アンカーボルトの亀裂の有無、位置	超音波	ボルト頭部	ボルト内部の反射波	ボルト頭部	必用	有
技術C	アンカーボルトの健全性	弾性波(加速度計内臓ハンマーによる打撃)	ボルト頭部	打撃反力の時間波形	ハンマーに内蔵された加速度計	不要	有
技術D	アンカーボルトとコンクリートの境界面の付着状態 アンカーボルトの固着状態 アンカーボルトの損傷等	弾性波(インパクトハンマーによる打撃)	ボルト頭部	ボルト、コンクリート内部を伝搬した弾性波	ボルト横の母材コンクリート表面	不要	有
技術E	アンカーボルトとコンクリートとの付着状況	弾性波(鉄球による打撃)	ボルト近傍のコンクリート表面	コンクリート内部およびコンクリート内部を伝搬した弾性波	ボルト横の母材コンクリート表面とボルト頭部	不要	有
技術F	アンカーボルトの引張耐力	引張荷重(直接引張による載荷)	ボルト突出部	ボルトの引張荷重	ボルト突出部	不要	有
技術G	アンカーボルト接着量 アンカーボルトの樹脂充填率 アンカーボルトの締付けトルクの緩み あと施工アンカー定着部の健全性 アンカーボルトの樹脂充填状況	電磁波(電磁パルス)	ボルト側面	ボルトの振動によって生じる可聴音	ボルト側面の空間	必用	有
技術H		電磁波(電磁パルス)	ボルト側面	ボルトの振動によって生じ、ボルト、コンクリート内部を伝搬した弾性波	ボルト横の母材コンクリート表面とボルト頭部	必用	有
技術I	アンカーボルト定着部の健全性 アンカーボルトの樹脂充填量 アンカーボルトの締付け耐力	弾性波(ハンマーによる打撃)	ボルト頭部及びボルト側面	ボルトへの打撃力、ボルト及びコンクリートを伝搬した振動の音圧	ボルト横の母材コンクリート表面と	不要	有



## 【第2章 参考文献】

- 1) コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針（案）、（社）土木学会、コンクリートライブラリー144、平成26年3月
- 2) 平成25年 あと施工アンカー生産実績調査結果報告書、（社）日本建築あと施工アンカー協会、平成26年7月
- 3) 日経コンストラクション、平成15年5月9日、平成16年5月28日
- 4) 東日本大震災による耐震対策報告書（暫定版）、震災復興支援会議 設備被害対策検討委員会、平成24年9月
- 5) トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会 報告書、トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会、平成25年6月18日
- 6) あと施工アンカー施工指針（案）・同解説、（社）あと施工アンカー協会、平成17年5月



### 第3章 あと施工アンカーの非破壊検査技術性能検証供試体

#### 3.1 供試体概要

##### 3.1.1 供試体の種類

あと施工アンカーの非破壊検査技術の性能検証に使用する供試体種類を表-3.1.1 に示す。  
 なお、各供試体に配置したあと施工アンカーの不具合内容については各章で示す。

表-3.1.1 供試体概要

供試体名	検証内容	形状	供試体数	あと施工アンカー設置数
模擬供試体①	・非破壊検査技術の特徴に関する基礎的調査（第4章）	中空ボックス型	2体	63本
模擬供試体②	・非破壊検査技術の性能評価手法の検討（第5章）	版型	3体	36本
実部材供試体	・非破壊検査技術の性能評価手法の検討（第5章） ・あと施工アンカーの不具合と引張耐力の関係性の検証（第6章）	PC床版地覆部 （撤去部材）	1体	32本※
健全供試体	・非破壊検査技術の性能評価手法の検討（第5章）	版型	1体	9本

※32本中20本は撤去部材で用いられていた既設のアンカー

##### 3.1.2 コンクリートの強度試験結果

模擬供試体及び健全供試体に用いたコンクリートの材齢28日における強度試験結果と実部材供試体に用いた撤去部材から採取したコンクリートの強度試験結果を表-3.1.2 に示す。  
 実部材供試体については、撤去部材のPC床版地覆部から別々の位置でコンクリートコアを3本採取し、3本の試験結果の平均値を示した。

表-3.1.2 コンクリートの強度試験結果（模擬供試体、健全供試体）

供試体種類	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
模擬供試体①	21	21.3	26.0	2.28
模擬供試体② 健全供試体		24.8	-	2.40
実部材供試体	-	26.9	25.0	-

### 3.1.3 供試体の形状寸法

#### (1) 模擬供試体①

あと施工アンカーは様々な構造に使用され、また、様々な向きで施工されている。このため、検査向き（上向き、横向き、下向き）が非破壊検査の精度や作業性等の基本性能に及ぼす影響についても検証できるように、中空ボックス型の供試体とした。模擬供試体①の詳細図を図-3.1.1に示す。

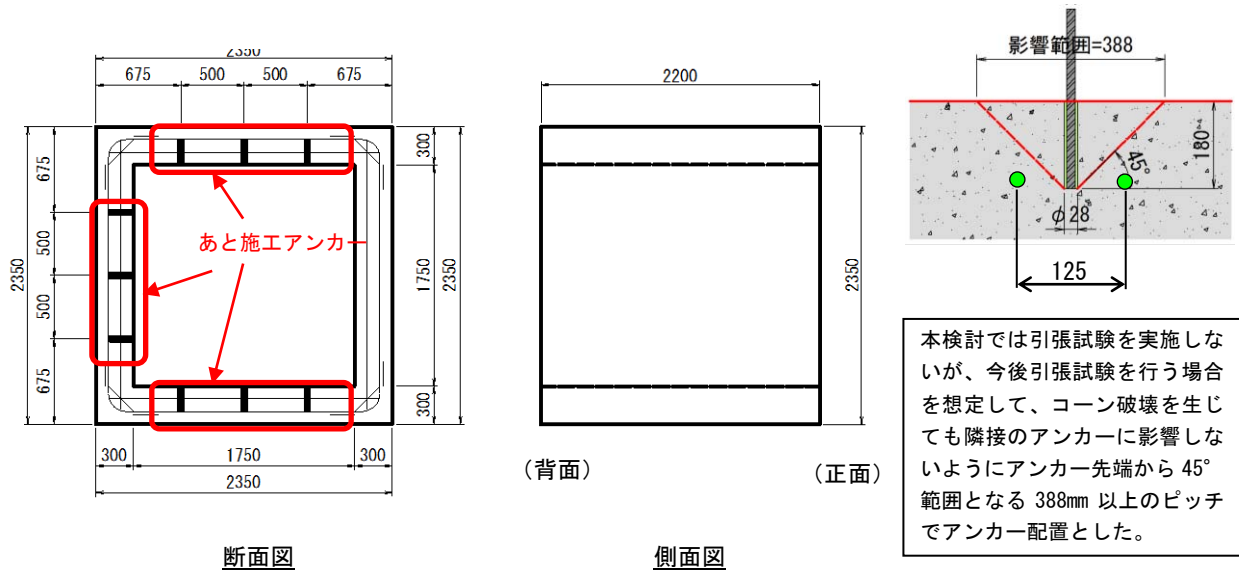


図-3.1.1 模擬供試体① 詳細図

#### (2) 模擬供試体②、健全供試体

模擬供試体②は予備情報（健全供試体の図面又は測定データ）の有無が検査性能に与える影響や不具合内容と耐力低下の相関について確認する試験を行うことを想定している。接着系アンカーにおいて接着剤の充填不足を模擬する場合、施工向きによって未充填部の位置が異なる。上向きに施工されたあと施工アンカーの場合、あと施工アンカーの先端に未充填部が存在するように充填不足を模擬しなければならないが、接着剤の漏出を防ぎながら充填量を管理するのが難しい。そこで、模擬供試体②については、充填不足を模擬しやすい下向きの施工ができる版型の供試体とした。あと施工アンカーに模擬する不具合の施工方法については3.2.2に示す。模擬供試体②の詳細図を図-3.1.2、健全供試体の詳細図を図-3.1.3に示す。

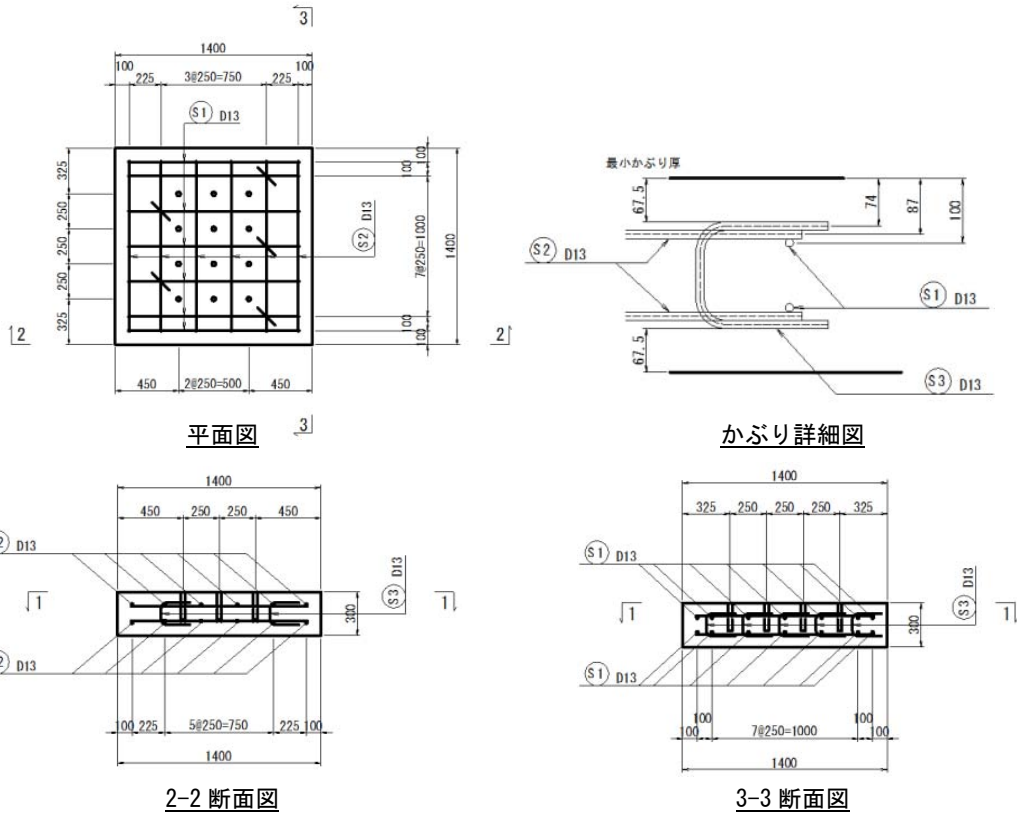


図-3.1.2 模擬供試体② 詳細図

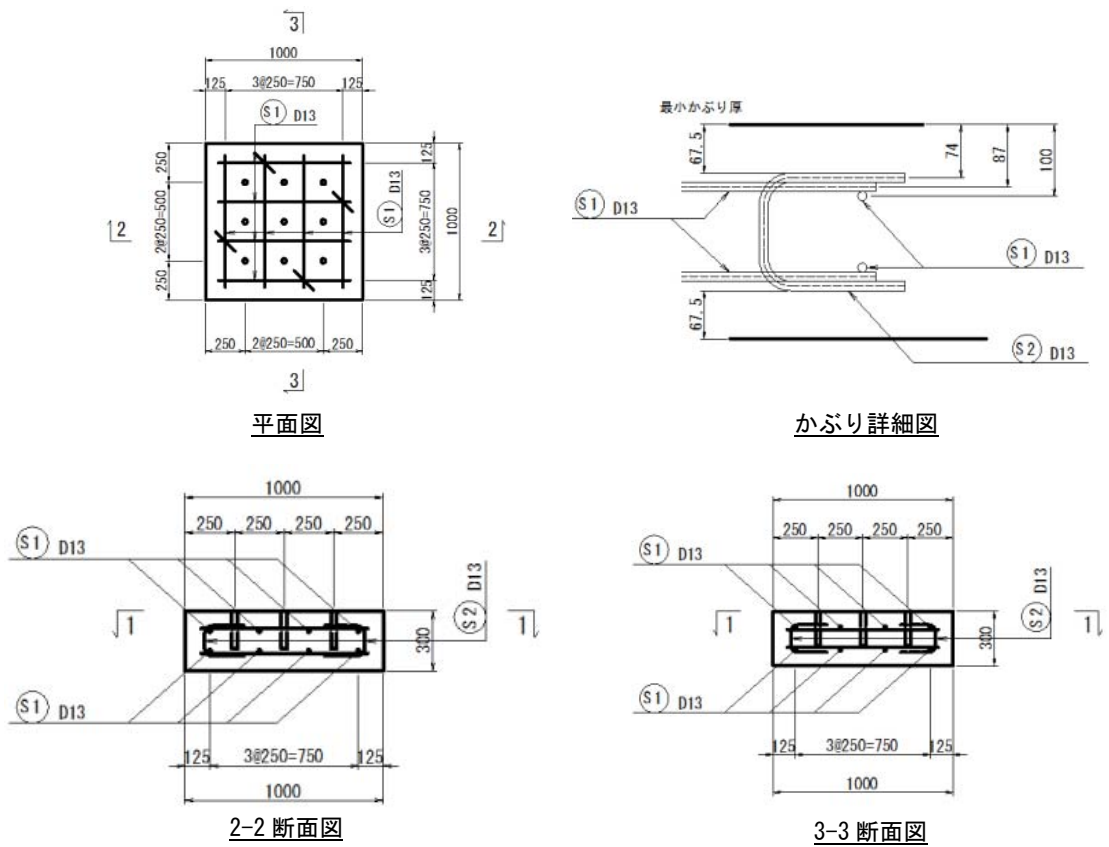


図-3.1.3 健全供試体 詳細図

### (3)実部材供試体

実部材供試体には、実構造物に生じているコンクリート劣化やひび割れ、標識柱跡等の支障物が非破壊検査結果に及ぼす影響を確認することを想定し、橋梁架け替えによって撤去された PC 床版橋を用いた。撤去橋梁の諸元を表-3.1.3 に示す。PC 床版橋地覆部のひび割れ等の損傷が生じていない位置からコンクリートのコアを採取して材料調査を行った結果を表-3.1.4 に示す。

表-3.1.3 撤去橋梁緒元

橋梁形式	支間長	完成年	撤去時期	桁長
PCプレテンション床版橋	12.0m	1972年	2013年	約12.5m

表-3.1.4 材料調査結果

試験項目		試験結果	備考
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		26.9	起点、中間点、終点の3箇所の平均値
引張強度 (kN/mm <sup>2</sup> )		1.9	起点、中間点、終点の3箇所の平均値
中性化深さ (mm)	最小値	0	3箇所の平均値
	最大値	0.5	
	平均値	0.1	
塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> )	0~20mm	3.1	3箇所の平均値
	20~40mm	2.3	

撤去橋梁から採取した実部材の損傷図（外観調査結果）を図-3.1.4 に示す。地覆部には0.1~1.2mmのひび割れが発生し、写真-3.1.1は図-3.1.4中の写真番号8と記載がある位置を撮影した写真である。コンクリート表面は経年劣化（約40年経過）により骨材まわりのゆるみや表面の荒れが目立つ状態になっている。



ひび割れ幅=0.5mm  
(図-3.1.4の写真番号8)

写真-3.1.1 地覆コンクリート表面状況 (図-3.1.4: 写真番号8)

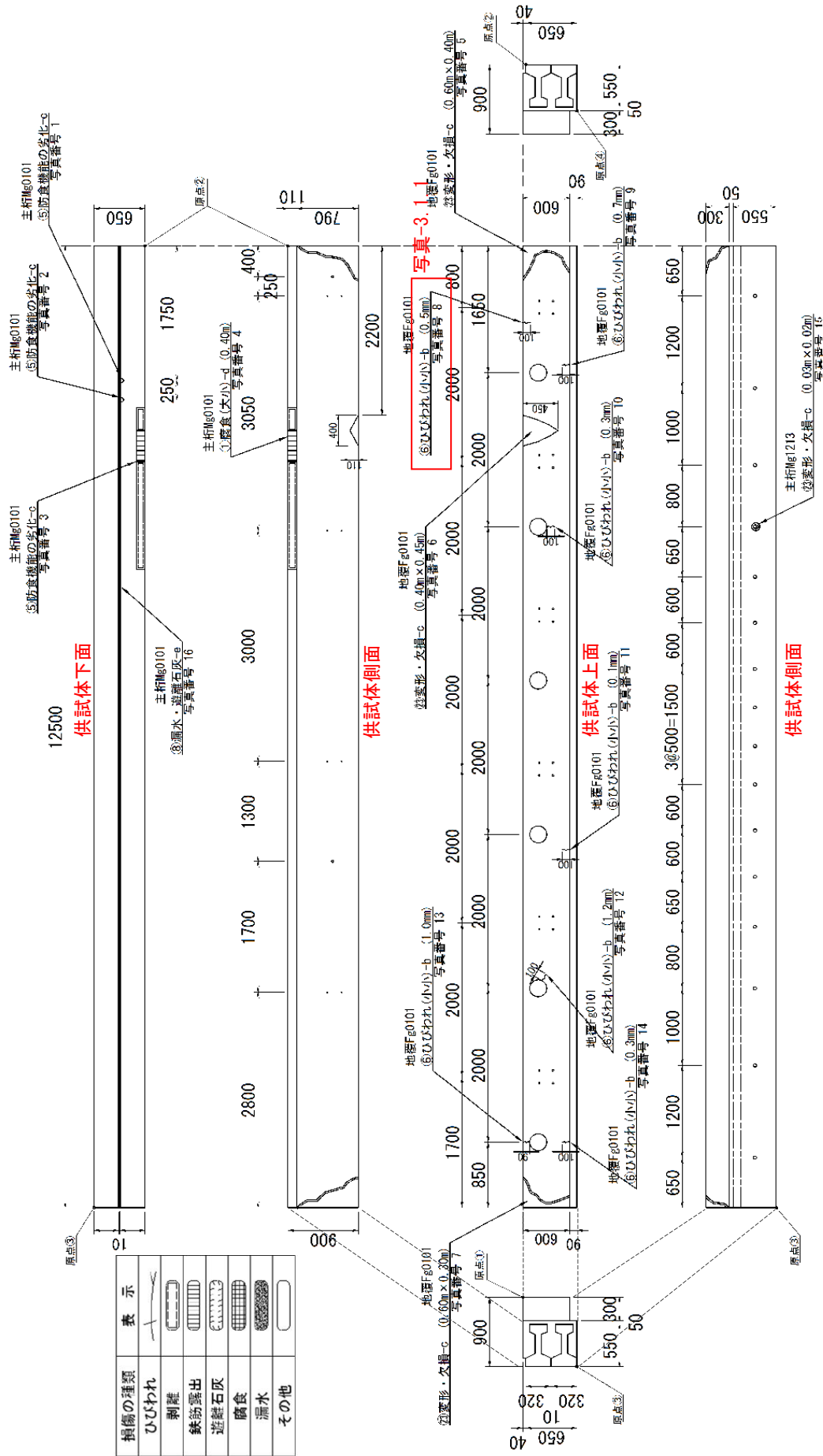


図-3.1.4 実部材損傷図 (外観調査結果)

### 3.2 あと施工アンカーの施工

#### 3.2.1 あと施工アンカーの使用材料

あと施工アンカーの使用材料を表-3.2.1 に示す。アンカーボルトには SS400 の全ねじボルトを使用し、コンクリート面から突出する部分に溶融亜鉛メッキ (HDZ35) を施した。アンカーボルト径は接着系アンカーで 16mm、18mm、金属系アンカーで 16mm、24mm を使用した。これ以降、アンカーボルトをそれぞれ M16、M18、M24 と表記する。また、接着系アンカーカプセル式のボルト先端は片面 45° カットとし、接着系アンカー注入式と金属系アンカーのボルト先端は寸切りとした。接着系アンカーの接着剤にはエポキシ樹脂、金属系アンカーのスリーブにはスリーブ打込み式の M16 用、M24 用を使用した。なお、以降アンカー種別については、接着系アンカーカプセル式を「樹脂カプセル」、接着系アンカー注入式を「樹脂注入」、金属系アンカーを「金属スリーブ」と表記する。

表-3.2.1 あと施工アンカーの使用材料

アンカー種別	接着系アンカー カプセル式	接着系アンカー 注入式	金属系アンカー
アンカーボルト種類	全ねじボルト SS400 突出部溶融亜鉛メッキ (HDZ35)		
ボルト呼び径	M16、M18		M16、M24
接着剤	エポキシ樹脂カプセル	エポキシ樹脂注入	—
スリーブ	—	—	スリーブ打込み式 M16 用、M24 用

#### 3.2.2 あと施工アンカーの施工方法

##### (1)あと施工アンカーの定着状態の定義

あと施工アンカーの定着状態の定義を図-3.2.1 に示す。有効埋め込み深さ母材表面からアンカーボルト先端までの長さとして定義した。なお、先端部に所定の角度があるアンカーボルトはその部分を除いた距離とする。

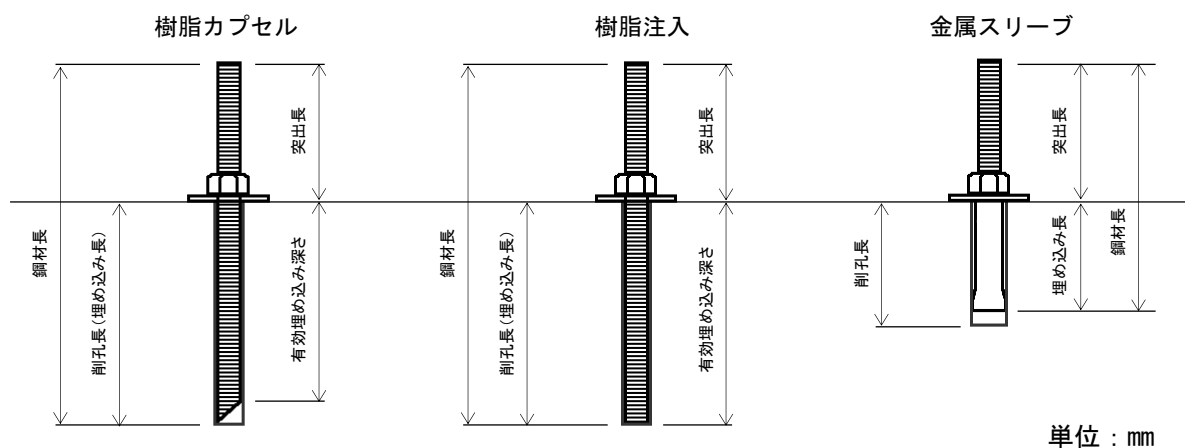


図-3.2.1 あと施工アンカー一定着状態の定義



(2)健全なあと施工アンカー

不具合を模擬したあと施工アンカーの検査性能を把握するためには、不具合を有する供試体に対して検査した結果の分析のみではなく、健全なアンカーに対する検査結果と比較することも必要である。そこで、健全なあと施工アンカーも検査した。接着系アンカーの埋め込み長はアンカーボルト径の 10 倍とした。以降、埋め込み長及び削孔長についてはアンカーボルトの直径の倍数で表記することとし、埋め込み長が 10 倍の場合は 10D と表記する。この時 D はアンカーボルトの直径を意味する (M16 の場合、D=16mm)。また、削孔径についてはφを用いて表記する。削孔径は使用するアンカーの仕様によって異なるため、メーカーカタログに示された値を用いた。金属系アンカーについてはメーカーカタログを参考に埋め込み長を決定した。健全なアンカーの仕様を表-3.2.2～表-3.2.3、あと施工アンカーの施工図を図-3.2.1 に示す。

表-3.2.2 健全なあと施工アンカーの仕様 (樹脂系)

アンカー種別	施工方向	アンカー呼び径 (mm)	変状ケース	埋め込み長 (mm)	削孔長 (mm)	削孔径 (mm)	樹脂充填率 (%)
樹脂カプセル	下向き	M16	なし	10D	10D	19	100
樹脂注入	下向き	M16	なし	10D	10D	26	100
	下向き	M16	なし	10D	10D	28	100

表-3.2.3 あと施工アンカーの仕様 (金属系)

アンカー種別	施工方向	アンカー呼び径 (mm)	変状ケース	埋め込み長 (mm)	削孔長 (mm)	削孔径 (mm)
金属スリーブ	下向き	M16	なし	72	72	22.5
	下向き	M24	なし	125	125	33

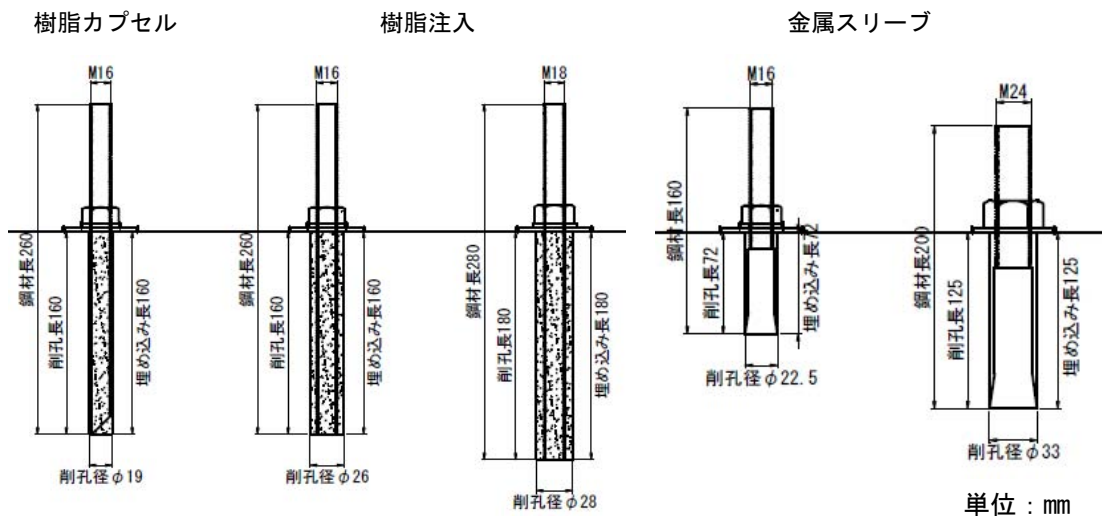


図-3.2.2 あと施工アンカー施工図 (健全)

### (3)不具合の模擬方法

表-2.2.4 で定義した 11 種類の不具合の模擬方法を①～⑪に示す。なお、模擬供試体①については今後も非破壊検査の性能評価試験に活用することを想定しており、模擬した不具合の内容・配置等の詳細はこの報告書では明らかにしない。以下に、模擬供試体②、実部材供試体における不具合の模擬方法について示す。

#### ①埋め込み長不足

埋め込み長不足は、アンカーボルトの付着強度を低下させる可能性のある不具合である。

埋め込み長不足の発生要因は、設計ミスと施工不良が考えられる。施工不良の場合、アンカーボルト設置のための削孔中に既設鉄筋が干渉し、削孔が短くなりそのままアンカーボルトを設置してしまうケースが考えられる。

埋め込み長不足の模擬は、削孔長と埋め込み長がともに短いケース（削孔長と埋め込み長の長さが同一）のみを設定した。なお、埋め込み長不足は削孔長に対して埋め込み長が短い場合も想定されるが、模擬が困難であるため対象外とした。

ボルト埋め込み長の設定は、表-3.2.4 のとおり埋め込み長不足があと施工アンカーの引張耐力に及ぼす影響について樹脂カプセルの M16 のアンカーボルトで試算した結果をもとに決定した。あと施工アンカーの設計降伏耐力を式 3.2.1、設計コンクリートコーン状破壊耐力を式 3.2.2、設計付着耐力を式 3.2.3 で求めた<sup>1)</sup>。あと施工アンカーの設計引張耐力は、これらのうち最も小さいものとした。

$$T_y = f_{y,d} \times a_0 \quad (3.2.1)$$

ここに、 $T_y$ ：あと施工アンカーの設計降伏耐力(kN)

$f_{y,d}$ ：アンカーボルトの素材の設計引張降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)

$a_0$ ：アンカーボルトの最小断面積(mm<sup>2</sup>)

$$T_{cd} = \alpha \times A_{a0} \times f_{cd}^{1/2} \quad (3.2.2)$$

ここに、 $T_{cd}$ ：あと施工アンカーの設計コンクリートコーン状破壊耐力(kN)

$\alpha$ ：あと施工アンカーの種別係数(接着系アンカーは 0.23)

$A_{a0}$ ：母材のコーン状破壊面の有効水平投影面積(mm<sup>2</sup>)

$f_{cd}$ ：母材コンクリートの設計圧縮強度 mm<sup>2</sup>)

$$T_{bd} = \tau_{ad} \times D_{a0} \times l_0 \times \pi \quad (3.2.3)$$

ここに、 $T_{bd}$ ：あと施工アンカーの設計付着耐力(kN)

$\tau_{ad}$ ：アンカーボルトの設計付着強度(N/mm<sup>2</sup>)

$D_{a0}$ ：アンカーボルトの直径(mm)

$l_0$ ：アンカーボルトの有効埋め込み長さ(mm)

試算は健全なアンカーの埋め込み長である 10D、埋め込み長を短くした 8.125D(130mm)、5D、2.5D の 4 種類実施した。最も埋め込み長が短い 2.5D と健全アンカーの半分である 5D ではコーン状破壊となり、引張耐力は 2.5D の場合で 3.4kN、5D の場合で 18.1kN であった。健全アンカーから 30mm だけ埋め込み長を短くした 8.125D はコーン状破壊耐力、付着耐力

ともに降伏耐力を上回った。この試算結果から健全なアンカーよりも埋め込み長は短くなっているものの、引張耐力の低下が生じないと考えられる 8.125D と引張耐力が低下しコーン状破壊が生じると考えられる 5D と 2.5D を模擬することとした。

土木学会の設計・施工指針<sup>1)</sup>によると接着系アンカーの設計付着強度は接着剤の種別により変わらないとされているため、アンカータイプは樹脂カプセルとした(表-3.2.5、図-3.2.3)。

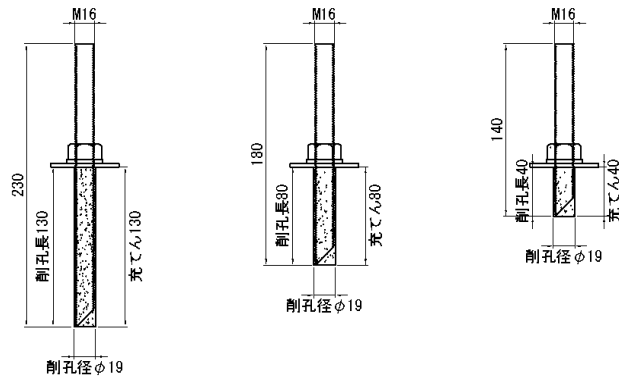
表-3.2.4 埋め込み深さと引張耐力(破壊形態)の試算<sup>1)</sup>

模擬ケース				標準	短い		
				(10D)	(8.125D)	(5D)	(2.5D)
アンカー径	D	(mm)	16	16	16	16	
<b>アンカー諸元</b>							
アンカー筋呼び径	D0	(mm)	16	16	16	16	
ボルト埋め込み長(鋼材長)	l	(mm)	160	130	80	40	
削孔長	L	(mm)	170	140	90	50	
先端カット		(°)	45	45	45	45	
有効埋め込み深さ	le	(mm)	144	114	64	24	
<b>①設計降伏耐力</b>							
アンカー筋最小断面積	a0	(mm <sup>2</sup> )	157	157	157	157	
設計引張降伏強度	f <sub>yd</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	235	235	235	235	
設計降伏耐力	T <sub>yd</sub>	(kN)	36.9	36.9	36.9	36.9	
<b>②設計コンクリートコーン状破壊耐力</b>							
コンクリートの設計圧縮強度	f <sub>cd</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	24	24	24	24	
アンカー種別係数	α		0.23	0.23	0.23	0.23	
アンカー径	D0	(mm)	16	16	16	16	
有効投影断面積	A <sub>c</sub>	(mm <sup>2</sup> )	72382	46558	16085	3016	
コーン状破壊耐力	T <sub>cd</sub>	(kN)	81.6	52.5	18.1	3.4	
<b>③設計付着耐力(接着系アンカー)</b>							
設計付着強度	T <sub>ad</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	
設計付着破壊耐力	T <sub>bd</sub>	(kN)	77.4	61.3	34.4	12.9	
<b>④引張耐力</b>							
引張耐力	T	(kN)	36.9	36.9	18.1	3.4	
破壊形態	: min(①、②、③)		鋼材降伏	鋼材降伏	コーン状破壊	コーン状破壊	

表-3.2.5 あと施工アンカー仕様（ボルトの埋め込み長不足）

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径 (mm)	変状ケース	埋込み長 (mm)	削孔長 (mm)	樹脂充填率 (%)
樹脂カプセル	下向き	M16	鋼材長・削孔長短い	8.125D (130)	10D	100
	下向き	M16	鋼材長・削孔長短い	5D		
	下向き	M16	鋼材長・削孔長短い	2.5D		

樹脂カプセル



単位：mm

図-3.2.3 あと施工アンカー施工図（ボルトの埋め込み長不足）

## ②斜め削孔

斜め削孔は、直接的にはアンカーボルトの付着強度の低下に影響を及ぼさない場合もあると考えられるが、接続する部材との応力伝達に設計との差が生じるなどの影響がある不具合である。

斜め削孔の発生要因は、埋め込み長不足と同様に既設の鉄筋に干渉して再度途中から角度をつけて削孔を開け直す施工不良や孔明け機械の不適切な設置、施工面の傾斜や凹凸が考えられる。このような場合、ボルトを途中で曲げることなく所定位置にボルトを垂直に施工するためには斜行している孔に対して斜めにアンカーを設置することになる。

事前に試験施工を行った結果から施工可能な削孔角度は $5^{\circ}$ （ボルトが削孔に干渉しない）としたが、図-3.2.4(1)のとおり、削孔径との関係でボルトを鉛直に設置することは困難であるため、ハンマードリルにより孔口付近のコンクリートを切削することにより、ボルトの垂直を確保した（図-3.2.4(2)）。

アンカータイプは(3)①と同様の理由から樹脂カプセルとした。

表-3.2.6 あと施工アンカー仕様（斜め削孔）

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径 (mm)	変状ケース	埋込み長 (mm)	削孔長 (mm)	樹脂充填率 (%)
樹脂カプセル	下向き	M16	斜め削孔	10D	10D	100

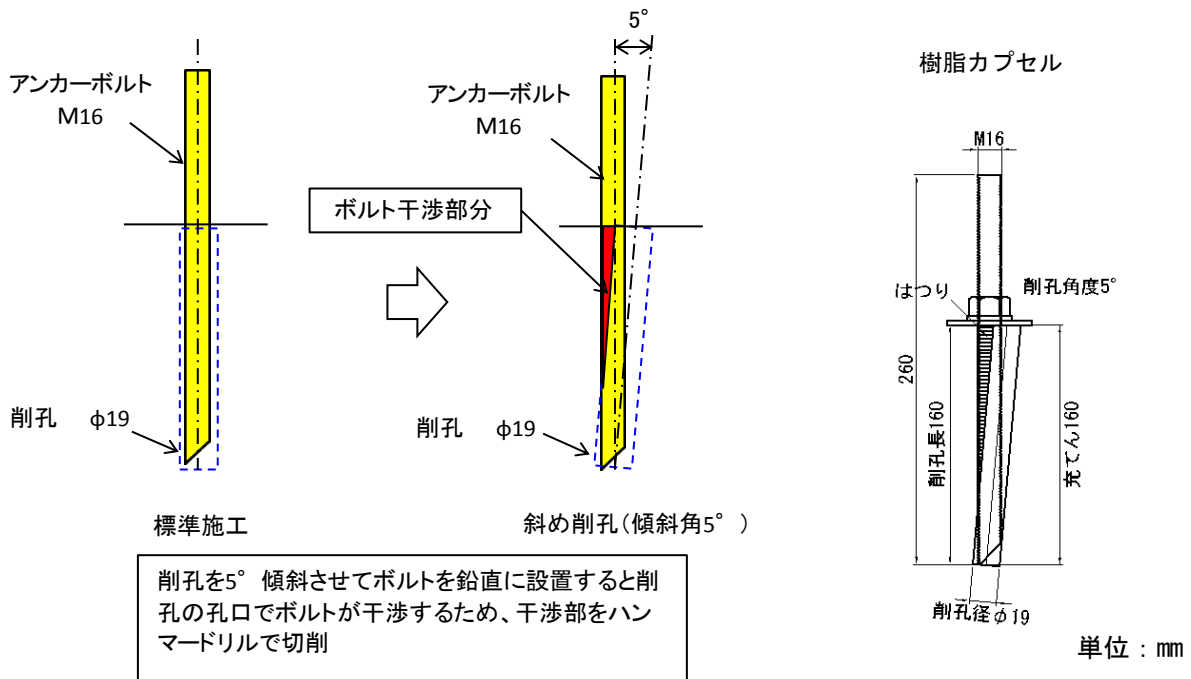


図-3.2.4(1) 斜め削孔 ボルト干渉イメージ

図-3.2.4(2) あと施工アンカー施工図(斜め削孔)

### ③鋼材破断

鋼材破断は、破断が生じている位置よりも先端側のボルトは付着強度に寄与しないため、削孔長に対して埋め込み長が短いケースと同様に付着長不足に起因するアンカーボルトの付着強度の低下が生じる不具合である。

鋼材破断の発生要因は、内部の樹脂に充填不足がある場合に、他のひび割れ等の変状から水が浸入してボルトの腐食が進行することなどが考えられる。

鋼材破断は、破断部でボルトが接触している状態と離間がある状態が存在すると考えられ、非破壊検査技術によっては検査結果にこれらの状態が影響を及ぼす可能性が考えられる。しかし、樹脂カプセルはドリルを用いて回転施工を行うため、離間がある状態を正確に模擬することは困難である。また、樹脂注入においても離間を正確に管理することは難しい。そのため、破断部でボルトが接触している状態を検査対象とすることとし、図-3.2.5のとおり中間位置 5D で一度切断したボルトを点付溶接することで鋼材破断を模擬した。

アンカータイプは(3)①と同様の理由から樹脂カプセルとした。

表-3.2.7 あと施工アンカーの仕様（鋼材破断）

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径 (mm)	変状ケース	埋込み長 (mm)	削孔長 (mm)	樹脂充填率 (%)
樹脂カプセル	下向き	M16	鋼材破断	5D	10D	100

樹脂カプセル

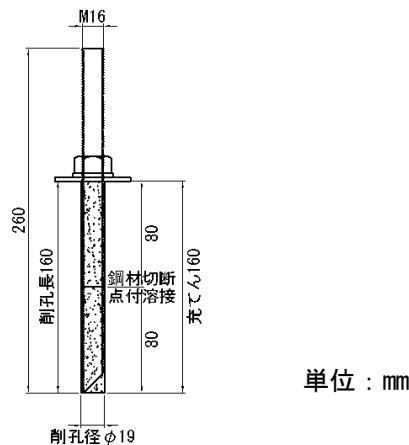


図-3.2.5 あと施工アンカー施工図（鋼材破断）



写真-3.2.1 破断ボルト（全景）



写真-3.2.2 破断ボルト（点付け溶接）

#### ④充填不足

充填不足は付着面積が低下することによりアンカーボルトの付着強度を低下させる不具合である。

充填不足の発生要因は施工箇所の不良（ひび割れや空洞、注入口の養生不足）による樹脂の流出、削孔径や削孔長の過大による樹脂不足、注入量の管理ミスによる樹脂不足などが考えられる。また、充填不足が生じた場合、施工向き（上向き、横向き、下向き）によって樹脂の偏りが生じることが想定される。そこで、下向きに施工するアンカーについては、先端充填（口元側空洞）となるように樹脂カプセルと樹脂注入で模擬した。樹脂カプセルについては、必要樹脂量が確保できる小径用のカプセルを使用することで想定した充填率を管理した。上向きに施工するアンカーについては注入口の養生不良による樹脂の漏出によって充填不足となる場合を想定し、先端空洞（口元側充填）となるように模擬した。なお、樹脂カプセルは、カプセルをアンカーボルトの打撃と回転を同時に行うことにより樹脂を充填するため、先端空洞を模擬することは困難と考え、樹脂注入のみを対象とした。また、横向きに施工するアンカーの充填不足については、削孔内の下面側に樹脂が偏ることが想定されるが、正確に模擬することは困難であるため除外した。施工向きと空洞の定義を図-3.2.6に示す。

充填不足を模擬するための樹脂量の設定にあたっては、表-3.2.8 のとおり樹脂の充填不足があつた施工アンカーの引張耐力に及ぼす影響について試算した結果をもとに決定した。充填率はメーカーカタログに示された標準的な仕様で施工した場合を 100%とし、標準量に対する充填量（充填体積）の割合で示した。試算の結果、下向き施工、上向き施工ともに降伏耐力を下回る充填率は 50%であったことから、表-3.2.9 に示すように、樹脂充填率を 50%と 25%に設定した。また、引張試験による引張耐力への影響を確認するために標準ケース（100%）と降伏耐力を下回る 50%の中間となる 75%（設計上は鋼材降伏と見込まれる条件）についても設定した（図-3.2.7～3.2.9）。

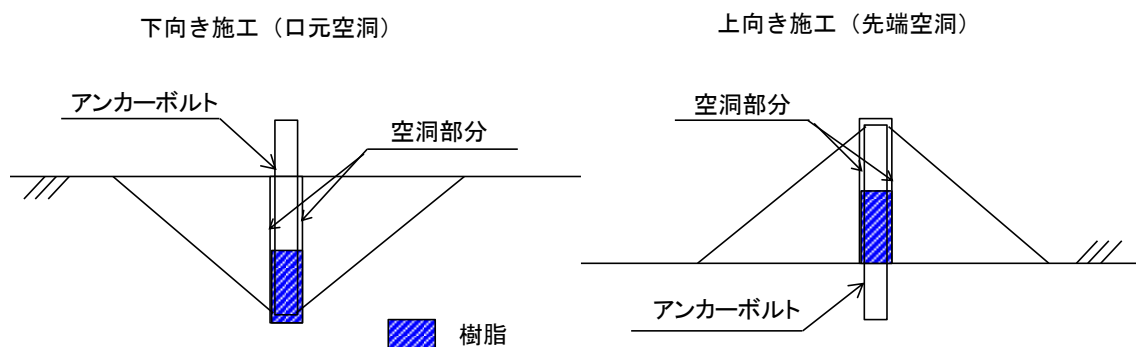


図-3.2.6 施工向きと空洞の定義

表-3.2.8 接着剤の充填不足と引張耐力（破壊形態）の試算

模擬ケース	下向き施工(口元空洞)				上向き施工(先端空洞)			
	標準 (100%)	充てん不足 (75%)	充てん不足 (50%)	充てん不足 (25%)	標準 (100%)	充てん不足 (75%)	充てん不足 (50%)	充てん不足 (25%)
アンカー径	D							
アンカー諸元								
アンカー筋呼び径	D0 (mm)	16	16	16	16	16	16	16
埋め込み深さ	l (mm)	160	160	160	160	120	80	40
削孔長	L (mm)	170	170	170	170	170	170	170
先端カット	(°)	45	45	45	45	45	45	45
①設計降伏耐力								
アンカー筋最小断面積	a0 (mm <sup>2</sup> )	157	157	157	157	157	157	157
設計引張降伏強度	f <sub>yd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	235	235	235	235	235	235	235
設計降伏耐力	T <sub>yd</sub> (kN)	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9
②設計コンクリートコーン状破壊耐力								
コンクリートの設計圧縮強度	f <sub>cd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	24	24	24	24	24	24	24
アンカー種別係数	α	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
アンカー径	D0 (mm)	16	16	16	16	16	16	16
有効埋め込み深さ	l <sub>e</sub> (mm)	144	144	144	144	104	64	24
有効投影断面積	A <sub>c</sub> (mm <sup>2</sup> )	72382	72382	72382	72382	39207	16085	3016
コーン状破壊耐力	T <sub>cd</sub> (kN)	81.6	81.6	81.6	81.6	44.2	18.1	3.4
③設計付着耐力(接着系アンカー)								
設計付着強度	τ <sub>ad</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
有効埋め込み深さ	l <sub>e</sub> (mm)	144	104	64	24	144	104	64
設計付着破壊耐力	T <sub>bd</sub> (kN)	77.4	55.9	34.4	12.9	77.4	55.9	34.4
④引張耐力								
	T (kN)	36.9	36.9	34.4	12.9	36.9	36.9	18.1
破壊形態 : min(①、②、③)		鋼材降伏	鋼材降伏	付着破壊	付着破壊	鋼材降伏	鋼材降伏	コーン状破壊

表-3.2.9 あと施工アンカーの仕様（充填不足）

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径 (mm)	変状ケース	埋込み長 (mm)	削孔長 (mm)	樹脂充填率 (%)
樹脂カプセル	下向き	M16	充てん不足 (小)	10D	10D	75
	下向き	M16	充てん不足 (中)			50
	下向き	M16	充てん不足 (大)			25
樹脂注入	下向き	M16	充てん不足 (小)			75
	下向き	M16	充てん不足 (中)			50
	下向き	M16	充てん不足 (大)			25
	上向き	M16	充てん不足 (小)			75
	上向き	M16	充てん不足 (中)			50
	上向き	M16	充てん不足 (大)			25
	下向き	M18	充てん不足 (小)	75		
	下向き	M18	充てん不足 (中)	50		
	下向き	M18	充てん不足 (大)	25		



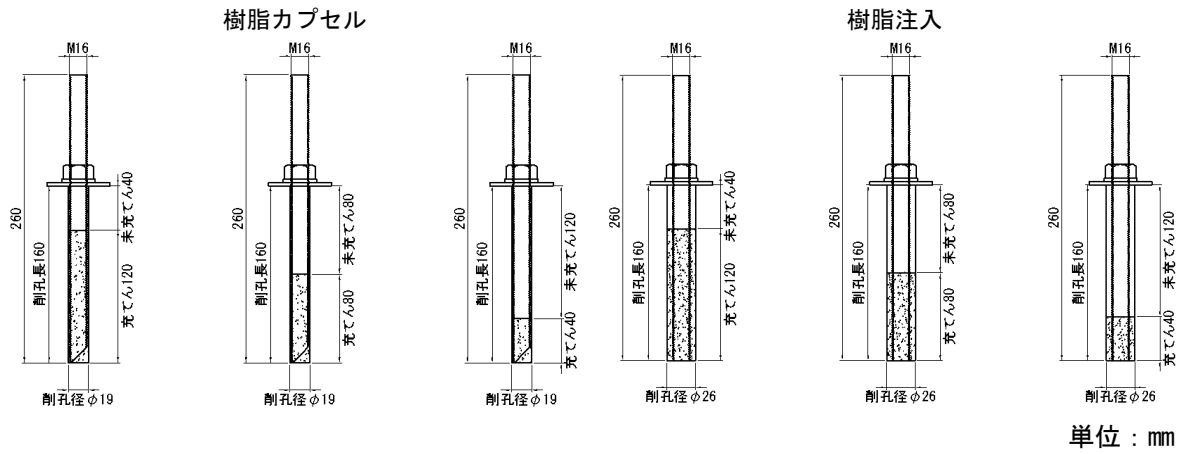


図-3.2.7 あと施工アンカー施工図（充填不足・M16 下向き）

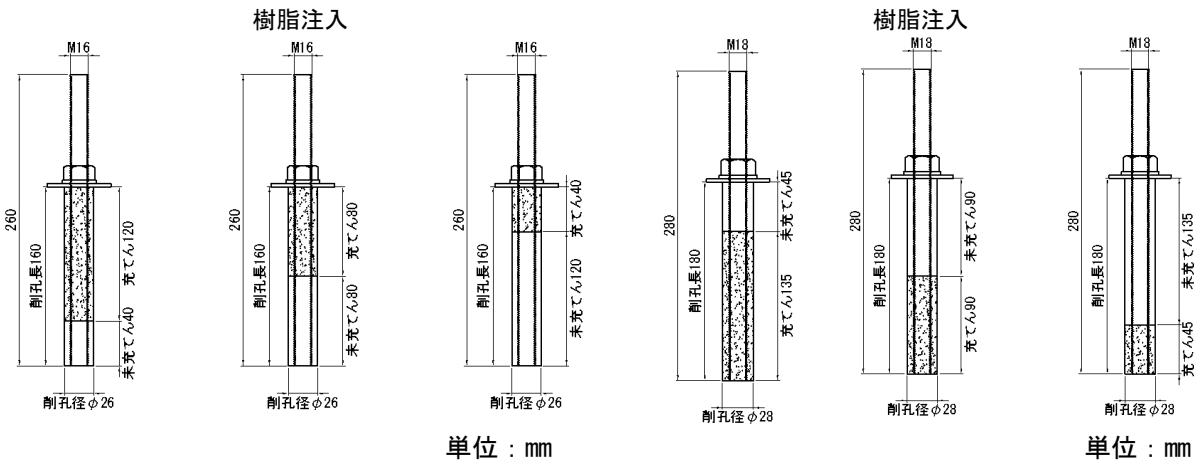


図-3.2.8 あと施工アンカー施工図  
（充填不足・M16 上向き）

図-3.2.9 あと施工アンカー施工図  
（充填不足・M18 下向き）



写真-3.2.3 75%充填用ボルト



写真-3.2.4 50%充填用ボルト



写真-3.2.5 25%充填用ボルト



写真-3.2.6 樹脂計量状況

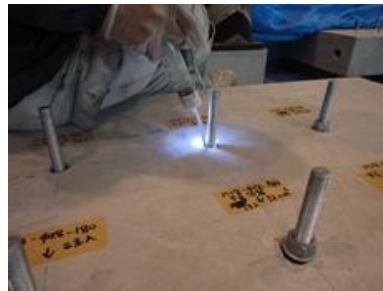


写真-3.2.7 樹脂注入状況

表-3.2.10 あと施工アンカーの樹脂充填率の計算

■樹脂カプセル (M16) の樹脂量計算

アンカー種別	ボルト呼び径 (mm)	有効径 (mm)	削孔径 (mm)	削孔長 (mm)	樹脂断面積 (mm <sup>2</sup> )	先端カット体積 (mm <sup>3</sup> )	樹脂充填率 (%)	充填部長さ (mm)	樹脂注入率 (cm <sup>3</sup> )
樹脂カプセル	M16	14.7	19	10D	114	1358	100%	160	19.6
					114	1358	75%	120	10.4
					114	1358	50%	80	5.9
					114	1358	25%	40	1.3

■樹脂注入 (M16) の樹脂量計算

アンカー種別	ボルト呼び径 (mm)	有効径 (mm)	削孔径 (mm)	削孔長 (mm)	樹脂断面積 (mm <sup>2</sup> )	先端カット体積 (mm <sup>3</sup> )	樹脂充填率 (%)	充填部長さ (mm)	樹脂注入率 (cm <sup>3</sup> )
樹脂注入	M16	14.7	26	10D	361	0	100%	160	58
					361	0	75%	90	33
					361	0	50%	60	22
					361	0	25%	30	11

■樹脂注入 (M18) の樹脂量計算

アンカー種別	ボルト呼び径 (mm)	有効径 (mm)	削孔径 (mm)	削孔長 (mm)	樹脂断面積 (mm <sup>2</sup> )	先端カット体積 (mm <sup>3</sup> )	樹脂充填率 (%)	充填部長さ (mm)	樹脂注入率 (cm <sup>3</sup> )
樹脂注入	M18	16.4	28	10D	405	0	100%	180	73
					405	0	75%	90	36
					405	0	50%	60	24
					405	0	25%	30	12

### ⑤硬化不良

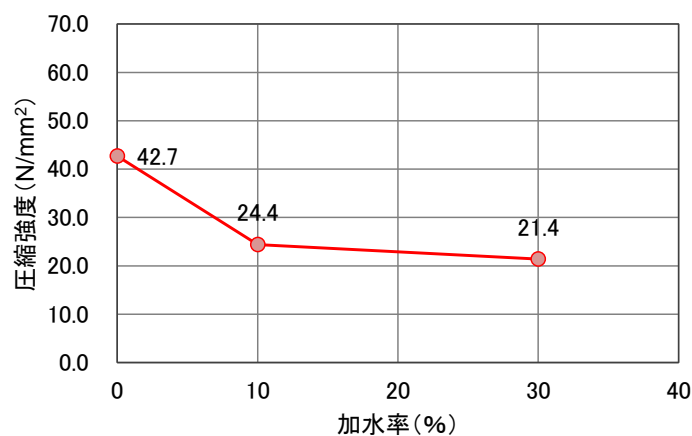
硬化不良は樹脂が期待通りに硬化せず、所定の強度が得られない不具合であり、あと施工アンカーの付着強度を低下させる可能性がある。

硬化不良の発生要因は、樹脂カプセルにおいては樹脂の攪拌不足や過剰攪拌により主剤と硬化剤が適正に混合されない場合、樹脂注入においては主剤と硬化剤の配合間違いなどが考えられる。また、水中施工用ではないあと施工アンカーを水中や孔内に水が溜まった状態で用いた場合や、水中施工用であっても適切な施工が行われずに、樹脂中に水が混入することで硬化不良を生じる可能性もある。ここでは、樹脂中に水が混入することで硬化不良が発生し、樹脂の強度が低下する状態を模擬することとした。

#### (1)樹脂カプセル

樹脂カプセルの母材体積の 10%、30%にあたる量の水を添加し、水の混入が樹脂の圧縮強度に及ぼす影響を調べた。なお、樹脂カプセルについては弾性係数についても確認した。圧縮強度と樹脂カプセルへの加水率の関係を図-3.2.10、状況写真を写真-3.2.8～写真-3.2.11 に示す。供試体は縦横の寸法が 13～15mm 程度、高さが 43mm 程度の直方体に成型し、長手方向が鉛直となるように圧縮試験を実施した。

No.1 は水を添加せず健全な状態、No.2 は母材体積の 10%、No.3 は 30%水を添加したものである。その結果、水を添加した No.2、No.3 の圧縮強度は No.1 の圧縮強度に対して 50% 近くまで圧縮強度が低下した。弾性係数も同様の傾向であった。一方で、水の添加によって強度低下は確認されたが、水の添加量による圧縮強度及び弾性係数の低下率に大きな違いは見られず、水の添加量が 10%でも圧縮強度は 50%近く低下した。



供試体 番号	加水率 (%)	縦 (mm)	横 (mm)	高さ (mm)	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
No.1	0	15.99	15.23	43.16	10,400	42.7	5,791
No.2	10	15.97	15.11	43.21	5,890	24.4	2,460
No.3	30	15.90	15.05	43.04	5,130	21.4	2,223

図-3.2.10 圧縮強度と加水率の関係（樹脂カプセル）



写真-3.2.8  
試験用樹脂アンカー



写真-3.2.9  
樹脂攪拌状況（加水）



写真-3.2.10  
供試体（圧縮試験前）

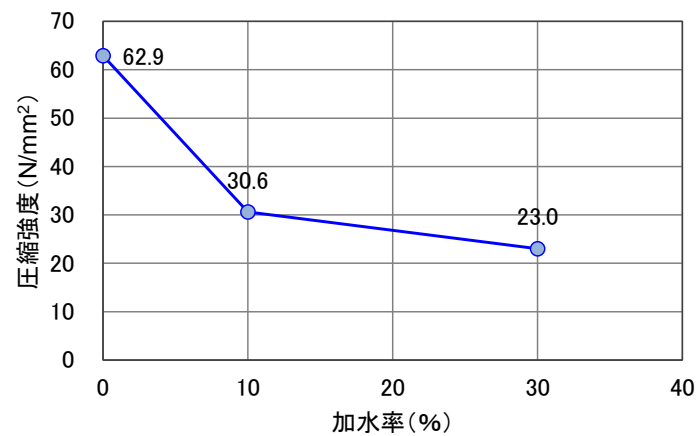


写真-3.2.11  
圧縮試験状況

以上の結果から、本研究では、樹脂の圧縮強度が 50%程度まで低下する状態を硬化不良の状態とみなすこととし、樹脂カプセルにおいては、加水率を 10%として硬化不良を模擬することとした。

## (2)樹脂注入

樹脂カプセルと同様の試験条件で水の加水率が圧縮強度に及ぼす影響を確認した（図-3.2.11）。その結果、樹脂カプセルと同様に母材体積の 10%にあたる量の水を添加した No.2 で、No.1 の場合に比べて 50%程度まで強度低下が確認された。また、樹脂カプセルと同様に水の添加量による圧縮強度の低下率の差は小さかった。よって、樹脂注入においても水の加水率を 10%として硬化不良を模擬することとした。



供試体 番号	加水率 (%)	縦 (mm)	横 (mm)	高さ (mm)	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
No.1	0	14.83	13.67	42.79	12,751	62.9	-
No.2	10	14.79	13.60	42.89	6,159	30.6	-
No.3	30	14.84	13.60	42.92	4,634	23.0	-

図-3.2.11 圧縮強度と加水率の関係（樹脂注入）

硬化不良は表-3.2.11、図-3.2.12 に示すとおり、埋め込み長の全長にわたって模擬した。樹脂カプセルについては、樹脂と水を一様に攪拌するため、あらかじめすり鉢で粉碎した樹脂カプセルに樹脂体積の 10%の水を加えて攪拌してから注入した。樹脂注入については、主剤と硬化剤を攪拌するタイミングで樹脂体積の 10%の水を加えた。

水の計量は体積とし、樹脂の比重  $1.2\text{g/cm}^3$  から算出した。なお、樹脂の比重は今回使用した材料メーカーのカタログ値とした。

表-3.2.11 あと施工アンカーの仕様（硬化不良）

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径 (mm)	変状ケース	埋込み長 (mm)	削孔長 (mm)	樹脂充填率 (%)	加水率 (%)
樹脂カプセル	下向き	M16	硬化不良	10D	10D	100	10
樹脂注入	下向き	M16	硬化不良				10

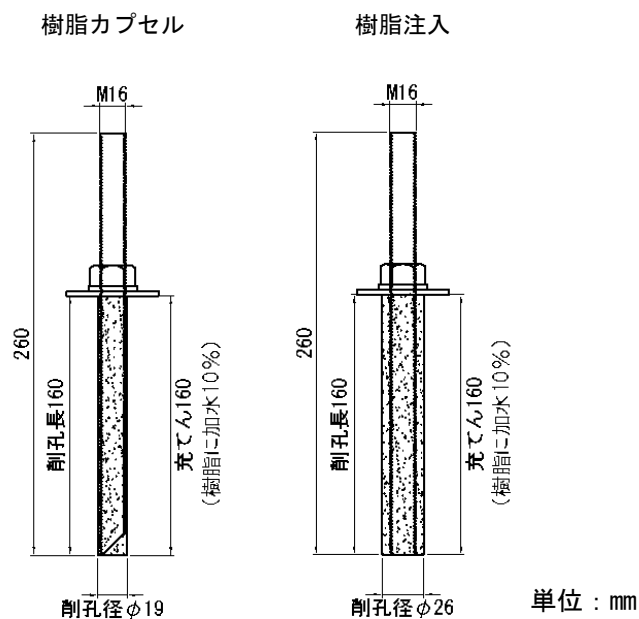


図-3.2.12 あと施工アンカー施工図（硬化不良）

### ⑥付着不良

付着不良は、付着面に様々な異物の介在が生じることで健全な付着面積が減少することが、アンカーボルトの付着強度を低下させる不具合である。

付着不良の発生要因は樹脂カプセルの場合、樹脂の攪拌不足による回り込み不足や清掃不足などの施工不良が考えられる。また、付着面における亀裂、空洞の発生等の施工箇所の不良によるものが考えられる。樹脂注入の場合は、樹脂カプセルと同様に清掃不足による施工不良や施工箇所の不良によるものが考えられる。

付着不良は樹脂カプセルと樹脂注入で模擬し、模擬範囲は埋め込み長全長とした。界面との介材や孔壁との密着不足の模擬方法は、樹脂カプセルは、孔壁にセメントペーストを塗布する方法とし、樹脂注入については、孔壁にプラスチック障子紙を貼り付ける方法とした(図-3.2.13)。



写真-3.2.12 セメントペースト塗布状況      写真-3.2.13 セメントペースト塗布完了      写真-3.2.14 障子紙設置状況      写真-3.2.15 障子紙設置完了

表-3.2.12 あと施工アンカーの仕様(付着不良)

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径(mm)	変状ケース	埋込み長(mm)	削孔長(mm)	樹脂充填率(%)	異物
樹脂カプセル	下向き	M16	付着不良	10D	10D	100	セメントペースト
樹脂注入	下向き	M16	付着不良				障子紙

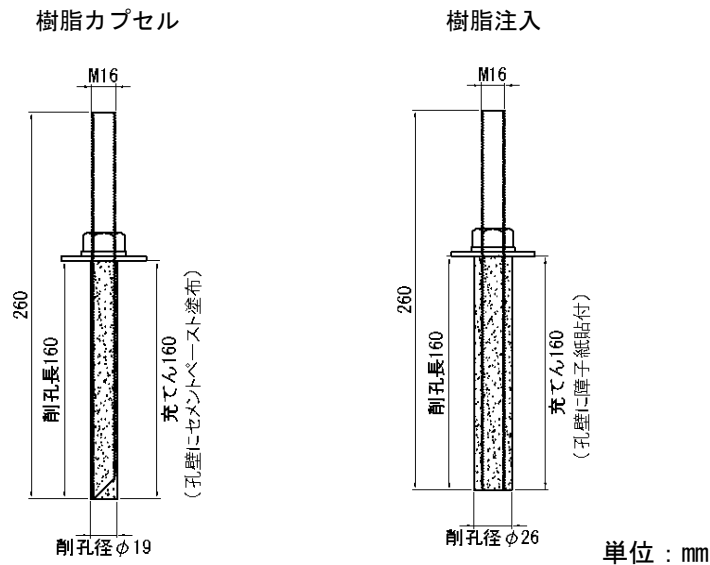


図-3.2.13 あと施工アンカー施工図(付着不良)

## ⑦鋼材腐食

鋼材腐食はアンカーボルトの表面腐食程度であれば付着強度に及ぼす影響は少ないと考えられるが、腐食が進行し、腐食により表面に生成された錆層が弱点となって付着性能が低下することが考えられる。また、腐食による断面積の減少に起因するアンカーボルトそのものの破断は、付着強度の低下が生じる可能性のある不具合である。

鋼材腐食の発生要因は、アンカーボルトの鋼材破断と同様に、内部の樹脂に充填不足がある場合に、他のひび割れ等の変状から水が浸入することなどが考えられる。なお、適切に施工されていても、経年によるひび割れ等から水分が浸入した場合には、鋼材腐食のみならず、コンクリートの劣化などの他の変状も併発していることが考えられるが、これらの再現は困難であること、腐食そのものの直接的な検出性に着目していることから鋼材の腐食のみを模擬することとした。

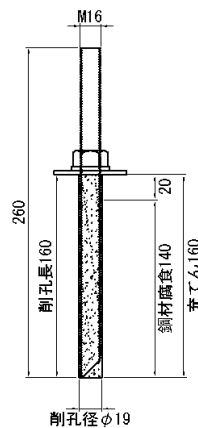
鋼材腐食は、ボルト全面に錆を生じさせたアンカーボルトを使用して模擬した。アンカーボルトの錆は、酸性の洗剤と塩水をアンカーボルトに塗布して作製した。

対象は樹脂カプセルとし、ボルトの腐食範囲はめっき未処理部分内の先端から 140mm 区間とした (図-3.2.14)。

表-3.2.13 あと施工アンカーの仕様 (鋼材腐食)

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径 (mm)	変状ケース	埋込み長 (mm)	削孔長 (mm)	樹脂充填率 (%)
樹脂カプセル	下向き	M16	鋼材発錆 (全面)	10D	10D	100

樹脂カプセル



単位 : mm

図-3.2.14 あと施工アンカー施工図 (鋼材腐食)



写真-3.2.16 腐食ボルト



写真-3.2.17 腐食状況



写真-3.2.18 腐食状況

⑧削孔径大【接着系】

削孔不良（削孔径大）はカプセル式の場合、ボルト径に対して削孔径が大きいと、外縁部の攪拌不良により付着不良が生じる可能性がある不具合である。

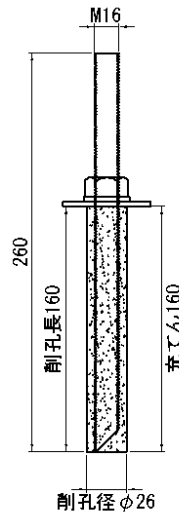
削孔径大の発生要因は、削孔用ドリルの誤用が考えられる。

削孔径は、標準的な 19mm から 26mm へと拡大した。なお、樹脂の充填率は 100%とした（図-3.2.15）。

表-3.2.14 あと施工アンカーの仕様（削孔径大）

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径 (mm)	変状ケース	埋込み長 (mm)	削孔長 (mm)	樹脂充填率 (%)	削孔径 (mm)
樹脂カプセル	下向き	M16	削孔径大	10D	10D	100	φ19→φ26

樹脂カプセル



単位：mm

図-3.2.15 あと施工アンカー施工図（削孔径大）



### ⑨削孔長深

削孔不良（削孔長深）は、カプセル式の場合、ボルト埋め込み長に対して削孔長が深いと、ボルト先端が孔底まで届かないため、先端部に未攪拌部が残る。未攪拌部は樹脂の硬化不良を発生させ、その結果、付着強度を低下させる可能性がある。

削孔長深の発生要因は、深さ管理のために削孔用ドリル等に設けるマーキングのミスなどが考えられる。削孔長が深くなってしまった場合でも、ボルトを孔底まで挿入し、所定の樹脂量が充填されれば付着強度の低下は発生しないと考えられるが、コンクリート表面からの所定のボルト突出長を確保するために、ボルトを孔底まで挿入しなかった場合には、樹脂の充填不足が生じ、付着強度が低下する可能性がある。

削孔長深の模擬はボルト先端と孔底の不一致による定着長不足を模擬することとし、埋め込み長 10D に対して、削孔長を 12.5D としたケースについて充填量を計算した(表-3.2.15)。削孔長を 12.5D とした場合、ボルトが到達していない 2.5D (40mm) の孔内に樹脂が充填されるため、有効埋め込み長は 110mm となり、ボルト埋め込み部の樹脂充填率は 78.75% となる。また、比較用としてボルト埋め込み部の樹脂充填率が 100%となる場合も作製した(図-3.2.16)。

表-3.2.15 あと施工アンカーの樹脂充填率の計算

アンカー種別	ボルト呼び径(mm)	有効径(mm)	削孔径(mm)	削孔長(mm)	樹脂断面積(mm <sup>2</sup> )	先端カット体積(mm <sup>3</sup> )	有効埋め込み長(mm)	樹脂充填率(%)	樹脂注入率(cm <sup>3</sup> )
樹脂カプセル	M16	14.7	19	10D	114	1358	144	100%	19.6
				12.5D	114	1358	110	78.75%	11.1

表-3.2.16 あと施工アンカーの仕様（削孔長深）

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径(mm)	変状ケース	埋込み長(mm)	削孔長(mm)	樹脂充填率(%)
樹脂カプセル	下向き	M16	削孔長深（充填不足）	10D	12.5D	78.75
	下向き	M16	削孔長深（樹脂充填率 100%）			100

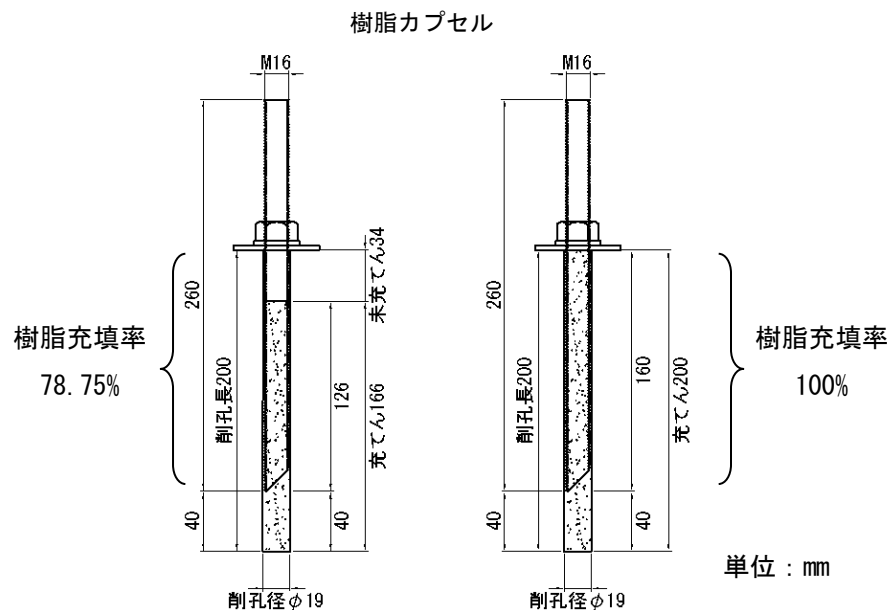


図-3.2.16 あと施工アンカー施工図（削孔長深）

⑩拡張不足（打ち込み不足）

金属系アンカーのスリーブの拡張不足（打ち込み不足）は、拡張不足によって拡張部に適切な支圧力・摩擦力が作用せず、アンカーボルトの引張耐力を低下させる不具合である。

拡張不足の発生要因はアンカーボルトが鉄筋に干渉し埋め込み深さが不足することで、スリーブを十分に打ち込むことができずに生じると考えられる。また、高強度のコンクリートに施工する場合には、先端の拡張部が十分に開かない場合がある。アンカー拡張部が十分に拡張できなければ必要な支圧力・摩擦力が得られないため、引張耐力が低下する可能性がある。

拡張不足は拡張部の打ち込み量が不足し、十分に拡張されない状態を模擬した。標準アンカー施工時の打ち込み量を基準として、打ち込み量を 1/2 に設定した。なお、打ち込み量を 1/2 とした場合、スリーブがコンクリート表面から突出してしまうため、あらかじめコンクリート表面側のスリーブ端部を打ち込み量の 1/2 分の長さだけ切断した（図-3.2.17、写真-3.2.19～写真-3.2.21）。

表-3.2.17 あと施工アンカーの仕様（拡張不足）

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径 (mm)	変状ケース	埋込み長 (mm)	削孔長 (mm)	打ち込み量 (mm)
金属スリーブ	下向き	M16	なし	60	72	15
	下向き	M16	打ち込み量 1/2	52.5	72	7.5
	下向き	M24	なし	110	125	22
	下向き	M24	打ち込み量 1/2	99	125	11

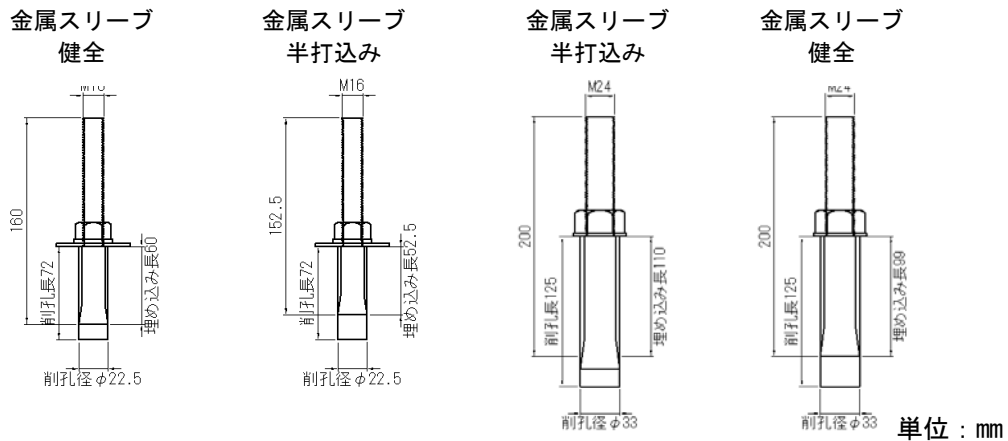


図-3.2.17 あと施工アンカー施工図（拡張不足）



写真-3.2.19  
切断後のスリーブ長 (M16)



写真-3.2.20  
切断後のスリーブ長 (M24)



写真-3.2.21  
打ち込み量の管理

### ⑪削孔径大【金属系】

削孔不良（削孔径大）は、ボルト径に対して削孔径が大きいことで拡張部に適切な支圧力・摩擦力が作用せず、引張耐力が不足する不具合である。

削孔径大の発生要因は、設計ミスによるものや適切な削孔径で施工しない施工不良が考えられる。削孔径の不良は金属スリーブの拡張不足（定着不足）につながる。

削孔径大の模擬方法は、本研究で用いた金属スリーブに適した削孔径 22.5mm に対して、径を大きくした 26.5mm、M24 では削孔径 33.0mm に対して、径を大きくした 38.0mm にとした（図-3.2.18）。

表-3.2.18 あと施工アンカーの仕様（削孔径大）

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径 (mm)	変状ケース	埋込み長 (mm)	削孔長 (mm)	削孔径 (mm)
金属スリーブ	下向き	M16	削孔径大	60	72	26.5
	下向き	M24	削孔径大	110	125	38

金属スリーブ

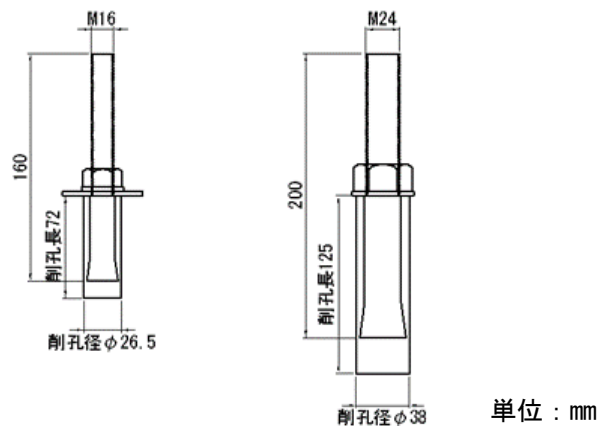


図-3.2.18 あと施工アンカー施工図（削孔径大）

### 3.2.3 あと施工アンカーを施工する構造物の状態の模擬

#### (1)軸力の導入

あと施工アンカー施工後の軸力の有無が検査結果に及ぼす影響について検証するため、ナットを締めつける（トルクを導入する）ことでボルトに軸力を導入した。トルク法によってボルトを締めつける際の目標トルクは、規格耐力の70%を最大とする方法が一般的である<sup>2)</sup>。ここでは、降伏耐力の70%まで軸力を導入した状態を締付トルク100%として、締付トルク100%と50%の2種類について模擬した。M16を用いた樹脂注入については、健全ケースの他に充填不足50%を模擬したあと施工アンカーに軸力を導入したケースについても作製した。充填不足の模擬は樹脂カプセルに比べて充填量の管理が容易な樹脂注入とした（図-3.2.19）。金属スリーブはM16健全ケースについて作製した（図-3.2.20）。なお、軸力を導入しないあと施工アンカーについてもナットを設置し、ナットが回転しなくなるまで手締めを行った。手締めを行ったあと施工アンカーについては軸力が導入されていないとみなすこととした。

表-3.2.19 あと施工アンカーの仕様（軸力導入）

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径(mm)	変状ケース	埋込み長(mm)	削孔長(mm)	樹脂充填率(%)	締付けトルク(%)
樹脂注入	下向き	M16	ナットのみ	10D	10D	100	0
	下向き	M16	軸力導入			100	50
	下向き	M16	軸力導入			100	100
	下向き	M16	軸力導入+充填不足			50	50
	下向き	M16	軸力導入+充填不足			50	100
金属スリーブ	下向き	M16	ナットのみ	110	125	-	0
	下向き	M16	軸力導入	60	72	-	50
	下向き	M16	軸力導入	110	125	-	100

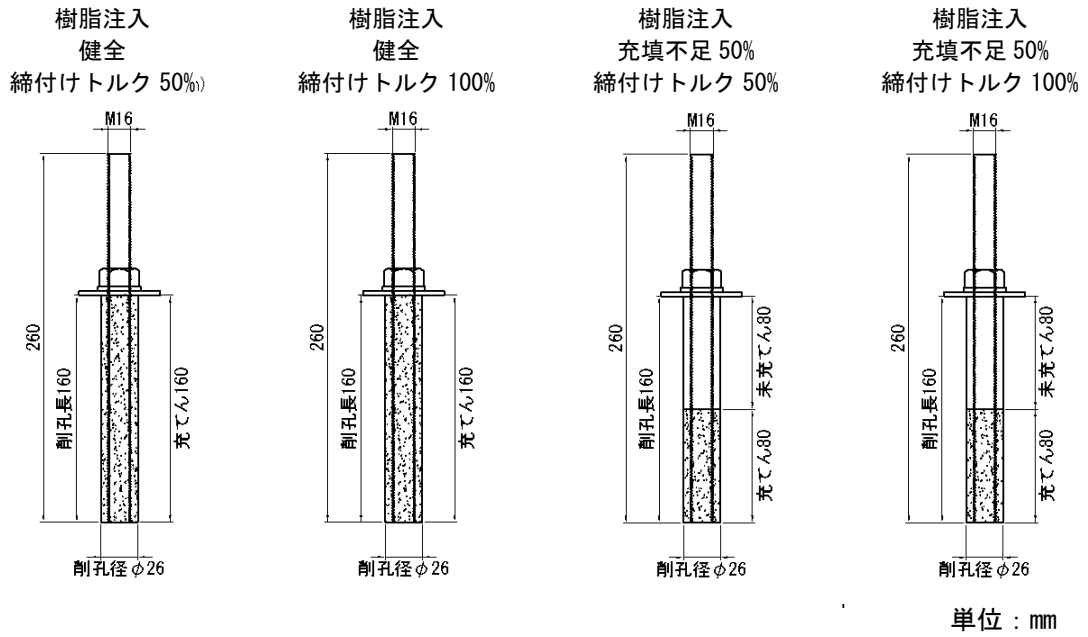


図-3.2.19 あと施工アンカー施工図（樹脂注入トルク導入）

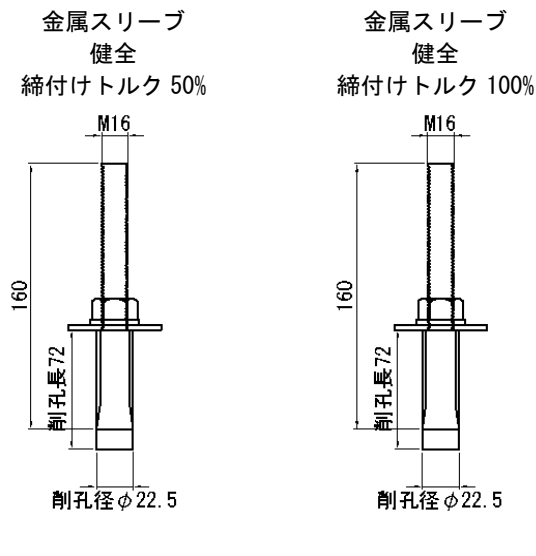


図-3.2.20 あと施工アンカー施工図（金属スリーブ軸力導入）

◇締付トルクの算定

既往の文献<sup>2)</sup>より、ボルトの締付けトルクと軸力は式(1)および式(2)を用いて算出した。

ボルトの締付けトルク

$$T_{fA} = 0.35k (1+1/Q) \sigma_y \cdot A_s \cdot d \dots\dots\dots (3.3.4)$$

- $T_{fA}$  : 締付トルク
- $k$  : トルク係数 0.17
- $Q$  : 締付け係数 1.4
- $\sigma_y$  : 降伏強度 235N/mm<sup>2</sup>
- $A_s$  : 有効断面積 157mm<sup>2</sup>
- $d$  : ボルト径 16mm

トルク法による最大締付軸力 (今回はこの状態を締付けトルク 100%と定義)

$$F_{fmax} = 0.7 \cdot \sigma_y \cdot A_s \dots\dots\dots (3.3.5)$$

$F_{fmax}$  : 締付最大軸力

この算定方法により締付トルクを算定し、締付けトルク 100%の場合の軸力がアンカー引張耐力を下回っているか照査した。

アンカー引張耐力 : 36.9kN (充てん 100%) > 軸力 25.8kN (トルク 100%)  
(表-3.2.8 参照) 34.4kN (充てん 50%) > 軸力 25.8kN (トルク 100%)

以上より、充填不足 50%に締付けトルク 100%を導入してもアンカー引張耐力を下回ることを確認した。

## (2)コンクリート表面の劣化

点検等で実際の構造物に非破壊検査を適用する場合、構造的な要因や環境的な要因によって生じているひび割れ等のコンクリートの劣化が、あと施工アンカーの非破壊検査の精度に影響を及ぼすことが考えられる。たとえば、あと施工アンカー部またはその近傍にひび割れが生じている場合や、経年劣化によってコンクリート表面の荒れや骨材のゆるみ等によって表面に凹凸が生じている場合は、これらの影響により受信波形等が異なり、用いる非破壊機器の原理上、適用性が悪化することも考えられる。そこで、橋の架け替えによって撤去された PC 床版橋の一部を切り出し、不具合を模擬したあと施工アンカーを設置して、各非破壊検査技術の検査性能への影響を確認するための実部材供試体を作製した。実部材供試体に用いた撤去部材はコンクリート表面全体において骨材まわりのゆるみや表面の荒れが目立つ状態（以下、この状態を表面の劣化と表記する）であり、表面の劣化が非破壊検査の結果に与える影響を確認するのに適していると考えられる。

実部材供試体のひび割れ部位置に標準アンカーを設置した（写真-3.2.22）。また、表面の劣化とあと施工アンカーの不具合が同時に生じている場合の検査性能への影響を確認するため、樹脂注入では充填不足 75%、50%、25%を模擬し、金属スリーブでは打込み量 1/2 を模擬した。あと施工アンカーの種別はカプセル式に比べて充填量の管理が容易な注入式とした。

また、実部材供試体の地覆部に設置されていた既設あと施工アンカー（写真-3.2.23）についても非破壊検査を実施した。既設アンカーの仕様（埋め込み長、削孔径等）については非破壊検査で使用しない既設のアンカーを解体調査することにより確認した。新設のあと施工アンカーの仕様を表-3.2.20、既設アンカーの仕様を表-3.2.21、アンカーの施工図を図-3.2.21～図-3.2.25 に示す。



ひび割れ部は、外観調査により確認されたひび割れをまたぐ位置にアンカーを設置した。

写真-3.2.22 あと施工アンカー  
施工箇所（ひび割れ部）



写真-3.2.23 既設あと施工アンカー  
（非破壊検査対象：22本）

表-3.2.20 あと施工アンカーの仕様（コンクリート表面の劣化）

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径 (mm)	変状ケース	埋込み長 (mm)	削孔長 (mm)	樹脂充填率 (%)	打込み量 (mm)
樹脂注入	下向き	M16	表面の劣化	10D	10D	100	-
	下向き	M16	表面の劣化+充填不足 (小)			75	-
	下向き	M16	表面の劣化+充填不足 (中)			50	-
	下向き	M16	表面の劣化+充填不足 (大)			25	-
	下向き	M16	表面の劣化+ひび割れ部			100	-
金属スリーブ	下向き	M16	表面の劣化	60	72	-	15
	下向き	M16	表面の劣化+打込み量 1/2	60	72	-	7.5

表-3.2.21 既設アンカーの仕様（解体調査により確認）

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径 (mm)	変状ケース	埋込み長 (mm)	削孔長 (mm)	樹脂充填率 (%)	備考
樹脂カプセル	下向き	M22	表面の劣化	190	190	100	既設アンカー

樹脂注入

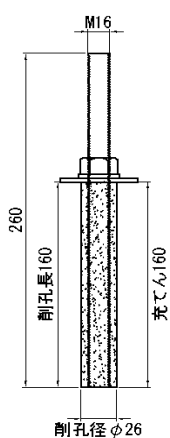


図-3.2.21 あと施工アンカー施工図 (健全)

樹脂注入

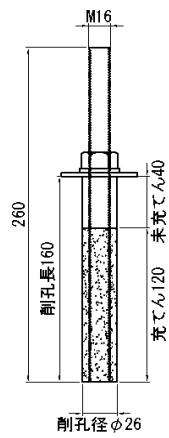
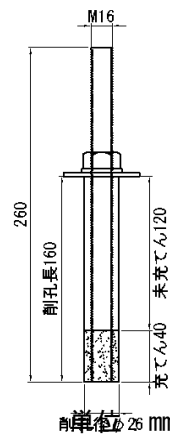
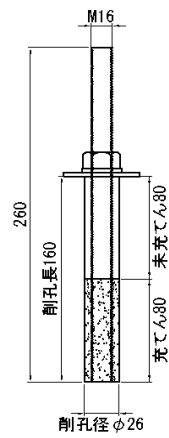


図-3.2.22 あと施工アンカー施工図 (充填不足)





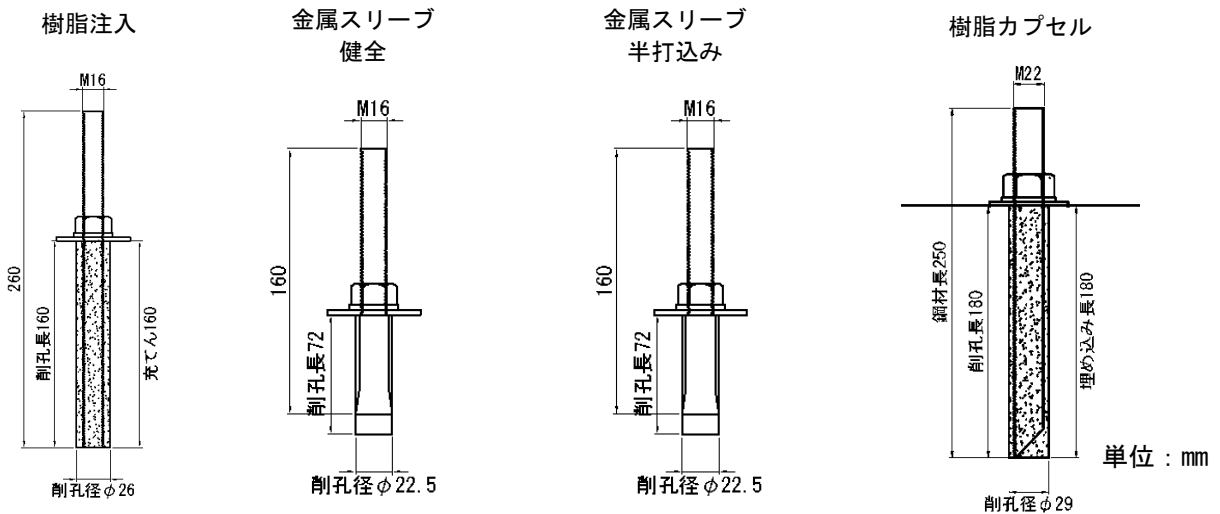


図-3.2.23 あと施工アンカー  
施工図（健全：ひび割れ部）

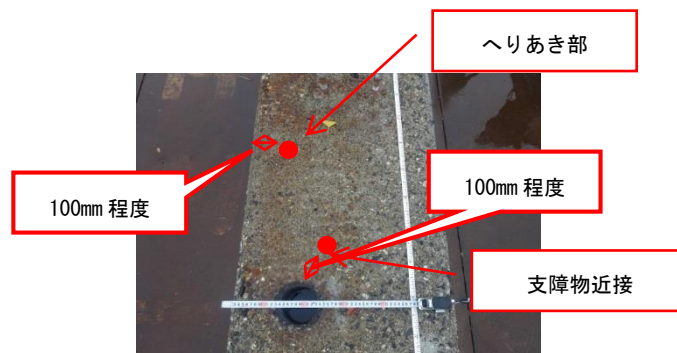
図-3.2.24 あと施工アンカー施工図  
（コンクリート劣化+拡張不足）

図-3.2.25 既設あと施工アンカー  
の仕様（解体調査で確認）

### (3)あと施工アンカー設置位置、支障物近接

点検等で実際の構造物に非破壊検査を適用する場合、あと施工アンカーの設置位置が構造物端部の近傍であったり、埋め込み支柱のような支障物の近傍であったりする場合には、コンクリート内部での反射や支障物の影響で受信波形等が異なり、適正な評価ができない可能性がある。

実部材供試体のへりあき部、支障物近接（支柱撤去孔）位置に標準アンカーを設置した（図-3.2.26）。へりあきとは、アンカーボルトのせん断力作用直角方向のアンカーボルトと部材端部との最短距離を意味する。あと施工アンカーの設置位置は、へりあき部では部材端部から 100mm、支障物近接では支柱撤去孔から 100mm とした（写真-3.2.24）。



へりあき部は、かぶりコンクリート部に削孔すると母材は破損する可能性があるため、軸方向鉄筋（かぶり 80mm 程度）の内側にアンカーを設置した。支障物近接は、支柱基礎箱抜きから 100mm 程度離れた位置にアンカーを設置した。

写真-3.2.24 あと施工アンカー施工箇所（へりあき部、支障物近接）

表-3.2.22 あと施工アンカーの仕様（へりあき部、支障物近接）

アンカー種別	施工方法	ボルト呼び径 (mm)	変状ケース	埋込み長 (mm)	削孔長 (mm)	樹脂充填率 (%)
樹脂注入	下向き	M16	表面の劣化+へりあき部	10D	10D	100
	下向き	M16	表面の劣化+支障物近接			

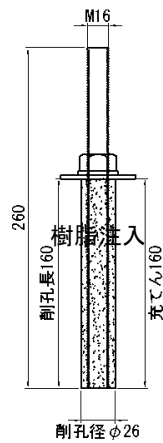


図-3.2.26 あと施工アンカー施工図  
(健全：へりあき部)

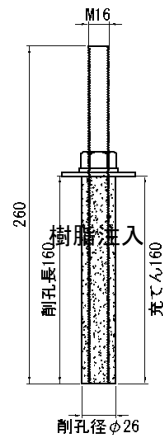


図-3.2.27 あと施工アンカー施工図  
(健全：支障物近接)

単位：mm

### 【第3章 参考文献】

- 1) コンクリートのあと施工アンカー工法的设计・施工指針(案)、(社)土木学会、コンクリートライブラリー141、平成26年3月
- 2) 六角穴付きボルト類の選び方 使い方 第三版、日本ソケットスクリュー工業協同組合、平成19年5月



## 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ーブ打込状況 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%	1%

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

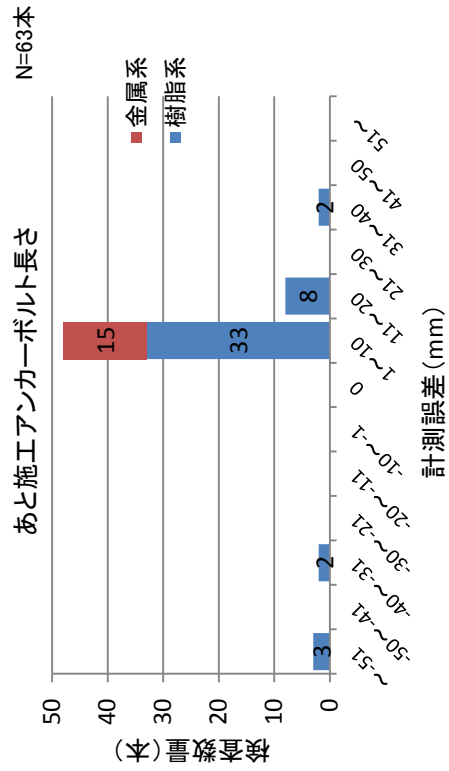


図-4.2.1 あと施工アンカーボルト長さの誤差分布 (技術B)

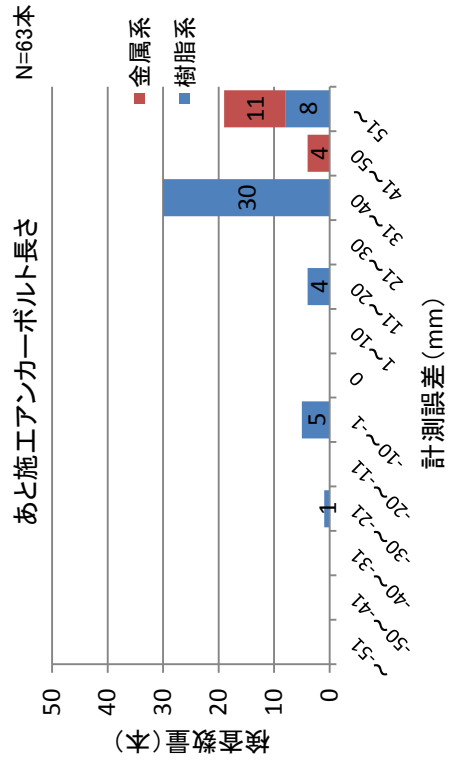


図-4.2.2 あと施工アンカーボルト長さの誤差分布 (技術I)

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

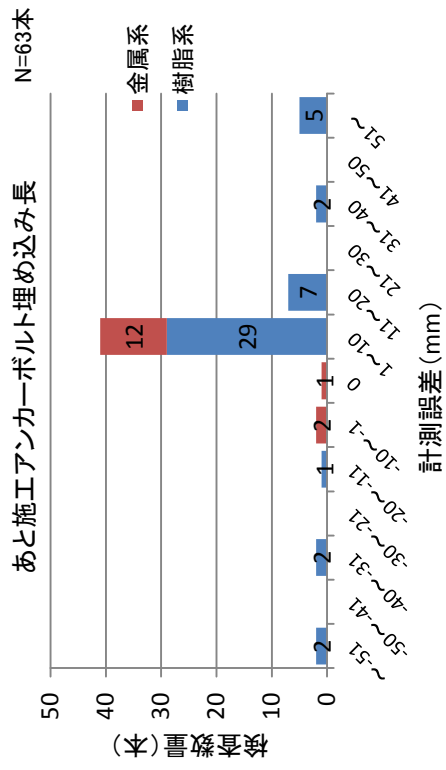


図-4.2.3 あと施工アンカーボルト埋め込み長の誤差分布 (技術B)

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

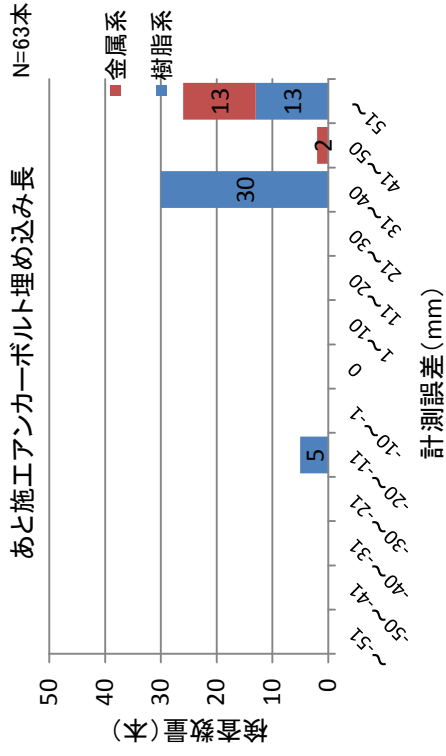


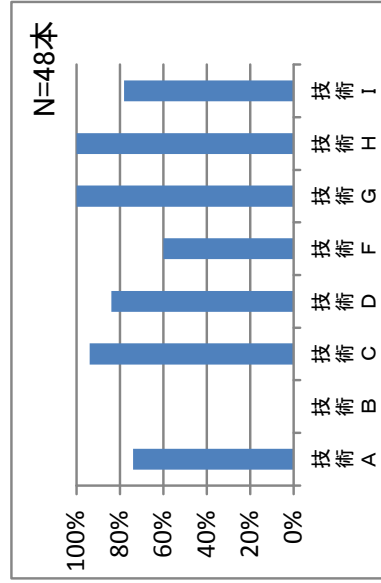
図-4.2.4 あと施工アンカーボルト埋め込み長の誤差分布 (技術I)

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】

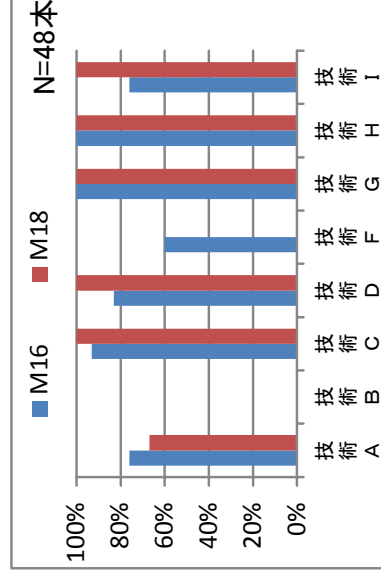
検査技術 検査条件	技術A	技術B	技術C	技術D	技術F	技術G	技術H	技術I
全体	74%	(結果なし)	94%	84%	60%	100%	100%	78%
M16	76%		93%	83%	60%	100%	100%	76%
M18	67%		100%	100%		100%	100%	100%
上向き	77%		90%	77%		100%	100%	60%
下向き	56%		100%	80%	60%	100%	100%	64%
横向き	93%		93%	93%		100%	100%	100%

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

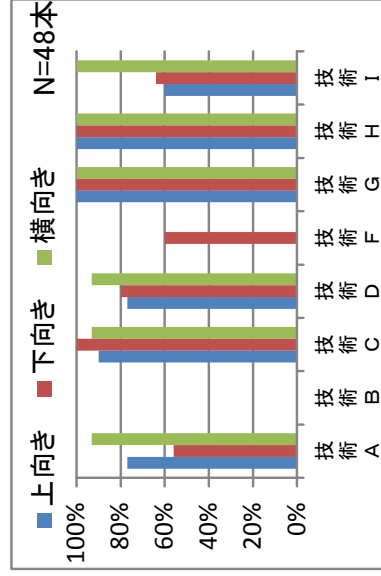
健全:ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状がない状態  
 否(健全外):ボルト本体、樹脂充填、アンカー削孔等に変状が生じている状態  
 正答:健全アンカーの検査結果が健全である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外でない場合  
 空振:健全アンカーの検査結果が健全外である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外である場合  
 見逃し:健全外アンカーの検査結果が健全である場合



(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】

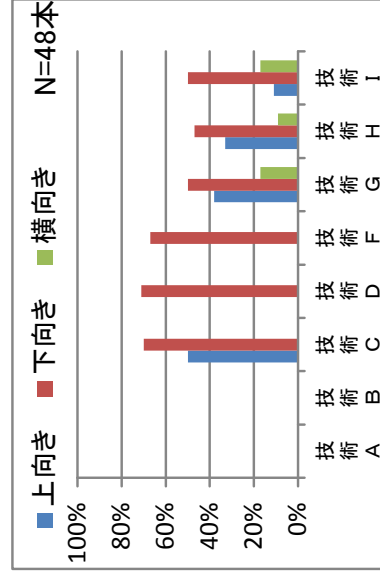
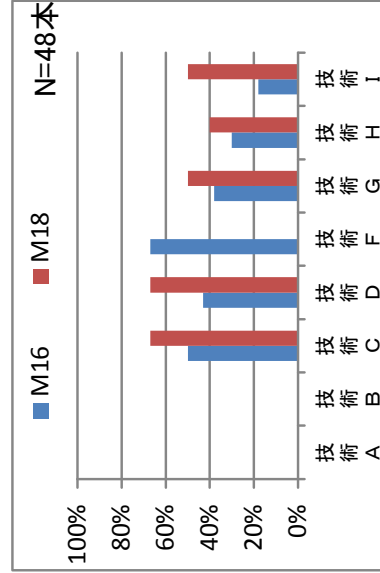
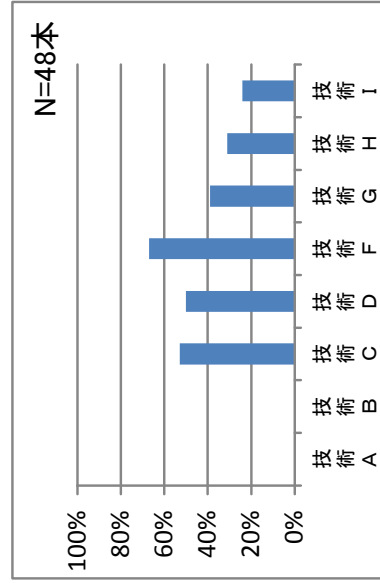


表-4.2.12 あと施工アンカーボルト樹脂充填状況（健全 or 否） 「充填不足あり」判定の正答率（樹脂系）【定性的判定】

検査技術	技術A	技術B	技術C	技術D	技術F	技術G	技術H	技術I
検査条件								
全体	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%	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

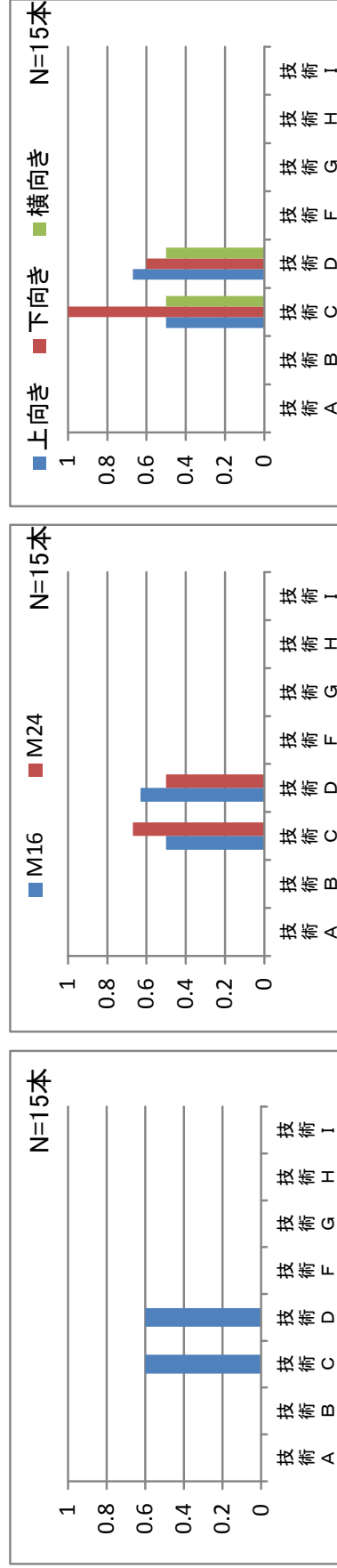


図-4.2.7 あと施工アンカーボルトスリーブ打込み状況（健全 or 否） 「打込み不足なし」判定の正答率（金属系）【定性的判定】

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%				
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	空振
否 (健全外)	否	見逃し
	否(内容違い)	正答
		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  
 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外である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が一致していない場合

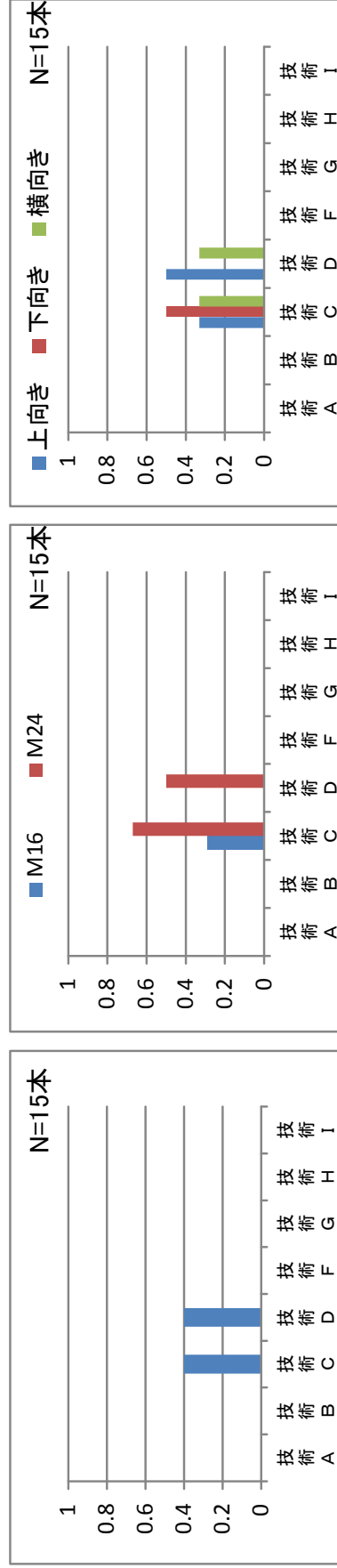


図-4.2.8 あと施工アンカーボルトスリーブ打込み状況（健全 or 否） 「打込み不足あり」 判定の正答率（樹脂系）【定性的判定】

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

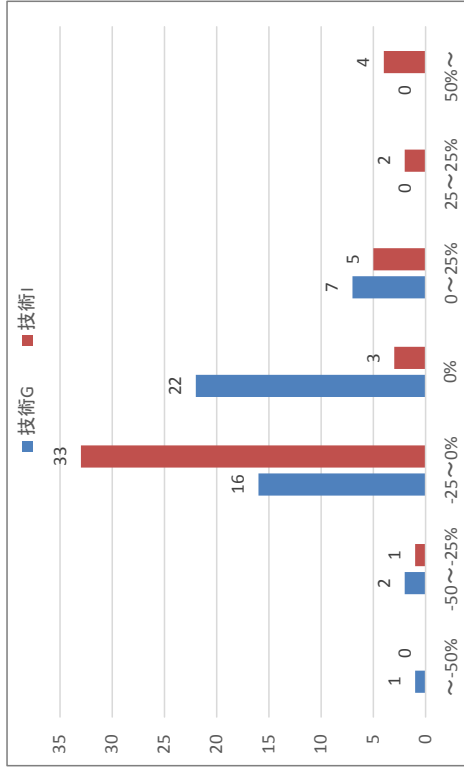


図-4.2.9 樹脂充填状況（充填率）の誤差分布（検査技術別）

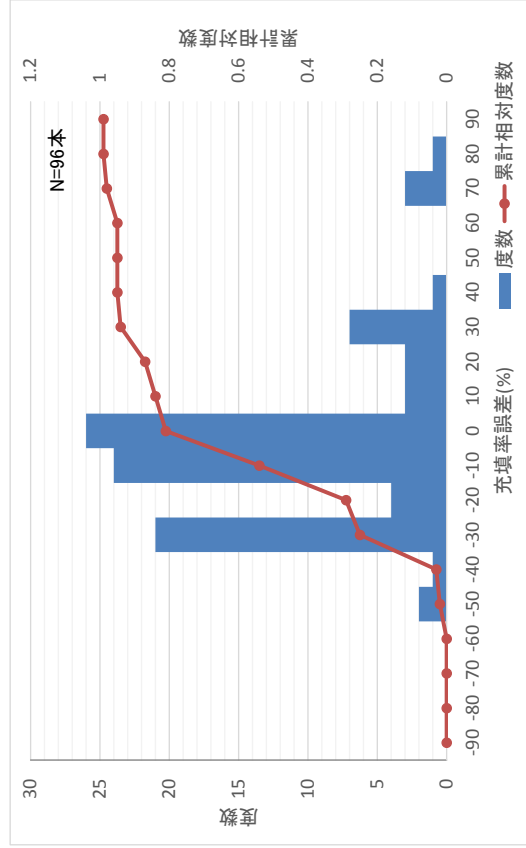


図-4.2.10 樹脂充填状況（充填率）の誤差ヒストグラム（計測全数）

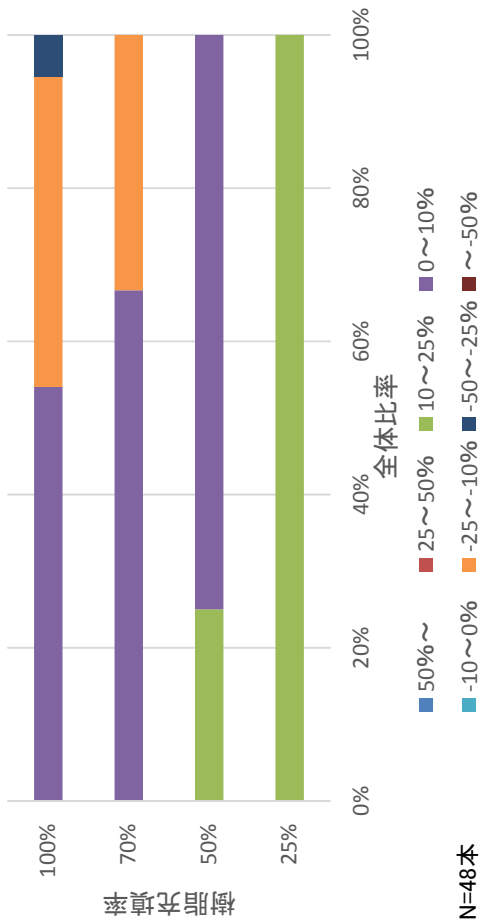


図-4.2.11 樹脂充填率と計測誤差割合 (技術G)

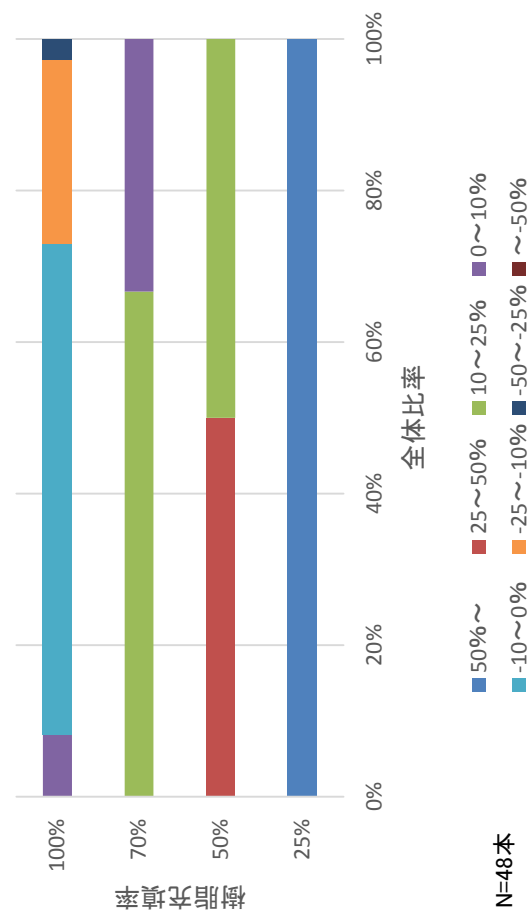


図-4.2.12 樹脂充填率と計測誤差割合 (技術I)

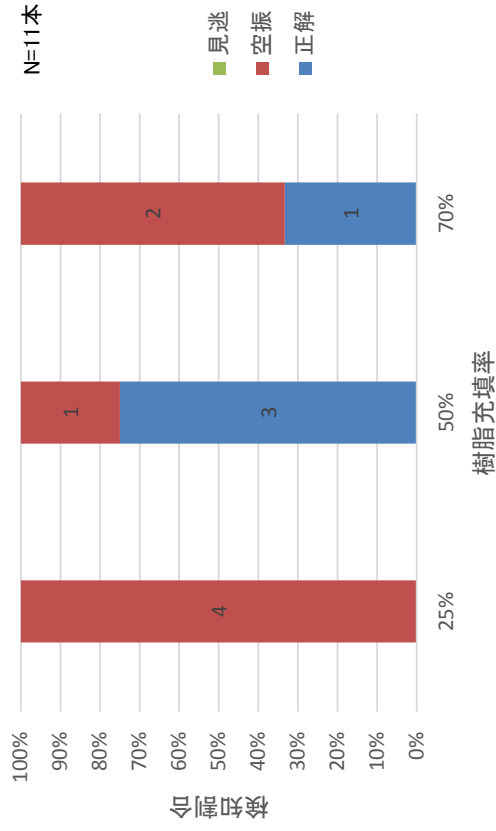


図-4.2.13 樹脂充填率の検知性能 (技術G)

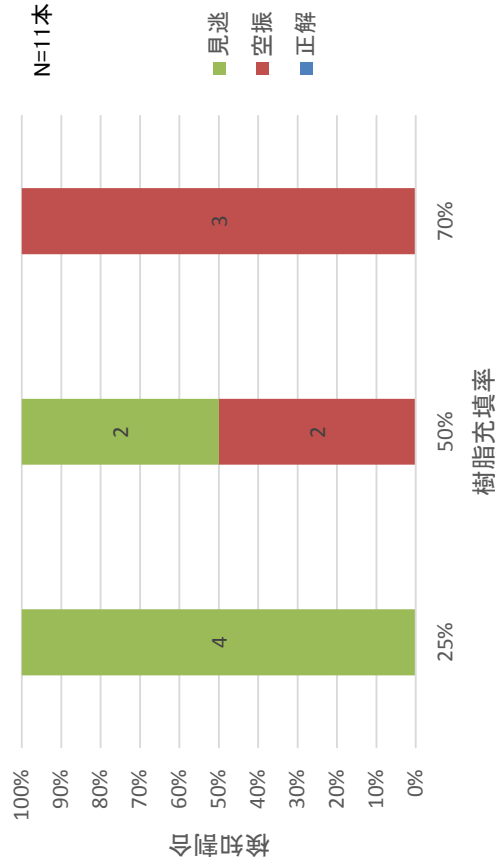


図-4.2.14 樹脂充填率の検知性能 (技術I)

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】

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

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 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)
正答率 (正答数/健全本数)								

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】

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

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 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)
①充填不足(損傷本数)								
正答率 (正答数/損傷本数)								
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)
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)
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)
②その他不具合(損傷本数)								
正答率 (正答数/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)
空振率 (空振数/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)
見逃し率 (見逃し数/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)
検知率 (正答数+空振数)/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: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つ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

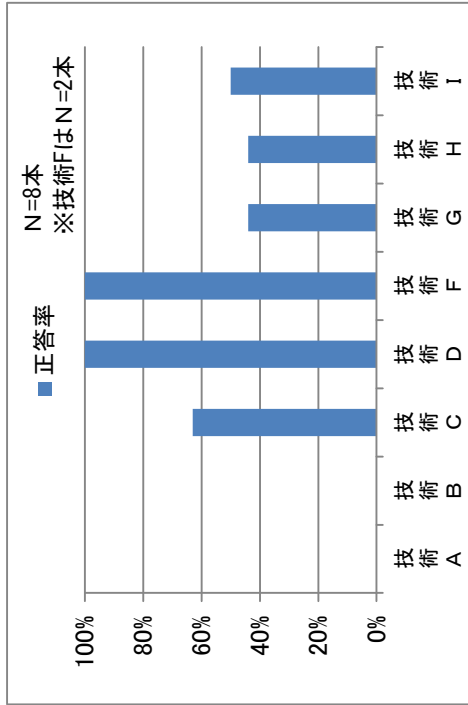
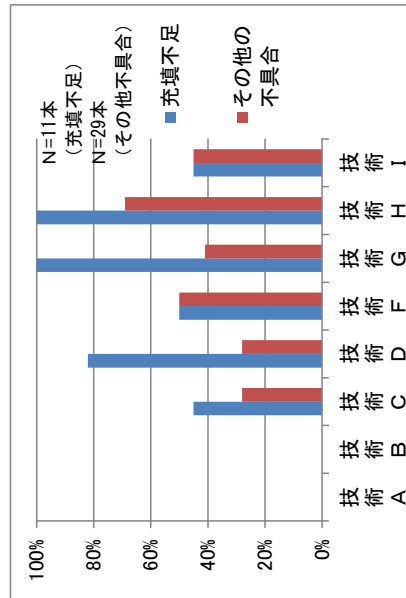
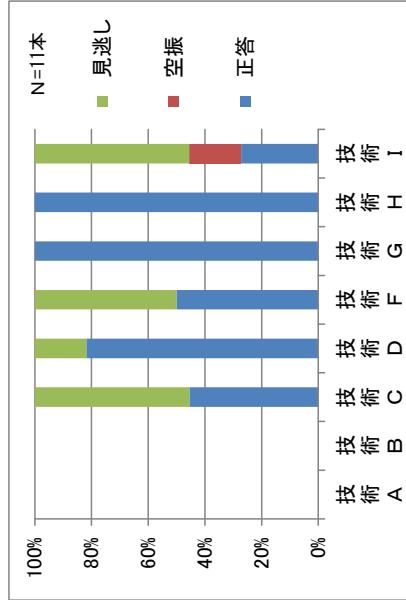


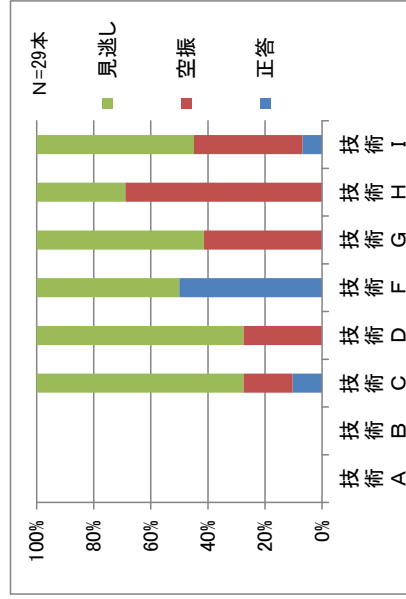
図-4.2.15 あと施工アンカーボルトの健全性（健全 or 否） 「健全アンカー」 判定の正答率（樹脂系）【定性的判定】



(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】

検査結果	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
正答率 (正答数/健全本数)		(結果なし)	(結果なし)	50% (3本/6本)	50% (3本/6本)	100% (6本/6本)	17% (1本/6本)	33% (2本/6本)	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	健全
	否	否	否	否	否	否	否	否	否
	見逃し	見逃し	見逃し	見逃し	見逃し	見逃し	見逃し	見逃し	見逃し
	正答	正答	正答	正答	正答	正答	正答	正答	正答
	空振	空振	空振	空振	空振	空振	空振	空振	空振

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】

検査結果	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充填不足(損傷本数)		(結果なし)	(結果なし)	6本	6本	6本	6本	(結果なし)	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)		(結果なし)	(結果なし)	3本	3本	(結果なし)	3本	(結果なし)	3本
正答率 (正答数/損傷本数)				0% (0本/3本)	0% (0本/3本)		67% (2本/3本)		100% (1本/3本)
空振率 (空振数/損傷本数)				33% (1本/3本)	100% (3本/3本)		0% (0本/3本)		0% (0本/3本)
見逃し率 (見逃し数/損傷本数)				67% (2本/3本)	0% (0本/3本)		33% (1本/3本)		0% (0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)		67% (2本/3本)		100% (1本/3本)

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不具合の内容が一致している場合

または、健全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外でも不具合の内容が一致していない場合

または、健全外アンカーの検査結果が健全である場合



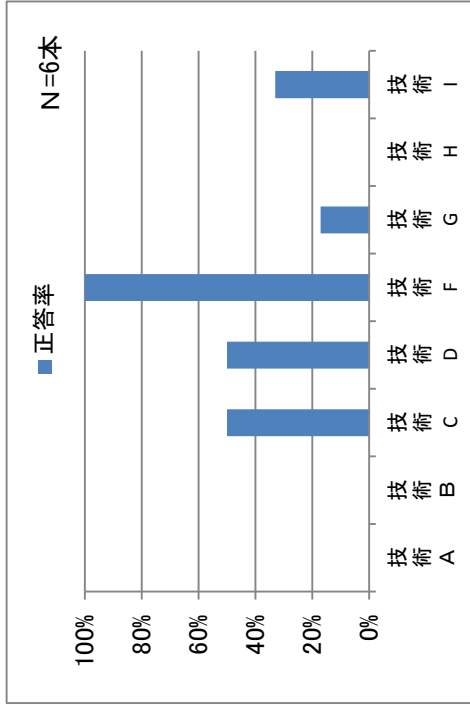
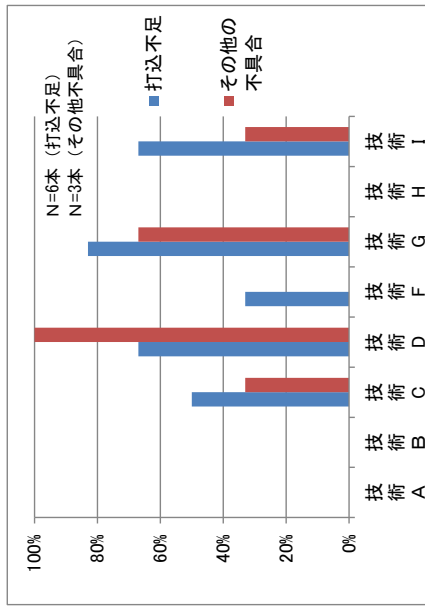
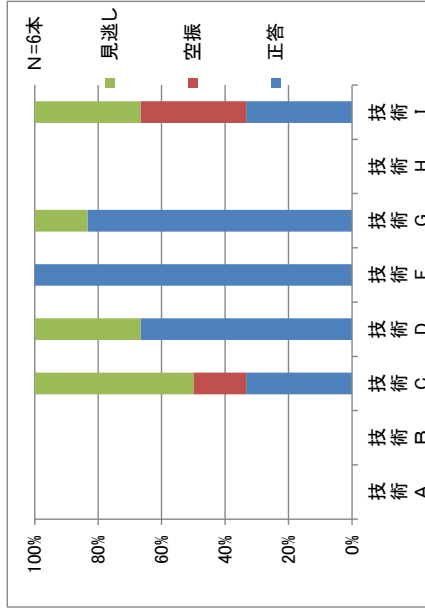


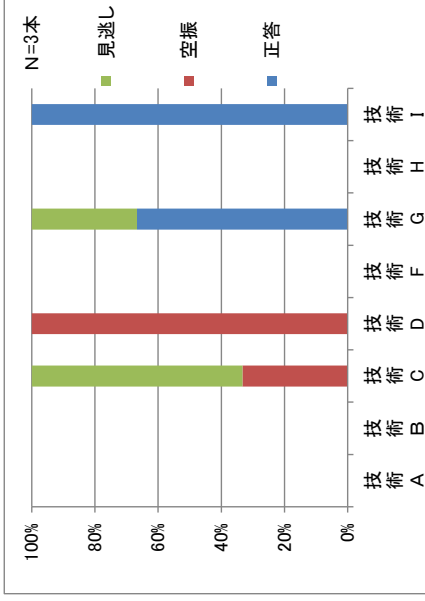
図-4.2.17 あと施工アンカーボルトの健全性 (健全 or 否) 「健全アンカー」判定の正答率 (金属系) 【定性的判定】



(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	キャリアプレーションの有無	有り	有り	無し	無し	無し	有り	有り	無し	
	キャリアプ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

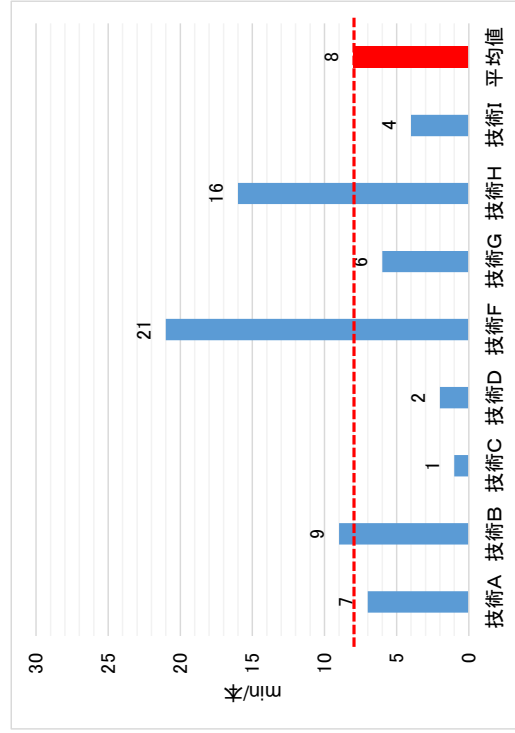


図-4.2.19 各検査技術のあと施工アンカーポルト1本当たりの検査時間

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%									

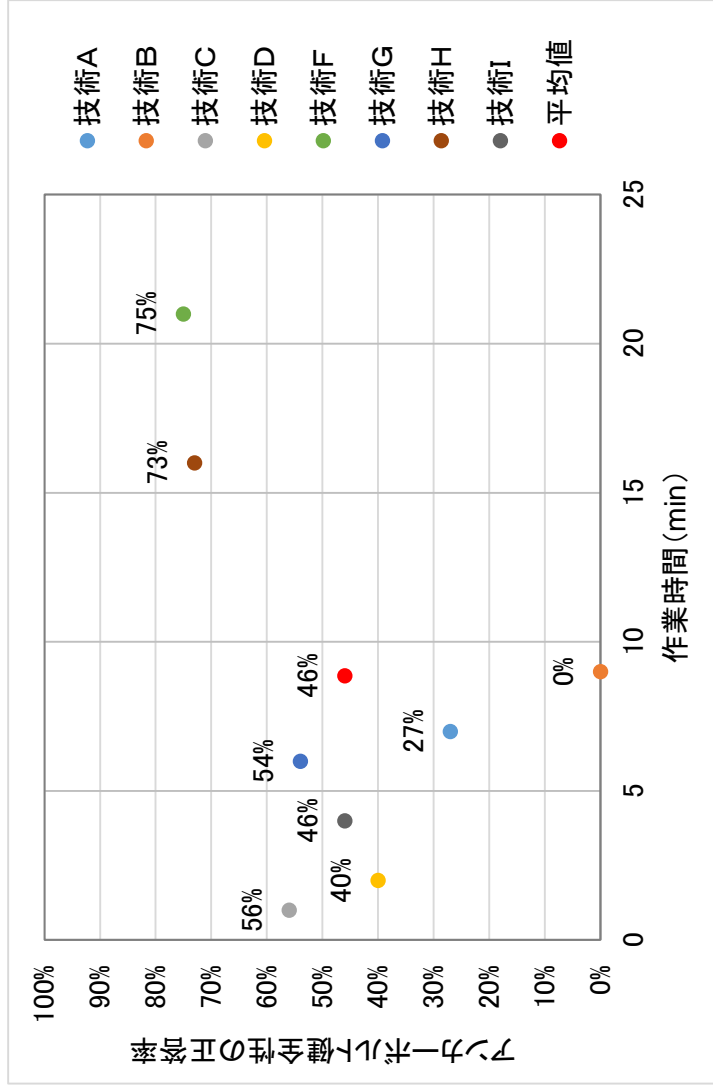


図-4.2.20 各検査技術の作業時間とあと施工アンカーの健全性の正答率との関係

## 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>・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してなかったため、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。



## 第5章 非破壊検査技術の性能評価手法の検証（提案と試行）

### 5.1 模擬供試体を使用した非破壊検査技術の基本性能の検証

#### 5.1.1 概要

検査を実施した非破壊検査技術の多くが定性的な評価をする検査技術であること、半数がキャリブレーションを必要とすることから、標準的な仕様で施工されたアンカー（以下、健全アンカー）の図面がある場合や、健全アンカーに対するキャリブレーションを実施することで、健全アンカーの計測結果との相対比較によって正答率が高くなることが想定される。しかし、実構造物へ非破壊検査技術を活用する場合、あと施工アンカーの施工図面がないことやキャリブレーションするための健全アンカーの選定が困難なことが想定され、キャリブレーションの有無が検査結果に及ぼす影響を事前に把握しておくことで、検査結果の信頼性を考慮した非破壊検査技術の活用が可能になると考えられる。そこで本節では、実橋への適用性を確認する前に予備情報を与えた状態で健全なアンカーや不具合を模擬したアンカーを混在させた模擬供試体②に対して非破壊検査を実施し、4章で実施した予備情報がない検査結果との比較によって、予備情報の有無が検査技術の基本性能に及ぼす影響について確認する。

#### 5.1.2 検証対象とした非破壊検査技術

非破壊検査技術の基本性能の検証では8技術について非破壊検査の検証を行った(表-5.1.1)。検査は共同研究者がそれぞれ行った。

表-5.1.1 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 E、技術 G、技術 H、技術 I	8 技術

#### 5.1.3 検査に用いる供試体とあと施工アンカーに模擬する不具合等の種類

非破壊検査技術の基本性能の検証では、健全供試体と模擬供試体②を用いて健全なアンカーの図面やそのアンカーによる装置のキャリブレーション等の予備情報を与えた状態で検査を実施する。健全供試体に配置されたあと施工アンカー一覧を表-5.1.2、模擬供試体②に配置されたあと施工アンカー一覧を表-5.1.3、あと施工アンカーの配置箇所を図-5.1.1 に示す。

健全供試体には予備情報として検査機器のキャリブレーションに使用する健全アンカーを5本配置している。健全アンカーは樹脂カプセルで M16、樹脂注入で M16、M18、金属スリーブで M18、M24 のアンカーボルトについて、不具合等を模擬せず標準的な方法で施工している。なお、供試体数とあと施工アンカー配置数の都合で、一部検査用のあと施工アンカー（軸力の影響確認用）を健全供試体に配置している（37～40）。模擬供試体②には、予備情報を与えた後で非破壊検査を実施するための不具合を模擬したあと施工アンカーを配置している。模擬供試体②は版型で下向きに検査を行うものであるが、充填不足については上向きであと施工アンカーを施工した場合に生じる可能性のある未充填部（あと施工アンカー施工用削孔の奥側に未充填部が存在する状態）も模擬している。また、次節で使用する軸力を

導入したあと施工アンカーも配置している。

表-5.1.2 健全供試体のあと施工アンカー一覧

No.	アンカー種別	アンカーの呼び径(mm)	施工方向	模擬した状態	樹脂充填率(%)
a	樹脂カプセル	M16	下向き	健全	100
b	樹脂注入	M16		健全	100
c		M18		健全	100
d		M16		健全	
e	金属スリーブ	M24		健全	
37	樹脂注入	M16	下向き	健全、軸力導入(トルク50%)	100
38				健全、軸力導入(トルク100%)	100
39	金属スリーブ	M16	下向き	健全、軸力導入(トルク50%)	
40				健全、軸力導入(トルク100%)	

表-5.1.3 模擬供試体②のあと施工アンカー一覧

No.	アンカー種別	アンカーの呼び径(mm)	施工方向	模擬した不具合(状態)	樹脂充填率(%)
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→130mm)	100
2				鋼材長不足(10D→5D)	100
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	100
4				鋼材破断	100
5				斜め削孔(5°)	100
6				充填不足(小)	75
7				充填不足(中)	50
8				充填不足(大)	25
9				健全	100
10				硬化不良	100
11				付着不良	100
12				鋼材腐食(全面)	100
13				削孔径大(φ19mm → φ26mm)	100
14				削孔長深(10D→12.5D)	100 <sup>※1</sup>
15				削孔長深	100
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)	75
17				充填不足(中)	50
18				充填不足(大)	25
19				硬化不良	100
20				付着不良	100
21				健全	100
22			充填不足(中)、軸力導入(トルク50%)	50	
23			充填不足(中)、軸力導入(トルク100%)	50	
24			上向き(模擬)	充填不足(小)	75
25				充填不足(中)	50
26				充填不足(大)	25
27			M18	下向き	充填不足(小)
28	健全	100			
29	充てん不足(中)	50			
30	充てん不足(大)	25			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	
32				拡張不足(半打込み)	
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	
34				削孔径大(φ33.0mm→φ38mm)	
35				拡張不足(半打込み)	
36	M24	健全			

※1 標準削孔長時に100%に近くなる充填量とする。

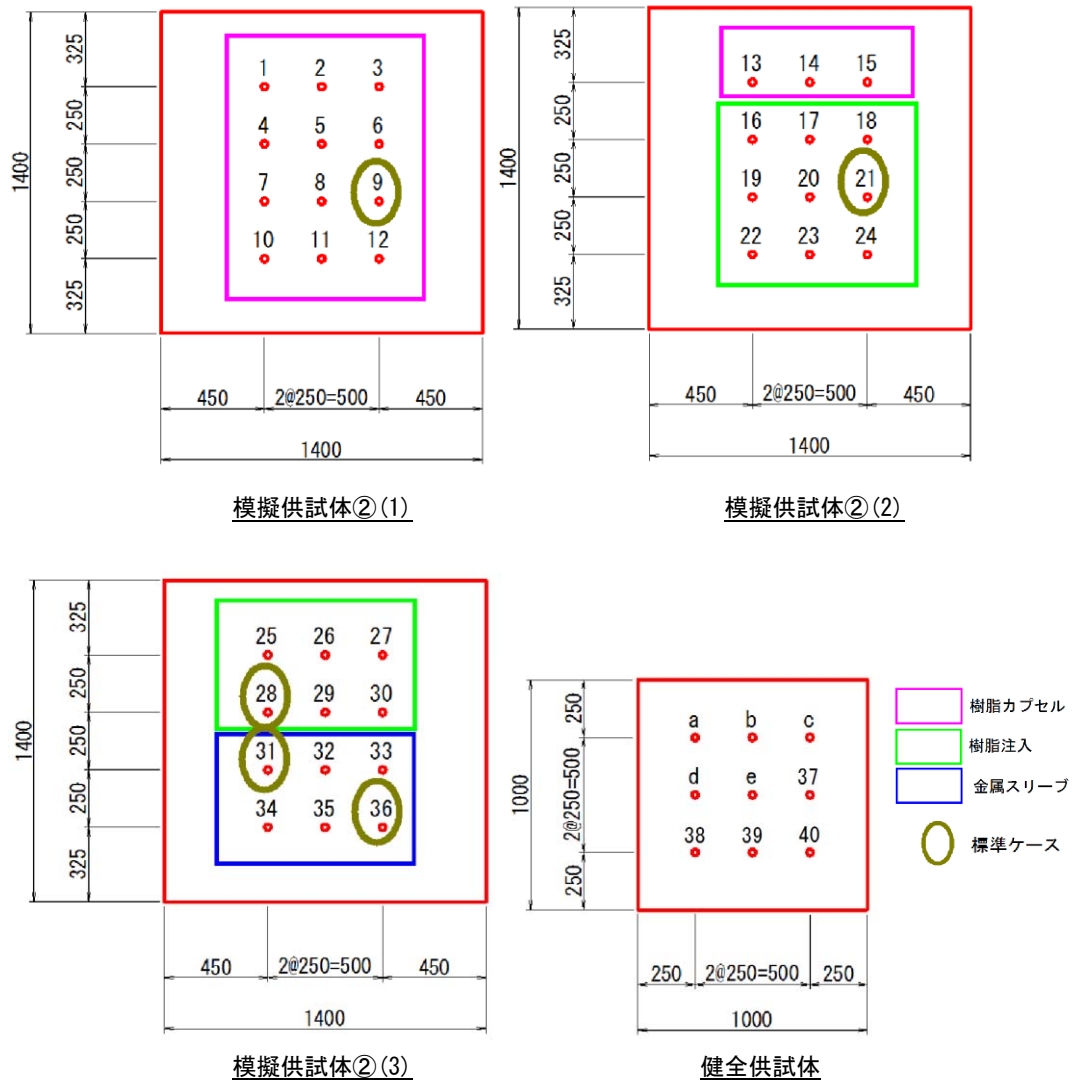


図-5.1.1 あと施工アンカー配置箇所

#### 5.1.4 検査条件

##### ①評価項目と着目点

評価項目と着目点は表-5.1.4 のとおりである。

表-5.1.4 評価項目と着目点

評価項目	着目点
予備情報(健全アンカーの図面又は健全アンカーによるキャリブレーションのデータ)の有無による検知性能	予備情報の有無が非破壊検査の検知性能や検査精度、作業性能に与える影響について把握する。

##### ②確認項目

表-5.1.4 で整理した評価項目が把握できるように表-5.1.5 のとおり検査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-5.1.5 検査要領の確認項目

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鋼材長 ②あと施工アンカーの埋め込み長 ③あと施工アンカー削孔径 ④あと施工アンカー削孔長 ⑤接着系アンカーの樹脂充填状況 ⑥金属系アンカーの定着状況
2) あと施工アンカーボルトの健全性	①あと施工アンカーの引張耐力 ②あと施工アンカー仕様(標準もしくは非標準の判定) ③あと施工アンカーの健全性(変状・損傷の検出) ④検出した変状の種類、定量値
3) 検査条件	①検査の条件を詳細に明記(様式自由) ②使用した予備情報を明記 ③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

### ③検査時の予備情報

各共同研究者へ予備情報（健全アンカーの図面、検査前の健全アンカーを使用したキャリブレーション）の必要性の有無について事前に実施したアンケートに従って表-5.1.6 のとおり予備情報を与えた条件で検査を実施した。技術 C、技術 D、技術 E には図面のみ、それ以外の検査技術には両方の予備情報を与えた。

表-5.1.6 各共同研究者へ与えた予備情報

予備情報種類	技術 A	技術 B	技術 C	技術 D	技術 E	技術 G	技術 H	技術 I
図面	○	○	○	○	○	○	○	○
キャリブレーション	○	○	—	—	—	○	○	○

## 5.1.5 基本性能の検証結果

### ①用語の定義

結果の整理で使用する用語の定義は 4.2.1 と同様とする。

### ②検査結果の整理

共同研究者による検査結果を以下の通り整理した。

#### (1)検知可能なあと施工アンカー定着部の内部不具合等

各検査技術が検知可能なあと施工アンカー定着部の内部不具合等について、自己申告も含めて予備情報なしと予備情報ありで検査結果を比較・整理することで、予備情報が検査結果に及ぼす影響を確認する。表-5.1.7～表-5.1.8 のとおり整理した。

#### (2)あと施工アンカー定着部の内部不具合等の判定方法

予備情報がある場合の不具合等の判定方法について表-5.1.9～表-5.1.10 のとおり整理した。また、予備情報があることにより定量的に判定できる検査技術の分解能について表-5.1.11～表-5.1.12 のとおり整理した。

#### (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）

予備情報がある場合の各確認項目に対する検査精度（正答率）について表-5.1.13～表-5.1.24、図-5.1.2～図-5.1.11 のとおり整理した。さらに、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た。

#### (4)各検査技術の作業性能

予備情報がある場合の作業性について表-5.1.25、図-5.1.12、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について表-5.1.26、図-5.1.13 のとおり整理した。

表-5.1.7 検知可能なあと施工アンカー定着部の内部不具合の整理（樹脂系）

○：検知可能      ×：検知不可  
 —：未計測      空欄：検査対象外

検査項目	検査原理	定着方法	技術A			技術B			技術C			技術D			技術E			技術G			技術H			技術I		
			自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり
①	あと施工アンカーボルト 鋼材長の絶対値		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
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 充填率	健全or否	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⑤-2			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
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)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表-5.1.8 検知可能なあと施工アンカー定着部の内部不具合の整理（金属）

○：検知可能      ×：検知不可  
 —：未計測      空欄：検査対象外

検査項目	検査原理	定着方法	技術A			技術B			技術C			技術D			技術E			技術G			技術H			技術I		
			自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり	自己申告	予備なし	予備あり
①	あと施工アンカーボルト 鋼材長の絶対値		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
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 打込率	健全or否	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⑤-2			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
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)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表-5.1.9 検知した内部不具合等の評価方法の整理（樹脂系）

検査項目	検査原理	定着方法		技術A		技術B		技術C		技術D		技術E		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	定性的	定量的		
①	あと施工アンカーボルト 鋼材長の絶対値						○													—	
							○														—
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	○					○						○								○
⑤-2	健全or否 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)						○						○								○

○：評価可能  
—：未計測  
空欄：検査対象外

表-5.1.10 検知した内部不具合等の評価方法の整理（金属系）

検査項目	検査原理	定着方法		技術A		技術B		技術C		技術D		技術E		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	定性的	定量的			
①	あと施工アンカーボルト 鋼材長の絶対値						○														—	
							○															—
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																					
④	あと施工アンカー 削孔長さ																					
⑤-1	あと施工アンカー スリーブ打込状況						○						○									○
⑤-2	健全or否 打込率																					
⑥	あと施工アンカーボルト 耐力(引張強度)																					
⑦	あと施工アンカーボルト 健全性(健全or否)						○						○									○

○：評価可能  
—：未計測  
空欄：検査対象外

表-5.1.11 検知した内部不具合の評価方法の整理（樹脂系）

検査項目	検査技術	定着方法	技術B
①	あと施工アンカーボルト 鋼材長の絶対値	樹脂系	1mm
②	あと施工アンカーボルト 埋め込み長の絶対値		1mm

表-5.1.12 検知した内部不具合の評価方法の整理（金属系）

検査項目	検査技術	定着方法	技術B
①	あと施工アンカーボルト 鋼材長の絶対値	金属系	1mm
②	あと施工アンカーボルト 埋め込み長の絶対値		1mm



表-5.1.13 あと施工アンカーボルト長さの検査精度（樹脂系）【定量的判定】

【単位:本】

計測誤差 (mm)	検査技術	技術B
~-51		
-50~-41		
-40~-31		
-30~-21		
-20~-11		
-10~-1		6
0		3
1~10		18
11~20		
21~30		
31~40		
41~50		
51~		1
合計		28

※実際のアンカーボルト鋼材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

表-5.1.14 あと施工アンカーボルト長さの検査精度（金属系）【定量的判定】

【単位:本】

計測誤差 (mm)	検査技術	技術B
~-51		
-50~-41		
-40~-31		
-30~-21		
-20~-11		
-10~-1		1
0		2
1~10		3
11~20		
21~30		
31~40		
41~50		
51~		
合計		6

※実際のアンカーボルト鋼材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

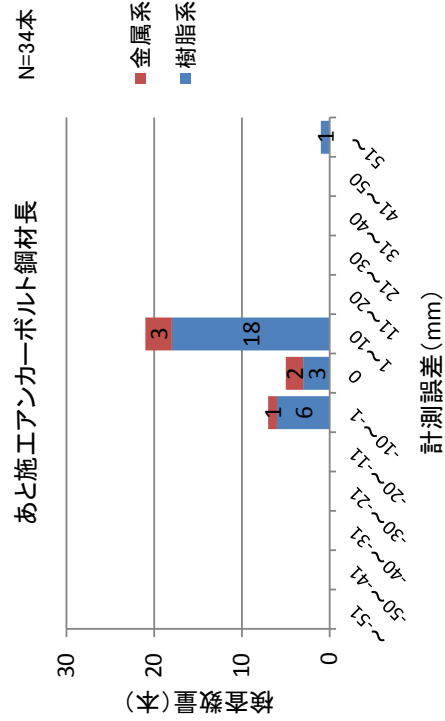


図-5.1.2 あと施工アンカーボルト長さの誤差分布（技術B）

表-5.1.15 あと施工アンカーボルト埋め込み長の検査精度（樹脂系）  
【定量的評価】

【単位：本】		技術B
計測誤差 (mm)	検査技術	
～51		
-50～-41		
-40～-31		
-30～-21		
-20～-11		
-10～-1		3
0		7
1～10		17
11～20		
21～30		
31～40		
41～50		
51～		1
合計		28

※実際のアンカー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

表-5.1.16 あと施工アンカーボルト埋め込み長の検査精度（金属系）  
【定量的評価】

【単位：本】		技術B
計測誤差 (mm)	検査技術	
～51mm		
-50～-41mm		
-40～-31mm		
-30～-21mm		
-20～-11mm		
-10～-1mm		1
0mm		
1～10mm		5
11～20mm		
21～30mm		
31～40mm		
41～50mm		
51mm～		
合計		6

※実際のアンカー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

あと施工アンカーボルト埋め込み長 N=34本

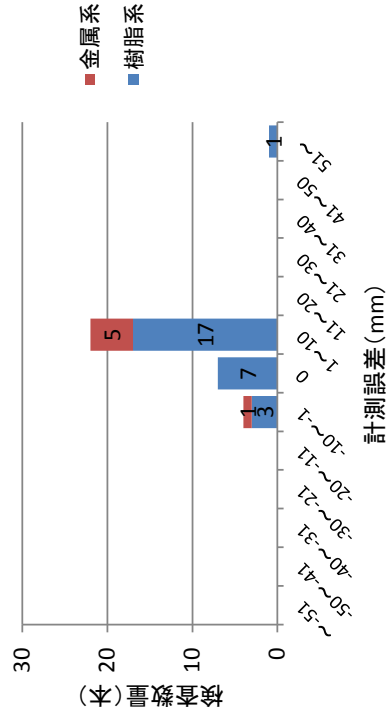


図-5.1.3 あと施工アンカーボルト埋め込み長の誤差分布（技術B）

表-5.1.17 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E	技術G	技術H	技術I
全体	100%	100%	100%	100%	100%	67%	67%	0%
M16	100%	100%	100%	100%	100%	50%	50%	0%
M18	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%

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 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

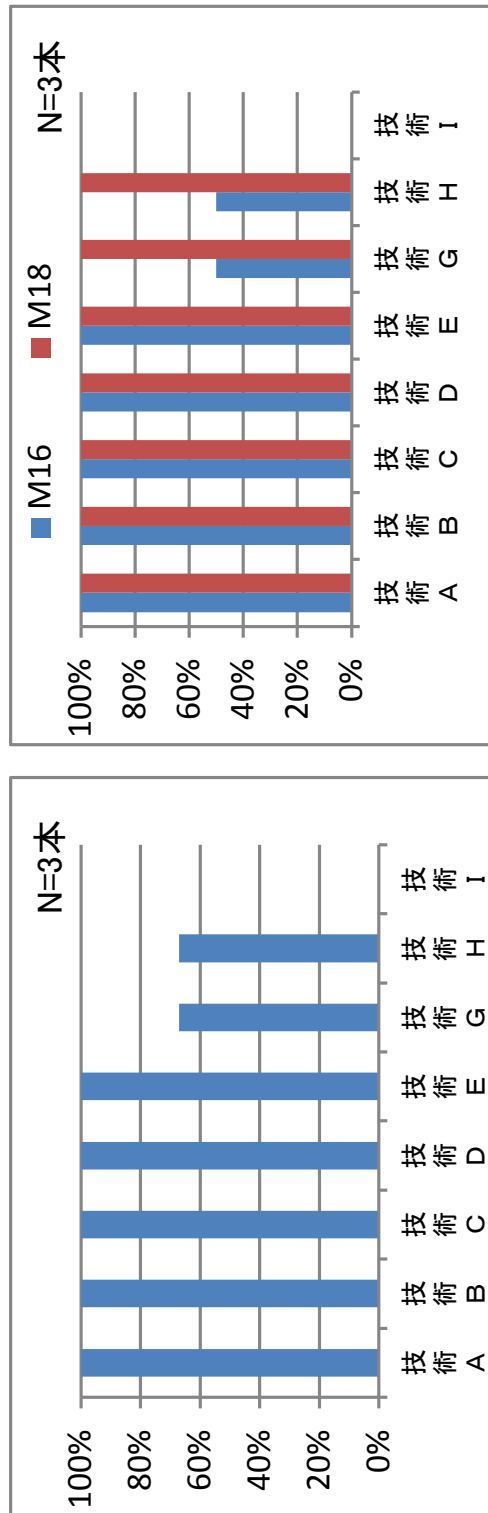


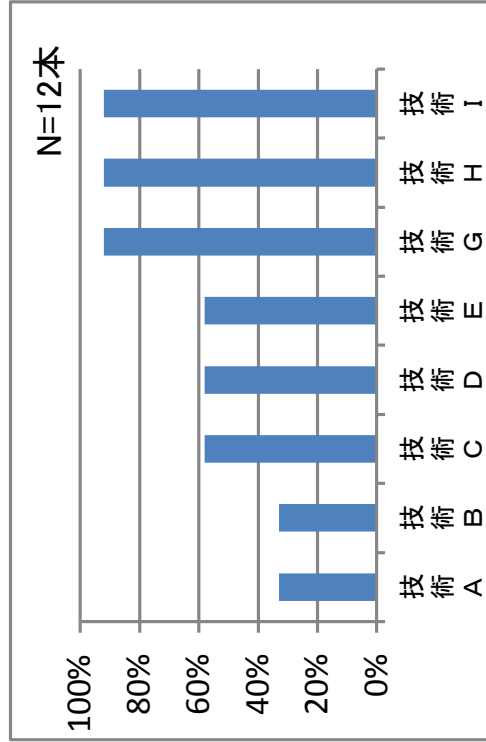
図-5.1.4 あと施工アンカーボルト樹脂充填状況（健全 or 否） 「充填不足なし」 判定の正答率（樹脂系） 【定性的判定】

表-5.1.18 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】

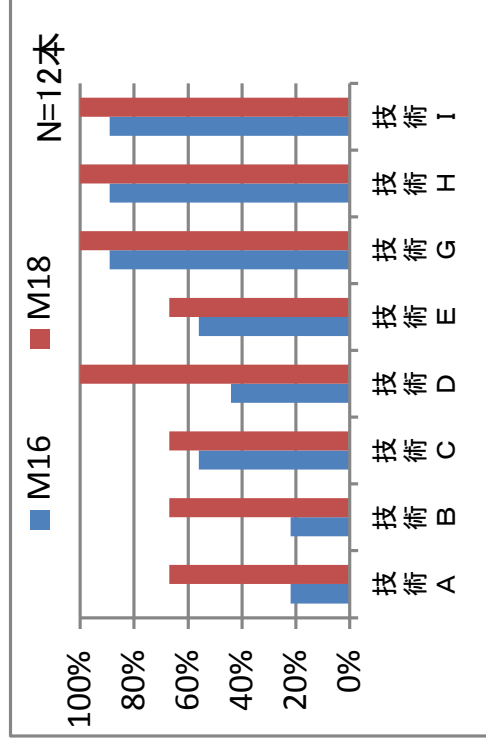
検査技術	技術A	技術B	技術C	技術D	技術E	技術G	技術H	技術I
検査条件								
全体	33%	33%	58%	58%	58%	92%	92%	92%
M16	22%	22%	56%	44%	56%	89%	89%	89%
M18	67%	67%	67%	100%	67%	100%	100%	100%

アンカーの状態	検査結果	判定
健全	健全	正答
	否	空振
	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



(1) 全体



(2) 径による分類

図-5.1.5 あと施工アンカーボルト樹脂充填状況（健全 or 否） 「充填不足あり」判定の正答率（樹脂系） 【定性的判定】

表-5.1.19 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	技術B	技術C	技術D	技術E	技術G	技術H	技術I
全体	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	0%
M16	100%	100%	0%	100%	100%	0%	0%	0%
M24	0%	100%	0%	0%	100%	0%	100%	0%

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)	正答 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、アンカー削孔等に要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

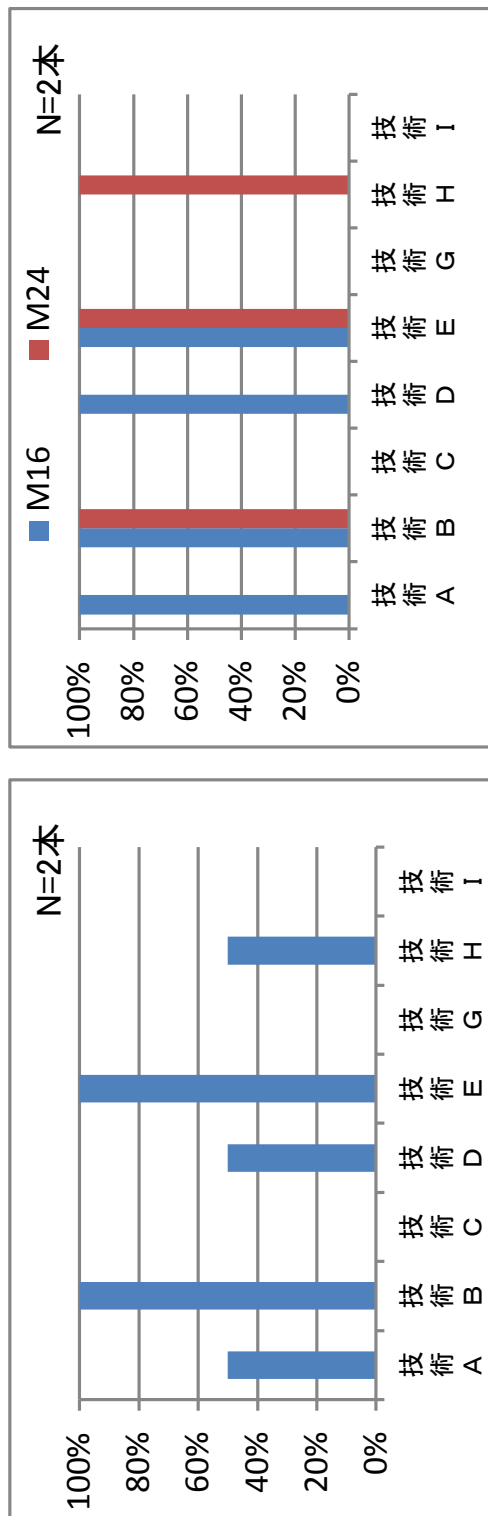


図-5.1.6 あと施工アンカーボルトスリーブ打込み（健全 or 否） 「打込み不足なし」 判定の正答率（金属系） 【定性的判定】

表-5.1.20 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	技術B	技術C	技術D	技術E	技術G	技術H	技術I
全体	0%	25%	100%	50%	25%	75%	100%	100%
M16	0%	0%	100%	0%	50%	100%	100%	100%
M24	0%	50%	100%	100%	0%	50%	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 (内容違い)	正答 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

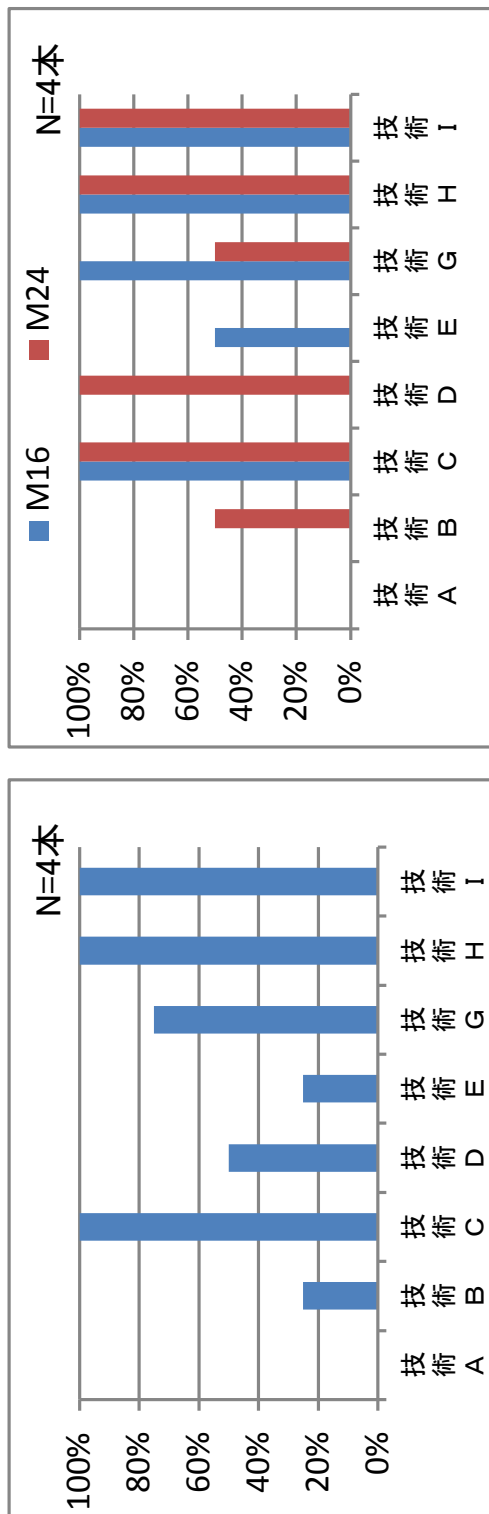


図-5.1.7 あと施工アンカーボルトスリーブ打込み（健全 or 否） 「打込み不足あり」 判定の正答率（金属系） 【定性的判定】

表-5.1.21 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)

検査技術	技術A	技術B	技術C	技術D	技術E	技術G	技術H	技術I
検査結果	100% (3本/3本)	100% (3本/3本)	100% (3本/3本)	100% (3本/3本)	100% (3本/3本)	67% (2本/3本)	67% (2本/3本)	0% (0本/3本)
正答率 (正答数/健全本数)								

【定性的判定】

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

表-5.1.22 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)

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充填不足(損傷本数)	12本	12本	12本	12本	12本	12本	12本	12本
正答率 (正答数/損傷本数)	0% (0本/12本)	0% (0本/12本)	58% (7本/12本)	58% (7本/12本)	58% (7本/12本)	92% (11本/12本)	0% (0本/12本)	0% (0本/12本)
空振率 (空振数/損傷本数)	33% (4本/12本)	33% (4本/12本)	0% (0本/12本)	0% (0本/12本)	0% (0本/12本)	0% (0本/12本)	92% (11本/12本)	92% (11本/12本)
見逃し率 (見逃し数/損傷本数)	67% (8本/12本)	67% (8本/12本)	42% (5本/12本)	42% (5本/12本)	42% (5本/12本)	8% (1本/12本)	8% (1本/12本)	8% (1本/12本)
検知率 (正答数+空振数)/損傷本数	33% (4本/12本)	33% (4本/12本)	58% (7本/12本)	58% (7本/12本)	58% (7本/12本)	92% (11本/12本)	92% (11本/12本)	92% (11本/12本)
②その他不具合(損傷本数)	13本	13本	13本	13本	13本	13本	13本	13本
正答率 (正答数/損傷本数)	0% (0本/13本)	8% (1本/13本)	15% (2本/13本)	8% (1本/13本)	8% (1本/13本)	0% (0本/13本)	0% (0本/13本)	0% (0本/13本)
空振率 (空振数/損傷本数)	62% (8本/13本)	38% (5本/13本)	0% (0本/13本)	0% (0本/13本)	0% (0本/13本)	54% (7本/13本)	62% (8本/13本)	92% (12本/13本)
見逃し率 (見逃し数/損傷本数)	38% (5本/13本)	54% (7本/13本)	85% (11本/13本)	92% (12本/13本)	92% (12本/13本)	46% (6本/13本)	38% (5本/13本)	8% (1本/13本)
検知率 (正答数+空振数)/損傷本数	62% (8本/13本)	46% (6本/13本)	15% (2本/13本)	8% (1本/13本)	8% (1本/13本)	54% (7本/13本)	62% (8本/13本)	92% (12本/13本)

【定性的判定】

アンカーの状態	検査結果	判定
健全	健全	正答
否	否	空振
(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

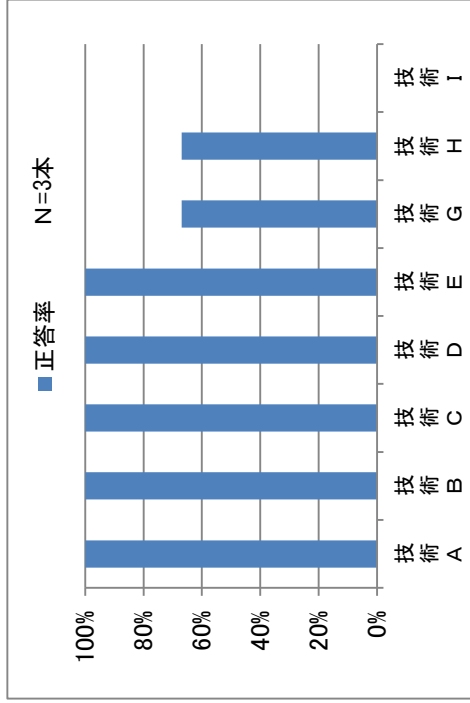
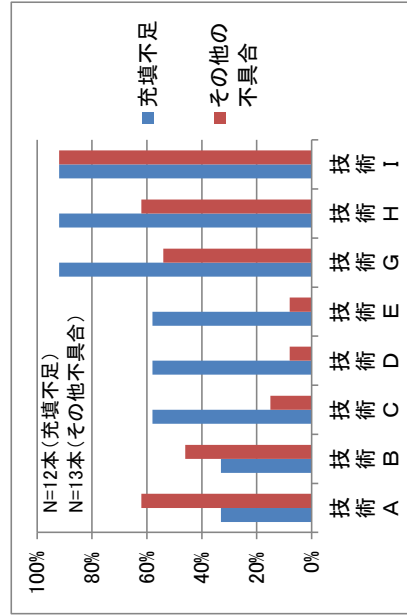
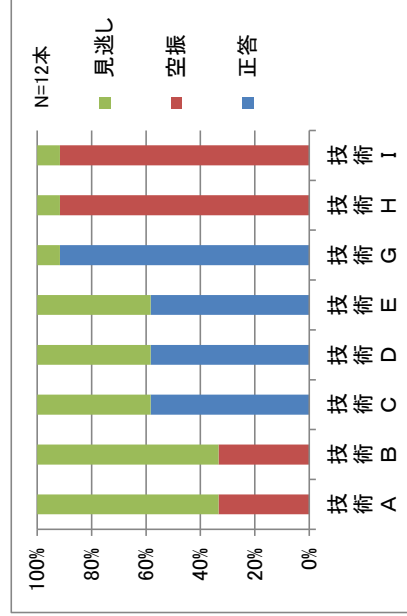


図-5.1.8 あと施工アンカーボルトの健全性 (健全 or 否) 「健全アンカー」判定の正答率 (樹脂系) 【定性的判定】



(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-5.1.9 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-5.1.23 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E	技術G	技術H	技術I
検査結果	50% (1本/2本)	100% (2本/2本)	0% (0本/2本)	50% (1本/2本)	100% (2本/2本)	0% (0本/2本)	50% (1本/2本)	0% (0本/2本)
正答率								

表-5.1.24 あと施工アンカーボルトの健全性 (健全 or 否) 「健全外」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	2本	2本	2本	2本	2本	2本	2本	2本
①充填不足(損傷本数)	0本 (0本/2本)	0本 (0本/2本)	0本 (0本/2本)	0本 (0本/2本)	0本 (0本/2本)	0本 (0本/2本)	0本 (0本/2本)	1本 (2本/2本)
正答率 (正答数/損傷本数)	0%	0%	100%	50%	0%	100%	100%	0%
空振率 (空振数/損傷本数)	100%	100%	0%	50%	100%	0%	0%	0%
見逃し率 (見逃し数/損傷本数)	0%	0%	100%	50%	0%	100%	100%	100%
検知率 (正答数+空振数)/損傷本数	0%	0%	100%	50%	0%	100%	100%	100%
②その他不具合(損傷本数)	2本	2本	2本	2本	2本	2本	2本	2本
正答率 (正答数/損傷本数)	0本 (0本/2本)	0本 (0本/2本)	0本 (0本/2本)	0本 (0本/2本)	0本 (0本/2本)	0本 (0本/2本)	0本 (0本/2本)	0本 (0本/2本)
空振率 (空振数/損傷本数)	0%	50%	100%	50%	50%	50%	100%	100%
見逃し率 (見逃し数/損傷本数)	100%	50%	0%	50%	50%	50%	0%	0%
検知率 (正答数+空振数)/損傷本数	0%	50%	100%	50%	50%	50%	100%	100%

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

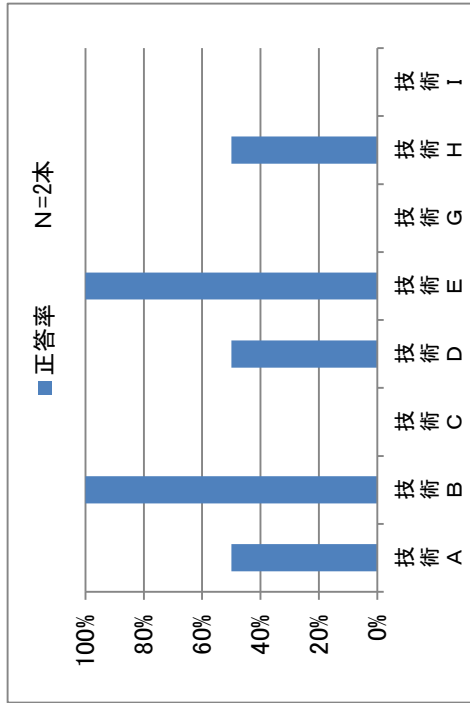
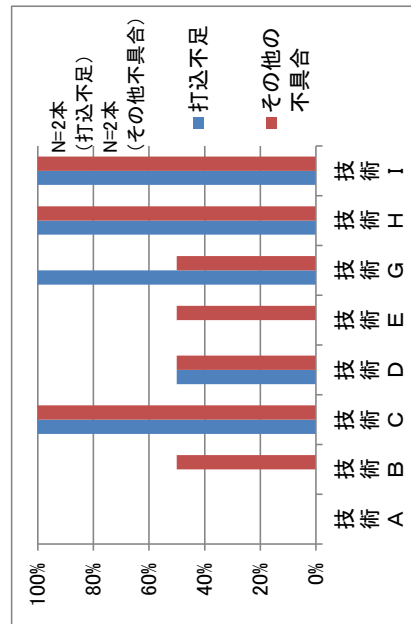
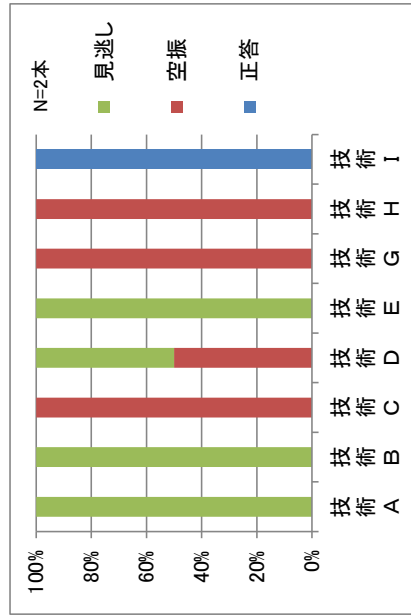


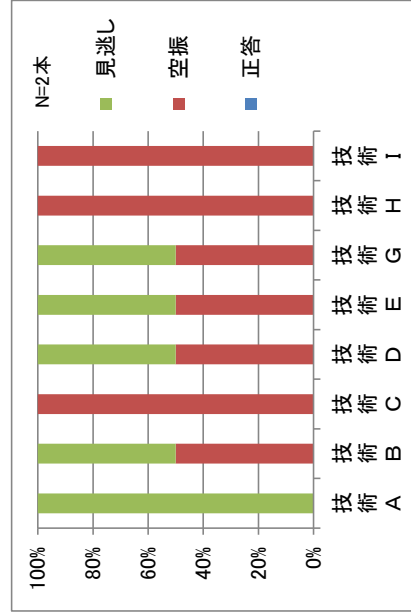
図-5.1.10 あと施工アンカーボルトの健全性 (健全 or 否) 「健全アンカー」判定の正答率 (金属系) 【定性的判定】



(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-5.1.11 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」判定の正答率 (金属系) 【定性的判定】

表-5.1.25 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E	技術F	技術G	技術H	技術I
作業性	検査機器の準備時間(min)	5	10	0	1	1	12	30	60	6
	検査時間(1本当たり平均)(min)	1	1	1	1	1	8.6	1	1.5	1
	検査機器の撤去時間(min)	5	10	0	0	0	0	1	1	0
	作業人数(人)	2	3	2	2	2	2	3	3	3
	延べ作業時間(min×人)	125.3	195	80	81	81	110.4	226.5	384	153.3
アンカー本数(本)	45	45	40	40	40	5	45	45	45	
1本当たり作業時間(本/min) ※2	3	4	2	2	2	22	5	9	3	6

※各検査技術により予備情報の有無、検査対象が異なるため本数は異なる。

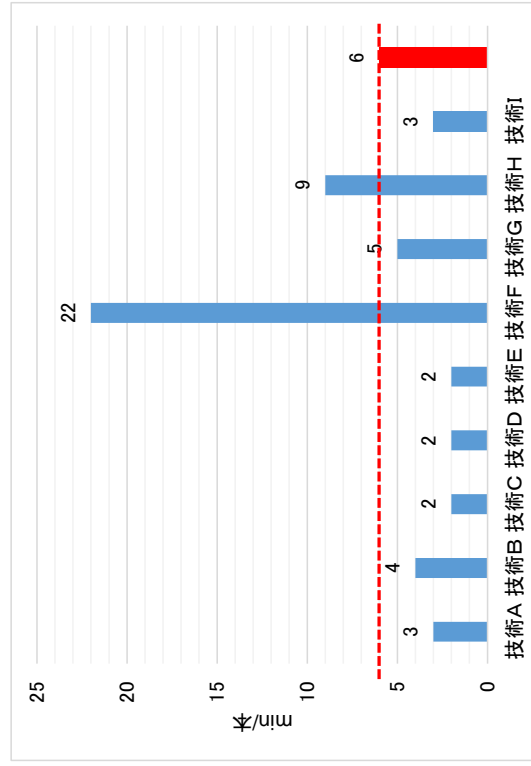


図-5.1.12 各検査技術のあと施工アンカーポルト 1本当たりの検査時間

表-5.1.26 各検査原理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E	技術F	技術G	技術H	技術I	
1本当たり作業時間(本/min)	3	4	2	2	2	22	5	9	3	
あと施工アンカーポルトの健全性 正答率(%)	47%	47%	47%	41%	41%	—	68%	76%	79%	
※正答率は4章の結果と比較するために軸力を導入したあと施工アンカーポルトは対象外とした。										
あと施工アンカーの健全性 正答率 平均値(%)										
56%										

技術Fは模擬供試体②で検査を実施していないため、評価から除外した。

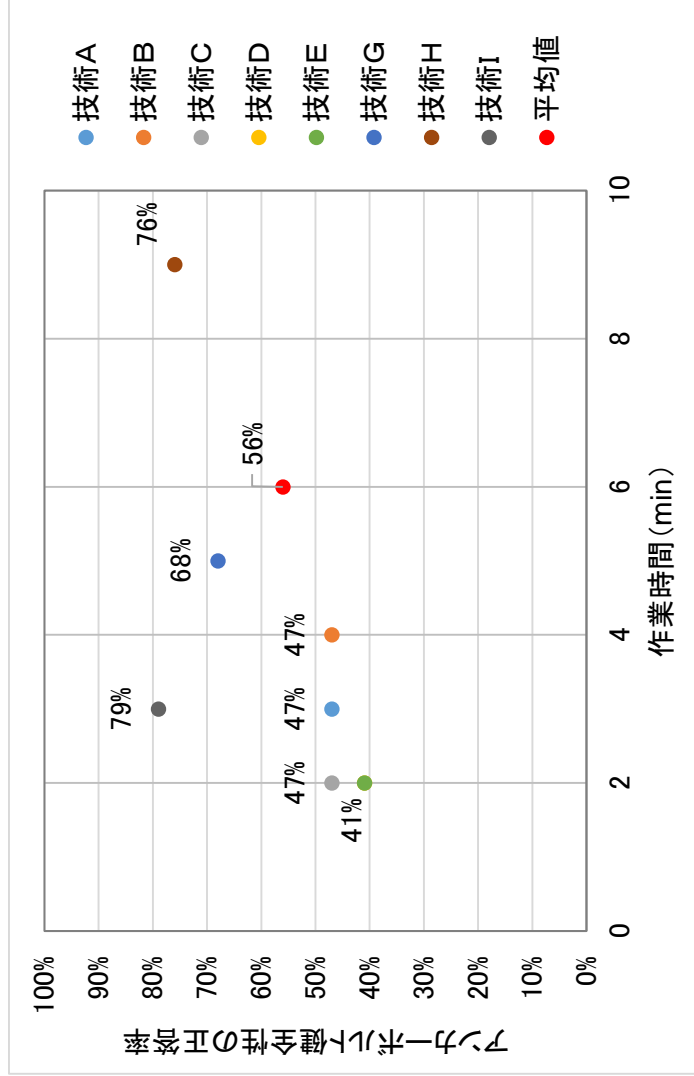


図-5.1.13 各検査原理の作業時間とあと施工アンカーの健全性の正答率との関係

### ③検査結果の考察

#### (1)予備情報の有無による検知可能な不具合及び検査精度への影響

各検査技術の予備情報の有無による検知可能な不具合への影響と検査精度への影響について整理した結果を表-5.1.27、表-5.1.28 に示す。

表-5.1.27では予備情報が与えられたことで検知できるようになった検査項目を緑色で示している。技術 B では予備情報なしではいずれの検査項目についても検知できていなかったが、予備情報ありではすべての検査項目が検知可能となっている。技術 A においても予備情報なしで検知できていた「樹脂充填状況（健全 or 否）」以外のすべての検査項目が検知可能となっている。技術 G、技術 H、技術 I においては「スリーブ打込み状況（健全 or 否）」が検知できるようになっている。これは、事前に実施したキャリブレーション用の健全アンカーの検査結果と各あと施工アンカーに対する検査結果を比較することで、応答値の異常等を捉えやすくなり、あと施工アンカーの健全性の判定等が容易になったためと考えられる。

表-5.1.27 の黄色着色部は、予備情報が与えられたことであと施工アンカー定着部に模擬された内部不具合等の検知率が上がった検査項目を示している。ほとんどの検査技術において、「充填不足あり」や「打込不足あり」、「健全外アンカー」に対する検知率が予備情報なしの場合と比較して高くなる傾向である。これは、各あと施工アンカーの検査結果を健全アンカーの検査結果と比較することで、健全アンカーと同様の検査結果を示さないあと施工アンカーを「健全外アンカー」と判断できるようになったためと考えられる。しかし、検査技術によっては樹脂充填率に異常がない場合は検査結果を異常と捉えられないこともあるため、予備情報によって必ずしも検知率が高くなるとは言えない。

表-5.1.28 に示すとおり、予備情報ありの検査において定量的判定を行ったのは技術 B のみであった。金属系については、「あと施工アンカーボルト鋼材長」のばらつきが大きくなったが、「あと施工アンカー埋め込み長」のばらつきは同程度であり、予備情報の有無による影響は明確ではなかった。一方で樹脂系については、予備情報なしの場合と比較して計測誤差のばらつきは小さくなり、「あと施工アンカーボルト鋼材長」、「あと施工アンカー埋め込み長」ともに概ね+10mm～-10mm の誤差範囲内になっており、樹脂系については予備情報の検査精度向上への有効性が高い結果となった。

表-5.1.27 予備情報の有無による検知可能な不具合及び検知率の比較

検査項目	技術A		技術B		技術C		技術D		技術E		技術G		技術H		技術I	
	予備なし	予備あり	予備なし	予備あり	予備なし	予備あり	予備なし	予備あり	予備なし	予備あり	予備なし	予備あり	予備なし	予備あり	予備なし	予備あり
樹脂充填状況 (健全or否)	充填不足なし	74%	50%	100%	94%	100%	84%	100%	未実施	100%	100%	67%	100%	67%	78%	50%
	充填不足あり	0%	63%	33%	53%	58%	43%	58%		58%	39%	92%	31%	92%	24%	63%
スリーブ打込状況 (健全or否)	打込不足なし	25%	100%	60%	0%	60%	75%	75%		25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
	打込不足あり	50%	25%	40%	100%	40%	38%	38%		88%	88%	88%	88%	50%	50%	
接着系アンカーボルト の健全性(健全or否)	健全アンカー	100%	100%	63%	100%	100%	100%	100%		100%	44%	67%	44%	67%	50%	0%
	健全外	48%	40%	33%	36%	43%	32%	32%		68%	72%	68%	76%	78%	92%	
金属系アンカーボルト の健全性(健全or否)	健全アンカー	50%	100%	50%	0%	50%	50%	100%		17%	0%	17%	50%	33%	0%	
	健全外	0%	25%	44%	100%	78%	50%	25%		78%	75%	78%	100%	56%	100%	

※技術 F は計測対象が異なるため比較対象外としている。

予備情報により検知率が上がったケース  
 予備情報により検知可能になったケース

表-5.1.28 予備情報の有無による検査精度の比較【定量的判定】

あと施工アンカーボルト鋼材長		予備情報なし				あと施工アンカーボルト埋め込み長		予備情報なし			
		予備情報あり						予備情報あり			
		技術B		技術B				技術B		技術B	
計測誤差 (mm)	樹脂系		金属系		計測誤差 (mm)	樹脂系		金属系			
	予備なし	予備あり	予備なし	予備あり		予備なし	予備あり	予備なし	予備あり		
~-51	3				~-51	2					
-50~-41					-50~-41						
-40~-31	2				-40~-31	2					
-30~-21					-30~-21						
-20~-11					-20~-11	1					
-10~-1		6		1	-10~-1		3	2	1		
0		3		2	0		7	1			
1~10	33	18	15	3	1~10	29	17	12	5		
11~20	8				11~20	7					
21~30					21~30						
31~40	2				31~40	2					
41~50					41~50						
51~		1			51~	5	1				
合計	48	28	15	6	合計	48	28	15	6		

※検査精度の比較は「予備情報なし」と「予備情報あり」共に計測データがあるものを整理している。

## (2)予備情報の有無による作業性能への影響

各検査技術の予備情報の有無の作業時間とあと施工アンカーの健全性の正答率について比較した結果を図-5.1.14に示す。

作業時間は技術Dで変わらず、技術Cで1分長くなっているが、それ以外の検査技術ではあと施工アンカー1本当たりの検査時間は短くなる傾向である。また、技術C以外の検査技術では、作業時間が短くなってもあと施工アンカーの健全性の正答率は高くなる傾向である。非破壊検査技術の基礎的調査に引き続き2度目の検査であるため、検査の慣れの影響も含めて作業時間が短縮された可能性もあるが、予備情報が与えられたことで、その場で結果を判定できる検査技術において1本当たりの判定の時間を短縮できたことにより、作業時間が短くなった可能性も考えられる。

このように検査技術によっては予備情報が与えられることで検査精度が低下せずに作業性が向上する場合がある。一方、実構造物で検査を実施する場合、あと施工アンカーの施工図面がなく、現地での健全なアンカーの選定が困難で、予備情報がない状態で検査を実施するような状況も想定される。よって、予備情報の有無により検査性能に大きな差異を生じる検査技術について、事前にその原因について明らかにできるような性能評価手法とする必要がある。

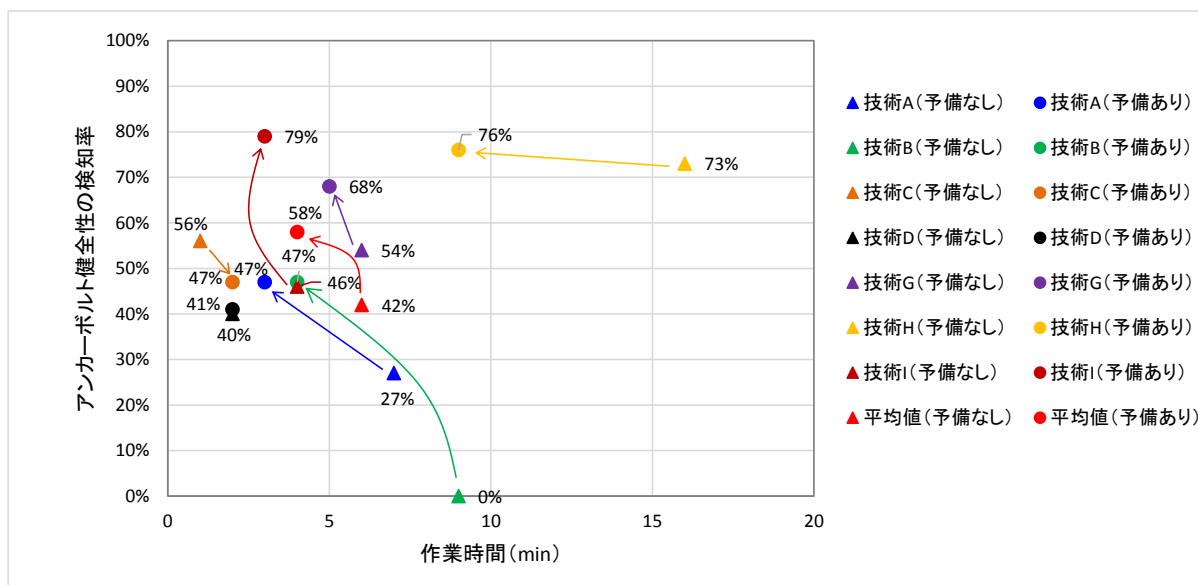


図-5.1.14 予備情報の有無による作業時間とあと施工アンカーの健全性の正答率の比較

#### ④性能評価手法に反映すべき事項

非破壊検査委技術の基本性能の検証では、予備情報を与えた状態で健全なアンカーや不具合を模擬したアンカーを混在させた模擬供試体②に対して非破壊検査を実施し、4章で実施した予備情報がない検査結果との比較によって、予備情報の有無が検査技術の基本性能に及ぼす影響について確認した。

予備情報が与えられることで検査精度や作業性はほとんどの検査技術で向上する傾向にあったが、検査技術によっては必ずしも有効とは限らないことが確認された。性能評価手法において非破壊検査技術の基本的な検査性能を評価するためには、本検討で実施したような予備情報の有無を条件とした検査を段階的に実施することで各非破壊検査技術の特性を把握できるものと考えらえる。

また、予備情報の有無によって検知可能な項目が変化することが確認された。非破壊検査を実造物に適用しようとする場合、その機器の検知対象や精度についてはカタログ等に示された情報や実績をもとに検査機器を選定するのが一般的である。そのため、その情報がどの程度の信頼性を持っているのか明確なことが重要である。非破壊検査技術の性能評価手法では、検査機器の性能が想定どおり発揮されるのか、また、発揮されない場合は何が要因であるのかについて、検査機器の原理や検査条件等に照らして評価できることが求められる。そのためには、事前に検査原理や機器の能力・性能（カタログ値）についての基礎的要件を明らかにしたうえで検査を実施し、検査機器が想定している性能の信頼性を確認する必要がある。

## 5.2 非破壊検査技術の実構造物への適用性の検証

### 5.2.1 概要

点検等で非破壊検査を活用する場合、あと施工アンカー周辺のコンクリートの表面の劣化やひび割れ、支障物等が存在している場合がある。また、あと施工アンカーはナットの締付けや接続される部材の荷重が作用することで、アンカーボルトに軸力が導入されている場合がある。非破壊検査技術の実構造物への適用性の検証では、実構造物において想定される構造物の状態や条件等が検査性能に及ぼす影響を検証する。ここでは、実部材供試体を用いて、新たに不具合を模擬して施工したあと施工アンカーと既設のあと施工アンカーに対して非破壊検査を実施し、コンクリートの劣化やひび割れ、支障物等の存在が検査結果へ与える影響について検証する。また、あと施工アンカーに軸力を導入した状態で検査を実施することで、軸力の導入レベルや軸力が導入されているボルトに不具合が生じている場合の影響について検証する。

### 5.2.2 検証対象とした非破壊検査技術

非破壊検査技術の実構造物への適用性の検証では9技術について非破壊検査の検証を行った(表-5.2.1)。検査は共同研究者がそれぞれ行った。

表-5.2.1 検証対象技術一覧(適用性の検証)

検証対象技術	合計
技術 A、技術 B、技術 C、技術 D、技術 E、技術 F、技術 G、技術 H、技術 I	9 技術

※技術 F の引張試験法については、既設あと施工アンカーボルトに対する検査のみ実施。



### 5.2.3 検査対象とした供試体とあと施工アンカー

#### ①実部材供試体の新設あと施工アンカー

コンクリート表面の劣化やひび割れ等の変状が非破壊検査の検知性能や計測精度へ及ぼす影響について確認するために実部材供試体に設置した新設あと施工アンカーについて非破壊検査を実施する。検査に使用したあと施工アンカーは図-5.2.1No.41～50 である。No.41～No.50 に模擬した不具合は表-5.2.2 のとおりである。

表-5.2.2 模擬したあと施工アンカー健全供試体

No.	アンカー種別	ボルト呼び径(mm)	施工方向	模擬した状態	樹脂充填率(%)
42	樹脂注入	M16	下向き	表面の劣化+充填不足(小)	75
43				表面の劣化+充填不足(中)	50
44				表面の劣化+充填不足(大)	25
46				表面の劣化	100
41				表面の劣化+ひび割れ部	100
47				表面の劣化+へりあき部	100
45				表面の劣化+支障物近接	100
48				金属スリーブ	M16
49	表面の劣化+打込み量1/2				
50	樹脂カプセル	M22	下向き	表面の劣化 既設施工アンカー仕様 ※1	100

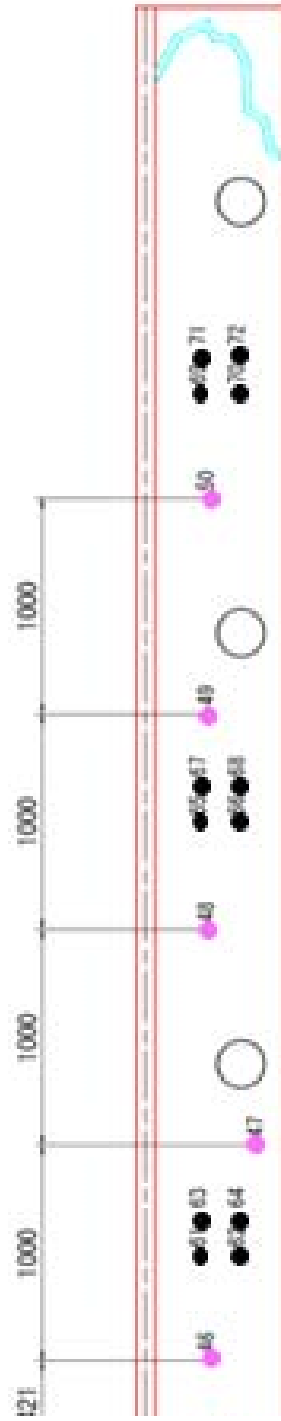
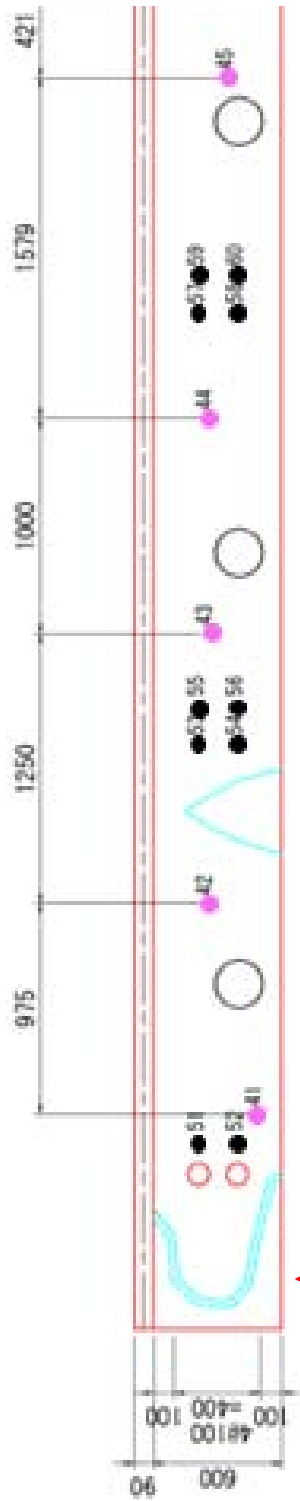
※1 既設のあと施工アンカーを解体調査して同仕様で施工

#### ②実部材供試体の既設あと施工アンカー

経年劣化したコンクリートやあと施工アンカーが検査結果へ与える影響について確認し、実構造物への適用性を検証するために実部材供試体に供用中から設置されている既設あと施工アンカーについて非破壊検査を実施する。検査に使用したあと施工アンカーは図-5.2.1NO.51～72 である。なお、既設あと施工アンカーに対する検査は、予備情報を与えた検査条件とするために図-3.2.25 に示した既設のあと施工アンカーと同じ仕様の新設あと施工アンカー(表-5.2.2 の NO.50) を設置し、検査前にそのアンカーを検査することでキャリブレーションを行った。

#### ③軸力を導入したあと施工アンカー

あと施工アンカーボルトに軸力が導入された状態が検査結果に与える影響について確認し、実構造物への適用性を検証するために軸力を導入したあと施工アンカーに対して検査を実施する。軸力の管理はトルク法で実施するものとし、アンカーボルト降伏耐力の70%に相当する締付軸力をトルク100%と定義し、トルク50%、100%導入したあと施工アンカーについて検査を実施した。また、一部のトルクを導入したあと施工アンカーには充填不足も模擬した。検査に使用したあと施工アンカーは表-5.1.2 NO.37～40、表-5.1.3 NO.22～23 である。



● 既設アンカーボルト  
● 新設アンカーボルト

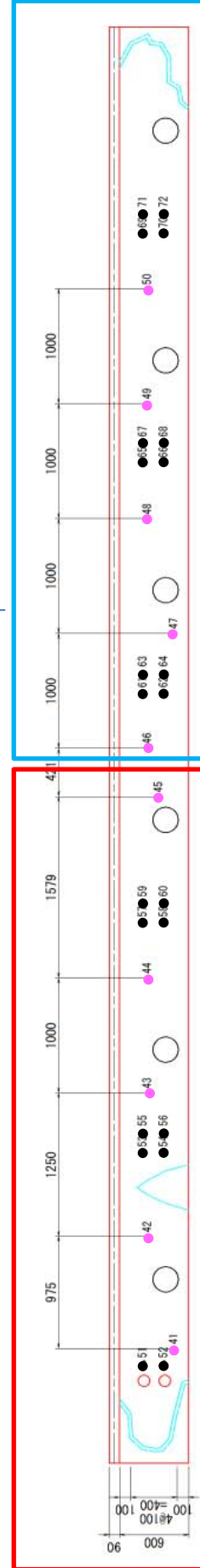


図-5.2.1 実部材供試体あと施工アンカー配置図

## 5.2.4 検査条件

### ①評価項目と着目点

評価項目と着目点は表-5.2.3 のとおりである。

表-5.2.3 評価項目と着目点

検証項目	着目点
コンクリートの表面劣化やひび割れ、支障物等が存在する場合の検知性能	コンクリートの劣化やひび割れ等の変状の有無が非破壊検査結果に与える影響について把握する。
あと施工アンカーに軸力が導入されている場合の検知性能	あと施工アンカーの軸力の有無が非破壊検査結果に与える影響について把握する。

### ②検査項目

5.1.4②の表-5.1.5 と同様とした。

## 5.2.5 適用性能の検証結果

### ①検査結果の整理

(1)コンクリートの劣化やひび割れ等の変状の有無が検査結果へ与える影響

実部材供試体の新規に模擬したあと施工アンカーボルトを用いてコンクリート表面の劣化やひび割れ等の変状が検査結果へ及ぼす影響について表-5.2.4～表-5.2.5、図-5.2.2～図-5.2.3 のとおり整理した。なお、表-5.2.4 と表-5.2.5 では検査結果の比較のため、模擬供試体②で実施した結果を併せて表記している。

また、実環境によって経年劣化したあと施工アンカーボルトへの適用性を確認するために実部材供試体の既設あと施工アンカーボルトの内部の状態について検知可能か整理した。表-5.2.6 に示すように既設あとアンカーの検査を実施したのち、検査結果の検証がすべて網羅できるように解体する既設あと施工アンカーを選定し、図-5.2.4、表-5.2.7、写真-5.2.1～写真-5.2.6 に示すように解体調査を実施した。その後、解体調査結果と非破壊検査の結果を照合した。照合結果を表-5.2.8、図-5.2.5 のとおり整理した。

(2)あと施工アンカーボルトに導入された軸力の有無が非破壊検査結果へ与える影響

あと施工アンカーボルトに軸力を導入した場合の検査結果へ及ぼす影響について表-5.2.9～表-5.2.10、図-5.2.6～図-5.2.7 のとおり整理した。なお、検査結果の比較のため軸力が導入されておらず、同様の不具合を模擬した（または健全な）あと施工アンカーに対する結果も表記している。

### ②検査結果の考察

(1) コンクリートの劣化やひび割れ等の変状の有無が検査結果へ与える影響

1)コンクリートの劣化やひび割れ等の影響

樹脂系アンカーの場合、図-5.2.2 に示すとおり、正答率は模擬供試体の場合とほぼ同様の傾向を示している。見逃し率は技術 A と技術 B で小さくなっているものの顕著な差

は見られず、本研究で対象とした検査技術においては、コンクリート表面の劣化（表面が経年劣化により骨材まわりのゆるみや空隙が目立つ状態）による検知率への影響は小さいと考えられる。

金属系アンカーにおいては、検知率は検査技術によって模擬供試体の場合と変動しており、コンクリート表面の劣化による影響は明確ではない。

表-5.2.4 に示すとおり、実部材にひび割れや、支柱基礎箱抜き等が存在する位置に不具合を模擬した場合の検知性能は、ひび割れ部、支障物近接、へりあき部の全ての箇所を検知できている検査技術は技術 A、技術 B、技術 C、技術 D である。項目別で見ると影響が大きかったのはひび割れ部とへりあき部であり、支障物近接では影響が小さい。ひび割れ部やへりあき部では計測機器の入力値又は応答値がそれらの影響を受けやすいものと考えられるが、検査データが少なく想定した損傷パターンも限定されているためこれらの影響については、更に検証が必要である。

## 2) 実環境による経年劣化を受けた既設アンカーボルトに対する検知性能

表-5.2.8、図-5.2.5 に示すとおり、全ての検査技術において変状がなかったアンカーボルトについては検知できていたが、空振を含めて既設あと施工アンカーに生じている変状を検知できていたのは技術 H のみである。ほとんどの検査技術において既設あと施工アンカーに硬化不良や付着不良等の変状が生じている場合の検知率は低くなっており、実構造物への適用性を事前に確認することの重要性が再認識させられる結果である。

## (2) あと施工アンカーボルトに導入された軸力の有無が非破壊検査結果へ与える影響

図-5.2.6(3)のとおり、健全なあと施工アンカーボルトについては軸力が導入されている状態でもほとんどの検査技術で 100% 検知ができていたのに対し、樹脂の充填不足の不具合を模擬して軸力が導入されている場合にはほとんどの技術で見逃しが多い結果である。これは、ボルトに軸力が作用していることで、検査時の応答値等に変化が生じ、適切に結果を評価できないためと考えられる。実構造物では軸力が導入されているあと施工アンカーは多く存在するため、軸力が及ぼす影響を事前に把握しておくことが重要である。

## ③ 評価試験法に反映すべき事項

非破壊検査技術の実構造物への適用性の検証では、実部材供試体を用いて、新たに不具合を模擬して施工したあと施工アンカーと既設のあと施工アンカーに対して非破壊検査を実施し、コンクリートの劣化やひび割れ、支障物等の存在が検査結果へ与える影響について検証した。また、あと施工アンカーに軸力を導入した状態で検査を実施することで、軸力の導入レベルや軸力が導入されているボルトに不具合が生じている場合の影響について検証した。

あと施工アンカーがコンクリート表面の劣化やひび割れ等の変状が生じている箇所またはその近辺に施工されている場合、それらが検査結果に影響を及ぼし、その程度は変状の種類や検査技術の種類によって異なることが確認された。また、実部材供試体にもともと施工されたアンカーボルトに対して非破壊検査を行った場合、模擬供試体で検査を行った

場合よりも検知性能が低下することが確認された。実部材供試体は、老朽化して撤去された部材の一部を用いているものであり、模擬供試体に設置されたあと施工アンカーに対する検査よりも実構造物における検査の方が、検査の難易度が高いことを認識させるものであった。このように、実構造物では様々な要因によって検査精度に影響を及ぼすことが考えられるため、非破壊検査技術の性能評価手法では模擬供試体に対する検査のみではなく、実構造物の条件をできる限り再現した供試体を用いて検査を実施することで、模擬供試体との検査精度の差や、その結果に影響を与える条件などを明確にできるような方法とする必要がある。

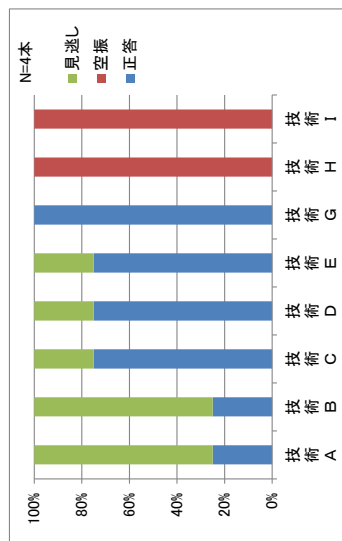
また、あと施工アンカーボルトに軸力が導入されていることで、不具合が生じているあと施工アンカーに対する検査精度に大きく影響することが確認された。今回の検討では、軸力が導入されたあと施工アンカーボルトに模擬した不具合は、樹脂の充填不足のみであったが、性能評価手法では、様々な不具合と組み合わせて検査を行うことで、それぞれの不具合に対する軸力の影響を明確にできる方法とする必要がある。

表-5.2.4 コンクリートの劣化や変状等による検知性能（樹脂系）

供試体種類	No.	影響項目	変状ケース	定着方法	技術A	技術B	技術C	技術D	技術E	技術G	技術H	技術I	
模擬供試体	21	なし(比較対象)	なし	樹脂系	○	○	○	○	○	○	△	△	
	16	なし(比較対象)	充填不足(小)		×	×	×	×	×	×	○	△	△
	17	なし(比較対象)	充填不足(中)		×	×	×	○	○	○	○	△	△
	18	なし(比較対象)	充填不足(大)		×	×	×	○	○	○	○	△	△
実部材供試体	41	表面の劣化+ひび割れ部	なし		○	○	○	○	○	△	△	○	△
	45	表面の劣化+支障物近接	なし		○	○	○	○	○	○	○	○	△
	47	表面の劣化+へりあき部	なし		○	○	○	○	○	○	△	△	△
	46	表面の劣化	なし		○	○	○	○	○	△	△	○	△
	42	表面の劣化	充填不足(小)		△	×	×	○	○	×	○	△	△
	43	表面の劣化	充填不足(中)		△	△	○	○	○	○	○	△	△
	44	表面の劣化	充填不足(大)		△	△	○	○	○	○	○	△	△

○：正答 △：空振 ×：見逃し

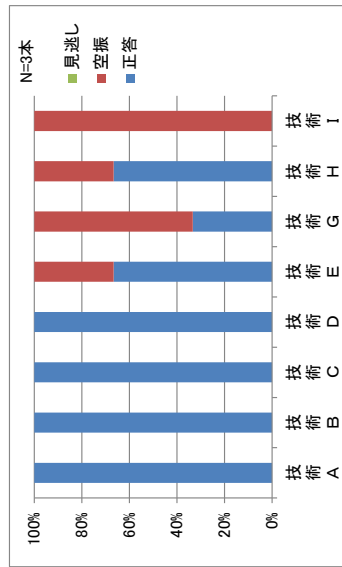
正答：健全アンカーの検査結果が健全である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外でない場合  
 空振：健全アンカーの検査結果が健全外である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外であっても不具合の内容が一致していない場合  
 見逃し：健全外アンカーの検査結果が健全である場合



(1) 模擬供試体（影響項目：なし）



(2) 実部材供試体（影響項目：表面の劣化）



(3) 実部材供試体（影響項目：表面の劣化+ひび割れ部+支障物近接+へりあき部）

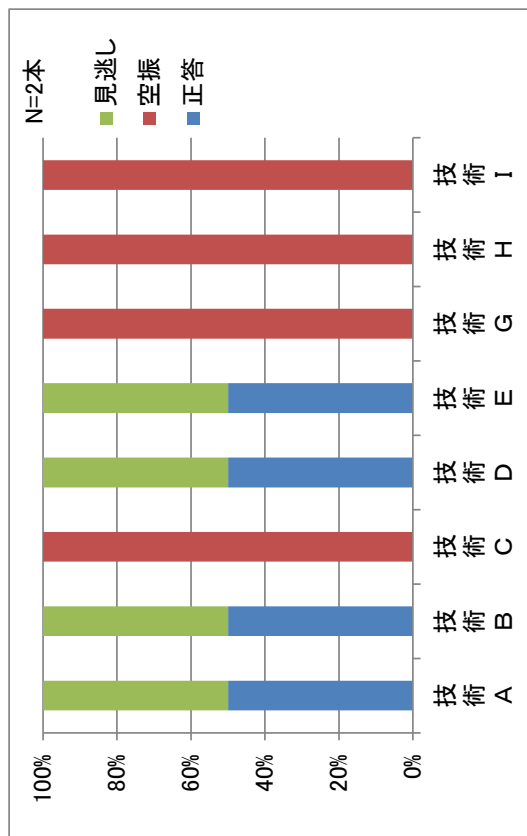
図-5.2.2 コンクリートの劣化や変状等による検知率（樹脂系）

表-5.2.5 コンクリートの劣化や変状等による検知性能（金属系）

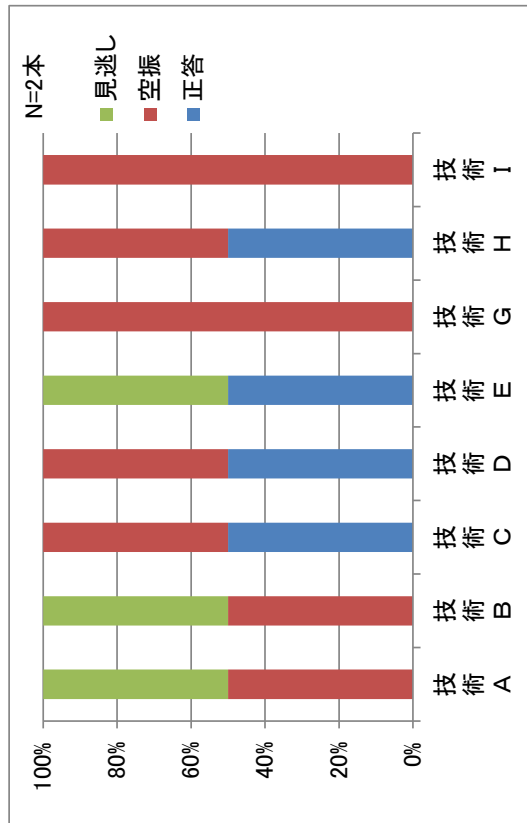
供試体種類	No.	影響項目	変状ケース	定着方法	技術									
					技術A	技術B	技術C	技術D	技術E	技術G	技術H	技術I		
模擬供試体	31	なし(比較対象)	なし	金属系	○	○	△	○	○	○	△	△	△	
	32	なし(比較対象)	拡張不足(半打込み)		×	×	△	×	×	×	△	△	△	
実部材供試体	48	表面の劣化	なし		△	△	○	○	○	○	△	○	△	△
	49	表面の劣化	拡張不足(半打込み)		×	×	△	△	△	×	△	△	△	△

○：正答 △：空振 ×：見逃し

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ない場合  
 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) 模擬供試体 (影響項目：なし)



(2) 実部材供試体 (影響項目：表面の劣化)

図-5.2.3 コンクリートの劣化や変状等による検知率（金属系）

表-5.2.6 実部材供試体の既設あと施工アンカーの検査結果（健全 or 否）

供試体種類	No.	アンカー種類	技術A		技術B		技術C		技術D		技術E		技術F		技術G		技術H		技術I		合計 否件数	解体調査 対象
			健全or否	否	健全or否	否	健全or否	否	健全or否	否	健全or否	否	健全or否	否	健全or否	否	健全or否	否	健全or否	否		
	51	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	3	
	52	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	4	○
	53	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	3	
	54	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	2	
	55	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	3	
	56	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	0	
	57	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	3	
	58	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	1	
	59	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	3	○
	60	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	2	
	61	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	1	
	62	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	1	
	63	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	2	
	64	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	4	○
	65	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	1	
	66	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	2	
	67	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	1	
	68	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	2	
	69	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	3	○
	70	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	1	
	71	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	1	
	72	樹脂カプセル	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	健全	否	0	○

実部材  
供試体

◇解体調査実施箇所の選定理由  
 NO.52、NO.64：検査結果において否判定が多い箇所  
 NO.59、NO.69：各者の検査結果の検証が全て網羅できるように選定  
 NO.72：比較の対象として全ての技術が標準と回答している箇所



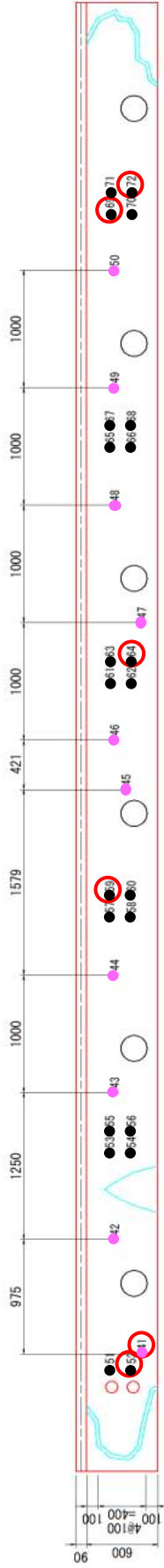


図-5.2.4 既設あと施工アンカー解体箇所

- 既設アンカーボルト
- 新設アンカーボルト
- 解体調査 (φ100 L=250 コア採取)

表-5.2.7 既設あと施工アンカーの解体調査結果

変状種別	確認方法	NO.					
		52	59	64	69	72	
鋼材長不足	鋼材長計測(mm)	250	250	252	250	250	
斜め削孔	充填状況目視・計測	14°	なし	なし	なし	なし	
鋼材腐食・破断	目視・計測	あり	なし	なし	なし	なし	
充填不足	目視・計測	なし	先端充填不足	接着剤の偏り	接着剤の偏り	なし	
硬化不良	目視・触診	あり	なし	なし	なし	なし	
付着不良	目視・触診	あり	なし	なし	なし	なし	
削孔径大	削孔径計測(mm)	50	28.7~30.3	28.5	28.3	28.1	
削孔長深	削孔長計測(mm)	170	185	187	185	182	
コンクリート劣化	目視・触診	なし	なし	気泡	なし	なし	
その他		既設鉄筋切断	既設鉄筋切断	既設鉄筋切断	既設鉄筋切断	既設鉄筋切断	

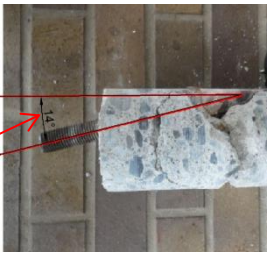









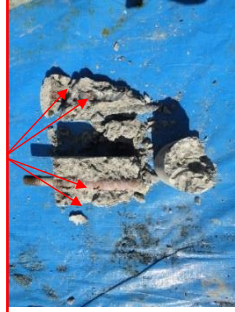


<p>斜め打設 (14°)</p> 	<p>充填材の未硬化</p> 	<p>再削孔の拡径(最大50mm)</p> 	<p>中間部の拡径</p> 	<p>先端充填不足</p> 	<p>鉛直鉄筋切断</p> 	<p>写真-5.2.2 解体後 (NO. 59)</p>
<p>接着剤の偏り</p> 	<p>鉛直鉄筋切断</p> 	<p>写真-5.2.3 解体後 (NO. 64)</p>	<p>接着剤の偏り</p> 	<p>鉛直鉄筋切断</p> 	<p>写真-5.2.4 解体後 (NO. 69)</p>	<p>写真-5.2.6 解体後 (NO. 5.1)</p>
<p>接着剤の剥がれ (充填不良ではない)</p> 	<p>接着剤剥がれ (充填不良ではない)</p> 	<p>写真-5.2.5 解体後 (NO. 72)</p>	<p>接着剤の充填不足なし</p> 	<p>写真-5.2.6 解体後 (NO. 5.1)</p>		

表-5.2.8 既設あと施工アンカーの非破壊検査結果と解体調査との照合結果

供試体種類	No.	アンカー種類	確認された変状	技術A	技術B	技術C	技術D	技術E	技術F	技術G	技術H	技術I
実部材 供試体	52	樹脂カプセル	硬化不良、付着不良	×	×	△	×	△	△	△	△	×
	59	樹脂カプセル	充てん不足(先端)	×	×	×	△	×	×	×	△	○
	64	樹脂カプセル	付着不良(偏り)	×	△	×	×	△	×	○	△	×
	69	樹脂カプセル	付着不良(偏り)	△	×	×	△	×	×	×	△	×
	72	樹脂カプセル	なし	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○：正答 △：空振 ×：見逃し

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  
または、健全アンカーの検査結果が健全外である場合

空振：健全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  
または、健全外アンカーの検査結果が健全である場合

見逃し：健全外アンカーの検査結果が健全である場合



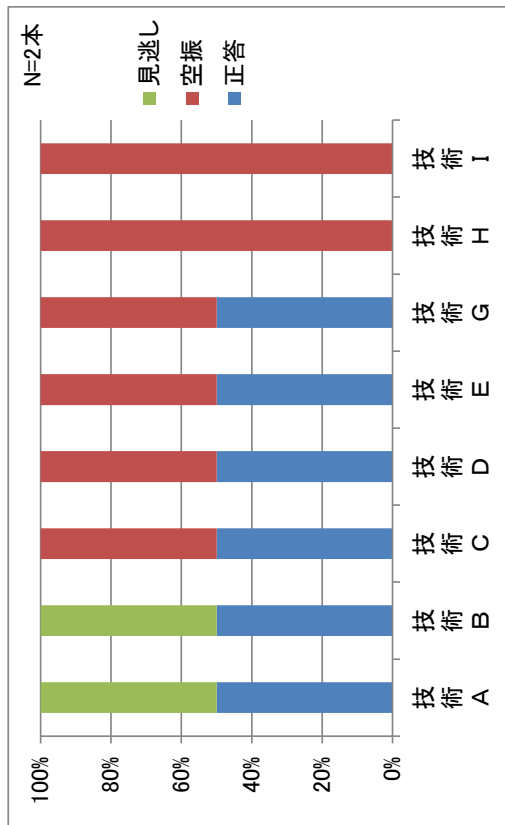
図-5.2.5 既設あと施工アンカーの変状の検知率

表-5.2.9 軸力の有無による検知性能

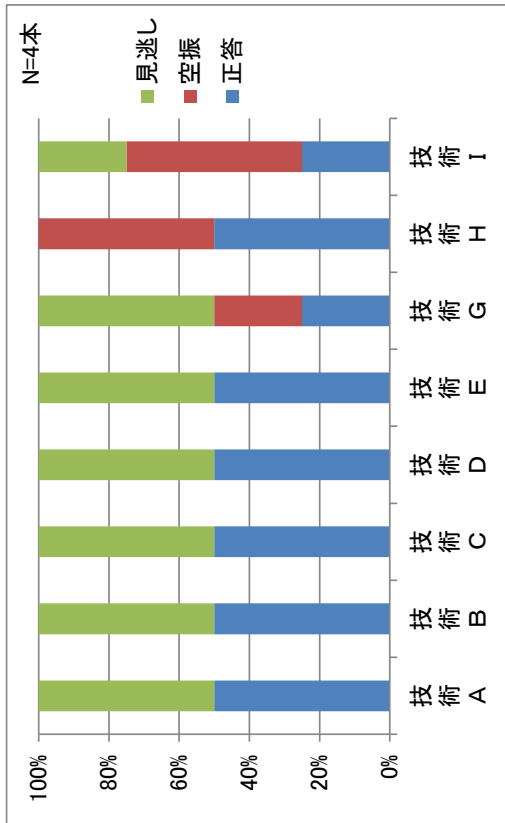
供試体種類	No.	影響項目	変状ケース	定着方法	技術A	技術B	技術C	技術D	技術E	技術G	技術H	技術I	
健全供試体	21	なし(比較対象)	なし	樹脂系	○	○	○	○	○	△	△	△	
	37	軸力導入(トルク50%)	なし		○	○	○	○	○	○	○	○	○
	38	軸力導入(トルク100%)	なし		○	○	○	○	○	○	△	○	△
模擬供試体	17	なし(比較対象)	充填不足(中)		×	×	△	△	△	△	○	△	△
	22	軸力導入(トルク50%)	充填不足(中)		×	×	×	×	×	×	×	△	△
	23	軸力導入(トルク100%)	充填不足(中)		×	×	×	×	×	×	×	△	×

○：正答 △：空振 ×：見逃し

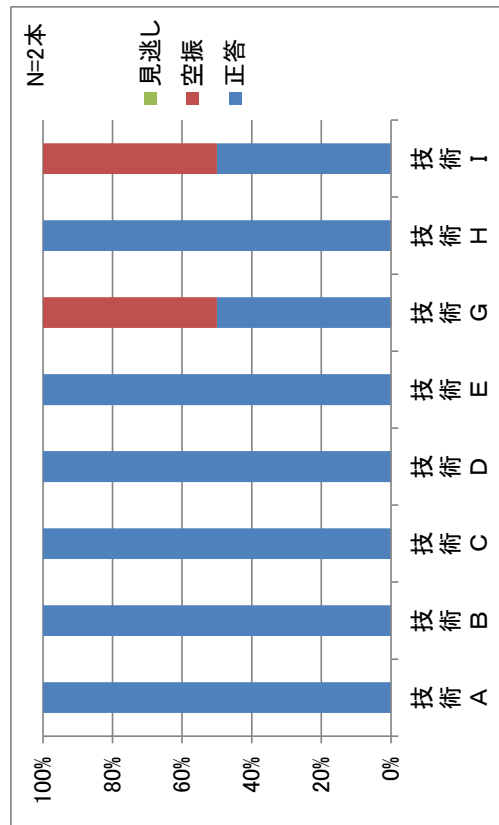
正答：健全アンカーの検査結果が健全である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外で不具合の内容が一致している場合  
 空振：健全アンカーの検査結果が健全外である場合  
 または、健全外アンカーの検査結果が健全外であっても不具合の内容が一致していない場合  
 見逃し：健全外アンカーの検査結果が健全である場合



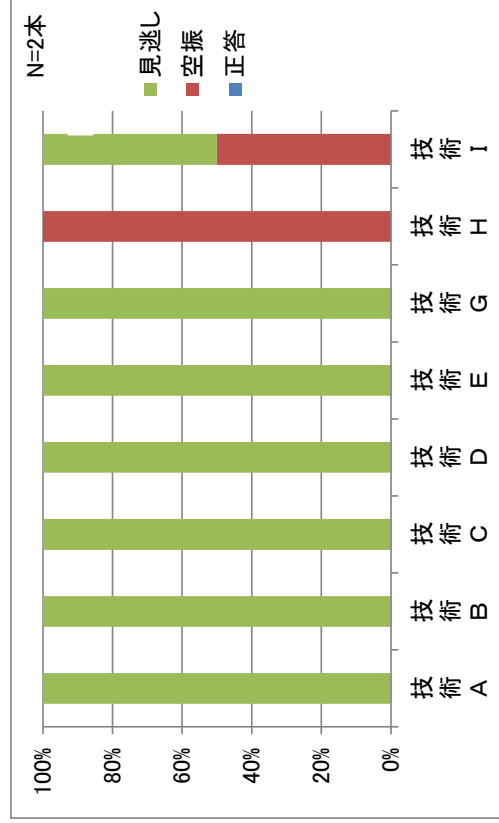
(1) 模擬供試体 (軸力なし)



(2) 模擬供試体 (軸力あり)



(3) 模擬供試体 (軸力あり+健全)



(4) 模擬供試体 (軸力あり+充填不足)

図-5.2.6 軸力の有無による検知率 (樹脂系)

表-5.2.10 軸力の有無による検知性能 (金属系)

供試体種類	No.	影響項目	変状ケース	定着方法	技術A	技術B	技術C	技術D	技術E	技術G	技術H	技術I	
健全供試体 模擬供試体	31	なし(比較対象)	なし	金属系	○	○	△	○	○	△	△	△	
	39	軸力導入(トルク50%)	なし		○	○	△	○	○	△	○	○	△
	40	軸力導入(トルク100%)	なし		○	△	△	○	○	○	○	○	△

正答:健全アンカーの検査結果が健全である場合

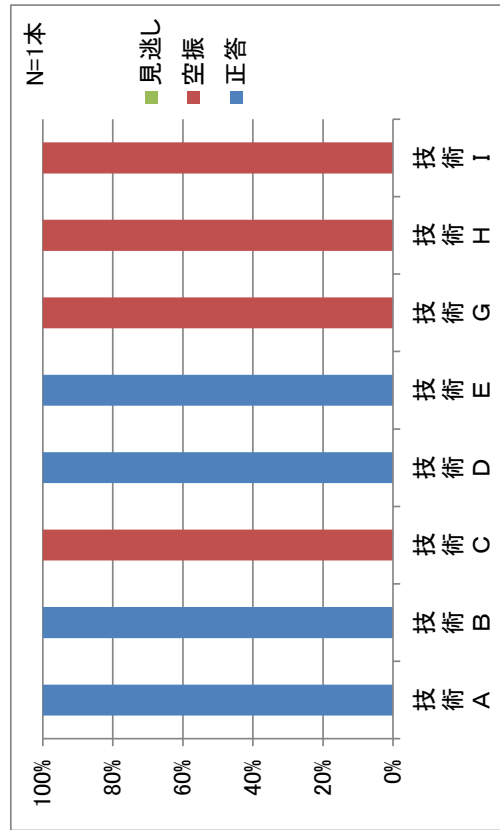
または、健全外アンカーの検査結果が健全外で不具合の内容が一致している場合

空振:健全アンカーの検査結果が健全外である場合

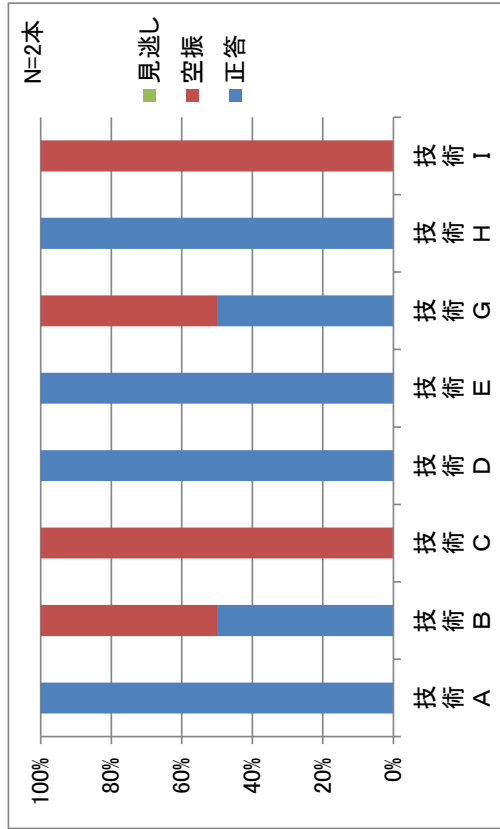
または、健全外アンカーの検査結果が健全外であっても不具合の内容が一致していない場合

見逃し:健全外アンカーの検査結果が健全である場合

○ : 正答 △ : 空振 × : 見逃し



(1) 模擬供試体 (軸力なし)



(2) 模擬供試体 (軸力あり)

図-5.2.7 軸力の有無による検知率 (金属系)

## 第6章 あと施工アンカーの不具合と引張耐力の関係性の検証

### 6.1 あと施工アンカーの引張試験

#### 6.1.1 概要

5.1の非破壊検査の検証で使用したあと施工アンカーの不具合模擬供試体のうち、表-6.1.1に示す健全供試体を除くあと施工アンカーについて引張試験を行い、模擬した不具合があとアンカーの引張耐力に及ぼす影響について検証する。引張試験で確認する項目は表-6.1.2のとおりである。なお、実部材供試体の既設アンカーと新設アンカーについては、コンクリート劣化やひび割れ等の変状が非破壊検査に及ぼす影響について検証するためのものであるため引張試験の対象外とした。

表-6.1.1 引張試験の対象としたあと施工アンカー定着不具合

No.	アンカー種別	ボルト呼び径(mm)	施工方向	模擬した不具合	樹脂充填率(%)	
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→130mm)	100	
2				鋼材長不足(10D→5D)	100	
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	100	
4				鋼材破断	100	
5				斜め削孔(5°)	100	
6				充填不足(小)口元空洞	75	
7				充填不足(中)口元空洞	50	
8				充填不足(大)口元空洞	25	
9				健全	100	
10				硬化不良	100	
11				付着不良	100	
12				鋼材腐食(全面)	100	
13				削孔径大(φ19mm → φ26mm)	100	
14				削孔長深(10D→12.5D)	100 <sup>*1</sup>	
15				削孔長深(10D→12.5D)	100	
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	75	
17				充填不足(中)口元空洞	50	
18				充填不足(大)口元空洞	25	
19				硬化不良	100	
20				付着不良	100	
21			健全	100		
22			上向き(模擬)	充填不足(中)、軸力導入(トルク50%)	50	
23				充填不足(中)、軸力導入(トルク100%)	50	
24				下向き	充填不足(小)先端空洞	75
25					充填不足(中)先端空洞	50
26	充填不足(大)先端空洞	25				
27	M18	下向き	充填不足(小)口元空洞	75		
28			なし(健全)	100		
29			充てん不足(中)口元空洞	50		
30			充てん不足(大)口元空洞	25		
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全		
32				拡張不足(半打込み)		
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)		
34				削孔径大(φ33.0mm→φ38mm)		
35				拡張不足(半打込み)		
36	M24	健全				

※1 標準削孔長時に100%に近くなる充填量とする。

※2 No. 22, 23のトルク導入アンカーは、引張試験時はナットを撤去し、トルクを解放した状態で引張試験を行っている。

表-6.1.2 引張試験で確認する項目

項目	確認方法	備考
荷重-変位	荷重計、変位計	荷重-変位により引張耐力を算出
最大荷重	荷重計	最大引張荷重はアンカー鋼材の降伏荷重を上限とする
破壊形態	目視	付着破壊、コーン破壊、または破壊しない
破壊面の観察	目視・計測	付着面の状態、コーン形状
模擬損傷再現状況	目視・計測	計画との相違

### 6.1.2 引張試験方法

引張試験は、道路橋支承便覧<sup>1)</sup>の参考資料-9及びあと施工アンカー試験方法<sup>2)</sup>を参考に実施した。以下に引張試験の手順を示し、図-6.1.1に引張試験の要領図を示す。

- ①アンカー供試体と高張力鋼を継ぎナットで接続
- ②ラムチェアー、センターホールジャッキ、ロードセルをセット
- ③継ぎナットに変位計架台を固定し、変位計架台の両端2点に変位計をセット
- ④油圧ポンプにより高張力鋼を介してアンカー供試体に引張力を作用

荷重速度は100～200kN/min程度（あと施工アンカー試験方法<sup>2)</sup>を参考に、M16の場合、荷重増加率上限は、 $\pi \times 8 \times 8 \times 19.6 / 1000 \times 60 = 236 \text{ kN/min}$ ）

- ⑤引張荷重（kN）と変位量（mm）を計測し、アンカーの引張耐力を確認

滑らかな荷重変位曲線になるように5～10kN間隔程度でデータを記録

- ⑥最大引張荷重は、各不具合の引張耐力への影響を確認するためにM16については最大破断荷重まで荷重を実施。M18については破断させないように最小破断荷重で荷重を終了。M24についてはジャッキ能力より100kNで荷重を終了。

（表-6.1.3）

- ⑦アンカーボルトが引き抜けた場合はボルトを取り出し、破壊状況・模擬損傷再現状況を記録

表-6.1.3 引張試験の対象としたあと施工アンカー定着不具合

アンカー鋼材 (SS400)	有効断面積 (mm <sup>2</sup> )	降伏応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏荷重 (kN)	最小引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最小破断荷重 (kN)	最大引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大破断荷重 (kN)
M16	156.7	235	36.8	400	62.7	510	79.9
M18	192.5	235	45.2	400	77.0	510	98.2
M24	352.5	235	82.8	400	141.0	510	179.8

※M16については、模擬損傷アンカーを引き抜いて破壊形態を観察することを目的とし、最大破断荷重より80kNとした。

※M18については、最小破断荷重より80kNで荷重を終了。

※M24については、ジャッキ能力より100kNで荷重を終了。

※鋼材の降伏応力度は「JIS G 3101 一般構造用圧延鋼材」を適用

は、今回設定した引張荷重の設定根拠



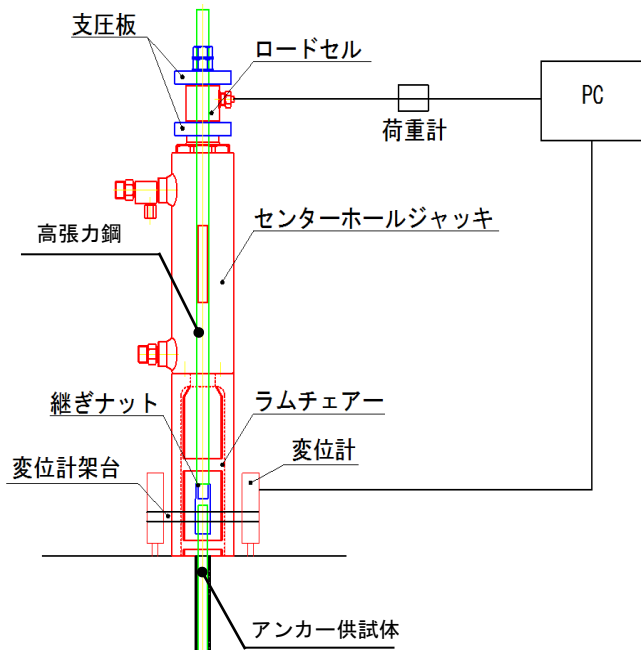


図-6.1.1 引張試験要領図



写真-6.1.1 ラムチェアー



写真-6.1.2 センターホールジャッキ



写真-6.1.3 引張試験状況

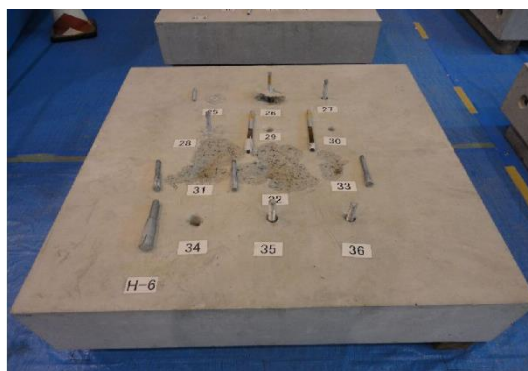


写真-6.1.4 引張試験後の供試体

### 6.1.3 引張試験結果

あと施工アンカー模擬不具合の引張試験結果を表-6.1.4、荷重変位曲線を図-6.1.2～図-6.1.7 に示す。

#### ①接着系アンカー

- ・樹脂カプセル M16 の「鋼材長不足」(図-6.1.2 No.1～No.3)については、「鋼材長不足 (10D →130mm)」の引張耐力は 89kN で健全アンカー (図-6.1.2 No.9) と同等の引張耐力を有しており、約 2D 程度の鋼材長不足では、引張耐力は低下しなかった。鋼材長不足をさらに大きくした場合は、「鋼材長不足 (10D→5D)」の引張耐力 50kN に対して「鋼材長不足 (10D→2.5D)」の引張耐力は 17kN であり、鋼材長が短くなるほど引張耐力の低下が大きくなることが確認された。「鋼材長不足 (10D→2.5D)」については、最大荷重は鋼材降伏荷重以下であり、最大荷重到達後急激な荷重低下と変位の増加を生じた。「鋼材長不足 (10D→5D)」の引張耐力は鋼材降伏荷重を上回ったものの、「鋼材長不足 (10D→2.5D)」と同様に、最大荷重到達後急激な荷重低下と変位の増加を生じた。これは、アンカーの長さが短いほどせん断抵抗面積も小さくなり、コーン破壊が生じやすくなるためと考えられる。
- ・「鋼材破断」(図-6.1.2 No.4)、「斜め削孔 (5°)」(図-6.1.2 No.5)については健全なアンカーと比較すると若干の引張耐力の低下は見られるものの正常に近い耐力を示した。ただし、試験体では破断面の一部を点付溶接しており、実際に完全に破断している場合の影響は不明である。
  - ・樹脂カプセル M16 の「充填不足」(図-6.1.2 No.6、図-6.1.3 No.7～No.8)については、「充填不足 (小)」の引張耐力は健全アンカーとほぼ同等であったが、「充填不足 (中)」では 51kN、「充填不足 (大)」では 30kN まで低下した。「充填不足 (中)」と「充填不足 (大)」はともに最大荷重後到達後は急激な荷重低下は生じず変位が増加した。
- ・「硬化不良」(図-6.1.3 No.10、図-6.1.5 No.19)については、樹脂に 10%加水して模擬したが、引張耐力の低下は見られなかった。本研究での「硬化不良」作製においては、接着剤の圧縮強度を確認していないため、「硬化不良」を適切に模擬できているか不明であるが、接着剤の強度のばらつきによって引張耐力もばらつくものと推察される。
- ・「付着不良」(図-6.1.3 No.11、図-6.1.5 No.20)では、孔壁にセメントペーストを塗布した場合 (樹脂カプセル) と障子紙を貼りつけた場合 (樹脂注入) の 2 種類の方法で不具合を模擬したが、障子紙を貼りつけた場合の引張耐力は 6kN であり、健全な場合と比べて大きく低下した。今回のようにアンカーとコンクリートの付着がほとんど期待できない場合は、引張耐力は大きく低下すると考えられる。一方、セメントペーストの塗布で不具合を模擬した場合は引張耐力の低下は見られなかった。これは、セメントペーストが薄く接着剤と孔壁の縁切れが十分でなかったことが原因と考えられる。破壊形態は付着+コーン破壊であり、特にコーン破壊を起こした部分の付着不良が十分でなかった可能性がある。

- ・「鋼材腐食（全面）」（図-6.1.3 No.12）、「削孔径大（ $\phi 19 \rightarrow \phi 26\text{mm}$ ）」（図-6.1.3 No.13）、「削孔長深（ $10D \rightarrow 12.5D$ ）」（図-6.1.3 No.14～No.15）については健全アンカーと同等の引張耐力を有していた。「鋼材腐食（全面）」については、酸性洗剤と塩水でアンカーに腐食を発生させたが、アンカーが断面欠損を生じるほど腐食しておらず、引張耐力に影響を及ぼさなかったものと考えられる。「削孔径大（ $\phi 19 \rightarrow \phi 26\text{mm}$ ）」については、接着剤が削孔長全てに渡り充填されているため、十分なせん断抵抗面積が確保され、健全アンカーと同等な引張耐力を有していたものと考えられる。
- ・樹脂注入 M16 の「充填不足」（図-6.1.4 No.16～No.18）については、充填不足で生じる空洞の位置をボルト先端部（上向き施工を想定）と口元部（下向き施工を想定）に模擬して比較を行った。「充填不足（大）」では、先端部に空洞があるほうが口元部に空洞がある場合と比べて引張耐力の低下が大きいことが確認された。これは、定着部が浅い位置にあるほど付着抵抗が小さく、深い位置ほど付着抵抗が大きくなるため、先端部に空洞がある場合はこの付着抵抗が小さくなり引張耐力の低下が大きくなったと考えられる。「充填不足（中）」、「充填不足（小）」は健全アンカーと同等の引張耐力を有していた。
- ・樹脂注入 M18 の「充填不足」（図-6.1.5 No.24、図-6.1.6 No.25～No.26）については、「充填不足（大）」の引張耐力は鋼材降伏強度をわずかに上回った（52kN）が、最大荷重到達後は急激な荷重の低下と変位の増加が生じた。「充填不足（中）」に引張耐力は 89kN であったが、「充填不足（大）」と同様に、最大荷重到達後急激な荷重の低下を生じた。

## ②金属系アンカー

- ・M16 の健全アンカーの引張耐力は 64kN であったが、「削孔径大（ $\phi 22.5 \rightarrow \phi 26.5\text{mm}$ ）」の引張耐力は 15kN で健全アンカーに比べて大きく低下した。M24 についても同様で、健全アンカーの引張耐力 101kN に対し、「削孔径大  $\phi 33.0 \rightarrow 38.0\text{mm}$ ）」では 4kN であった。この要因として金属系アンカーは主にその穴に拡張部を有する金属アンカーを挿入し 拡張部を開かせて機械的に固着する方式であり、削孔が大きいことで拡張による固着の機能が十分に発揮されないためと考えられる。
- ・M16 の「拡張不足（半打込み）」については、健全アンカーと比較すると若干の引張耐力の低下は見られるもののアンカーの機能として問題ない耐力を有していた。
- ・M24 については、ジャッキの能力の都合上 100kN で載荷を終了した。「拡張不足（半打込み）」の最大引張荷重は、健全アンカーと同様に 100kN まで到達したが、100kN 到達時の変位は健全アンカー（約 16mm）に比べ小さかった（約 6mm）。

表-6.1.4 あと施工アンカー模擬不具合の引張試験結果

No.	アンカー種別	ボルト呼び径(mm)	施工方向	模擬した不具合	樹脂充填率(%)	①鋼材降伏荷重(kN)	②アンカー引張耐力(kN)	破壊形態	②/①×100(%)	
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→130mm)	100	37	89	鋼材破断	241	
2				鋼材長不足(10D→5D)	100	37	50	付着+コーン破壊	135	
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	100	37	17	コーン破壊	46	
4				鋼材破断	100	37	79	鋼材降伏	214	
5				斜め削孔(5°)	100	37	81	鋼材降伏	219	
6				充填不足(小)口元空洞	75	37	80	鋼材降伏	216	
7				充填不足(中)口元空洞	50	37	51	付着破壊	138	
8				充填不足(大)口元空洞	25	37	30	付着破壊	81	
9				健全	100	37	84	鋼材降伏	227	
10				硬化不良	100	37	81	鋼材降伏	219	
11				付着不良	100	37	85	付着+コーン破壊	230	
12				鋼材腐食(全面)	100	37	88	鋼材破断	238	
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	100	37	87	鋼材破断	235	
14				削孔長深(10D→12.5D)	100 <sup>※1</sup>	37	85	鋼材降伏	230	
15				削孔長深	100	37	88	鋼材降伏	238	
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	75	37	78	鋼材破断	211	
17				充填不足(中)口元空洞	50	37	79	鋼材破断	214	
18				充填不足(大)口元空洞	25	37	57	付着破壊	154	
19				硬化不良	100	37	87	鋼材降伏	235	
20				付着不良	100	37	6	付着破壊	16	
21				健全	100	37	79	鋼材降伏	214	
22				充填不足(中)、軸力導入(トルク50%)	50	37	77	鋼材破断	208	
23			充填不足(中)、軸力導入(トルク100%)	50	37	76	鋼材降伏	205		
24			上向き(模擬)	充填不足(小)先端空洞	75	37	78	鋼材降伏	211	
25				充填不足(中)先端空洞	50	37	79	鋼材破断	214	
26				充填不足(大)先端空洞	25	37	24	付着+コーン破壊	65	
27			M18	下向き	充填不足(小)口元空洞	75	45	97	鋼材降伏	216
28					なし(健全)	100	45	82	鋼材降伏	182
29					充てん不足(中)口元空洞	50	45	89	付着破壊	198
30	充てん不足(大)口元空洞	25			45	52	付着破壊	116		
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	/	37	64	コーン破壊	173	
32				拡張不足(半打込み)	/	37	50	コーン破壊	135	
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	/	37	15	付着破壊	41	
34		M24		削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)	/	83	4	付着破壊	5	
35				拡張不足(半打込み)	/	83	100	鋼材降伏	120	
36				健全	/	83	101	鋼材降伏	122	

 アンカーの引張耐力が鋼材降伏荷重未満

※1 標準削孔長時に100%に近くなる充填量とする。

※2 No. 22, 23のトルク導入アンカーは、引張試験時はナットを撤去し、トルクを解放した状態で行っている。

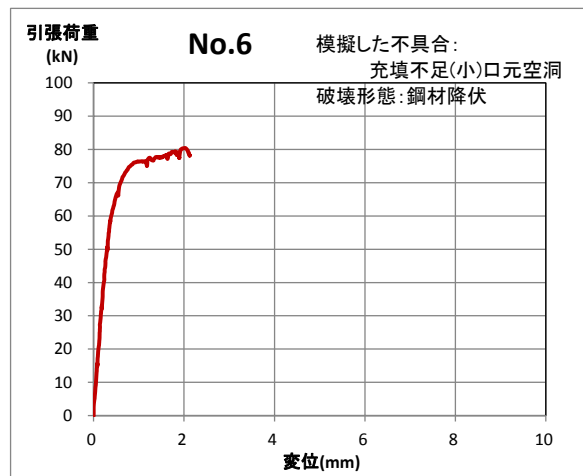
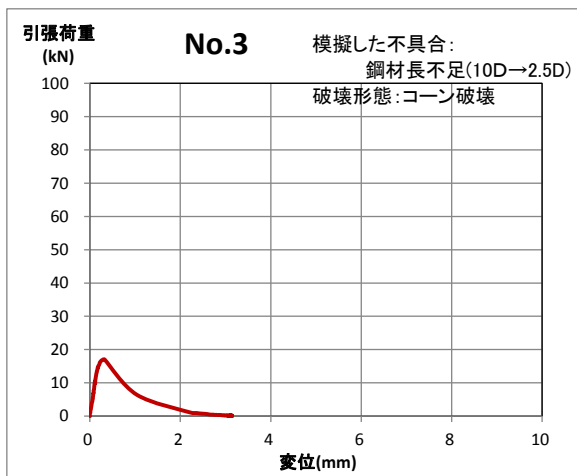
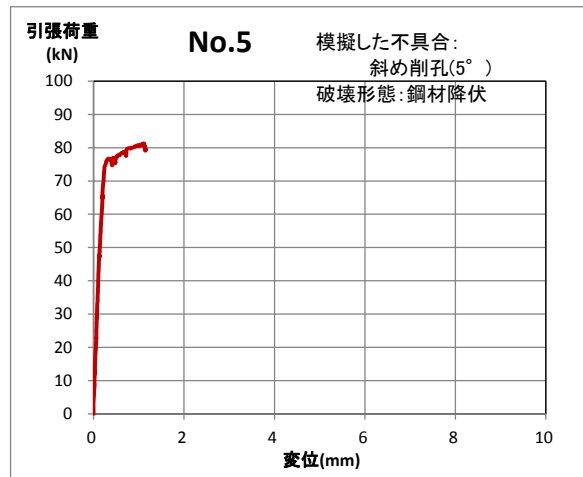
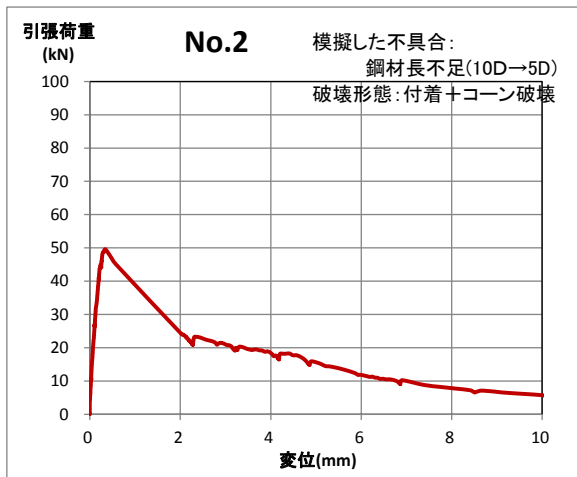
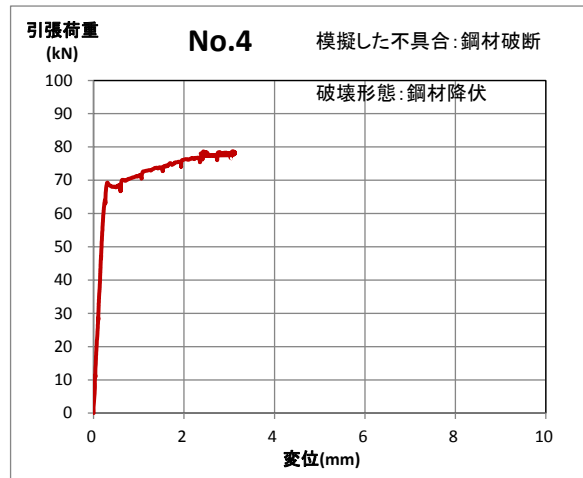
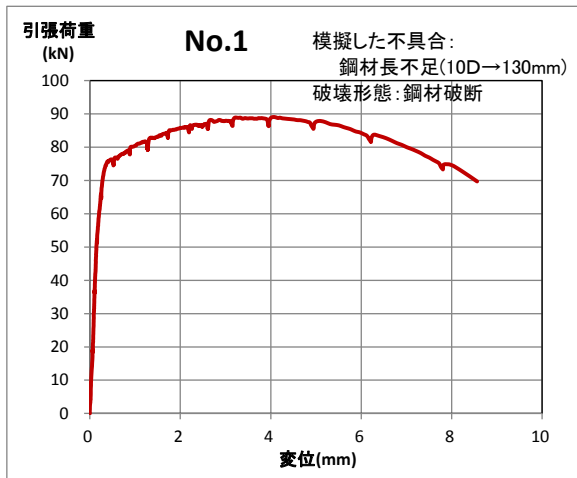


図-6.1.2 荷重変位曲線 (1)

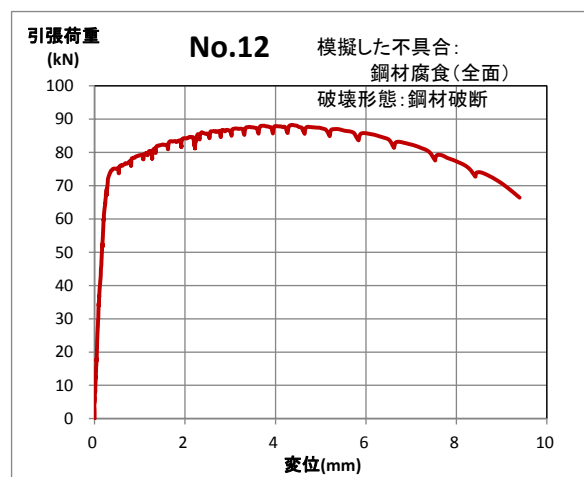
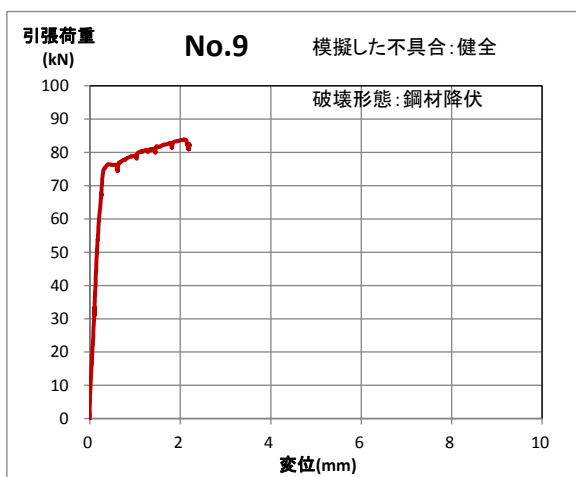
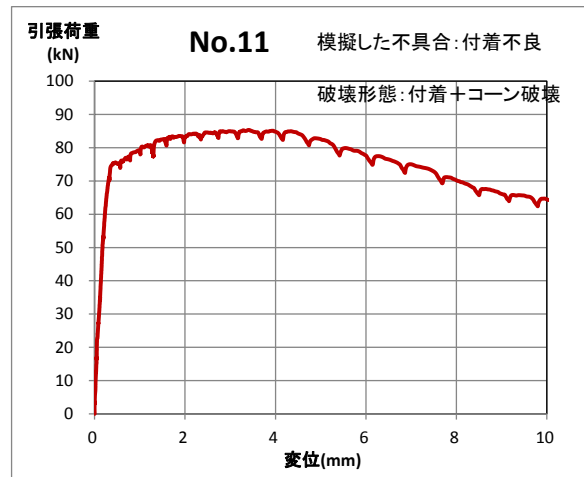
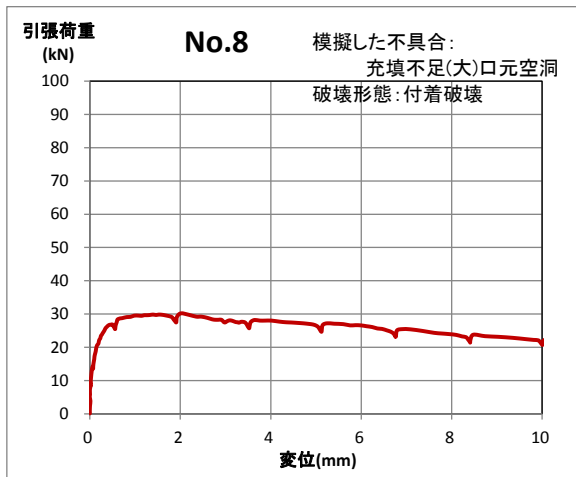
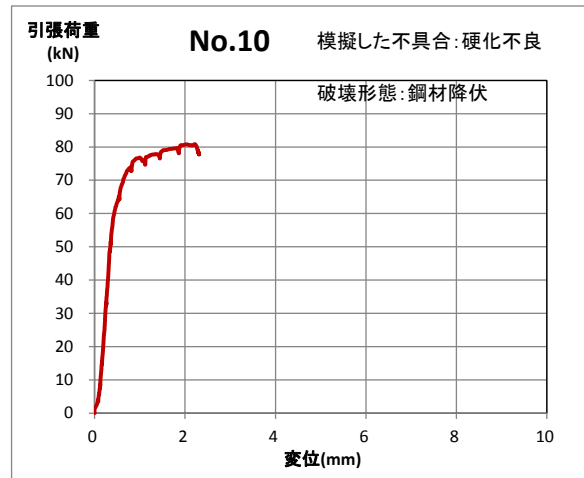
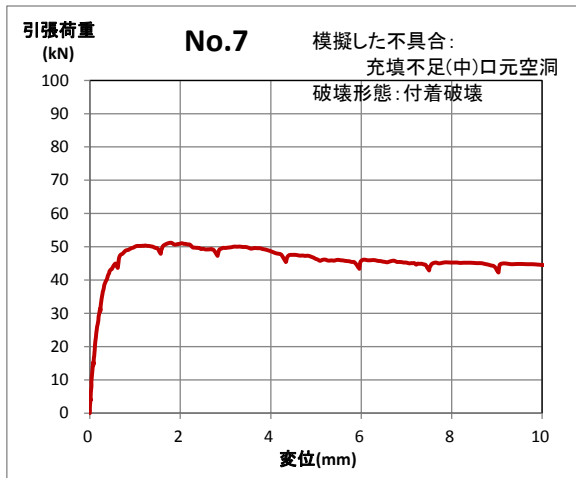


図-6.1.3 荷重変位曲線 (2)

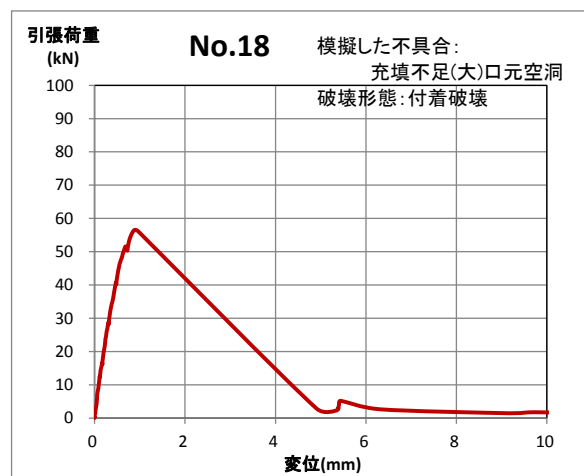
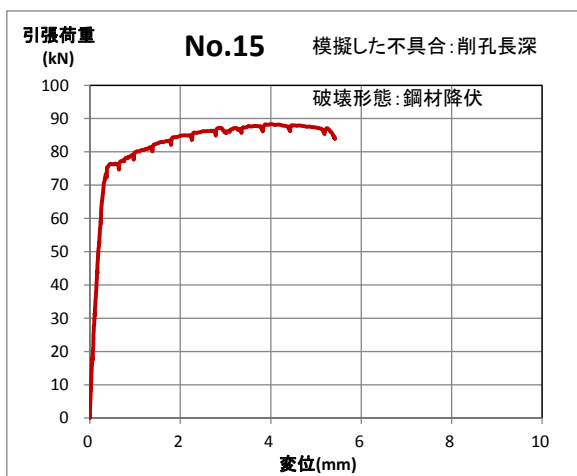
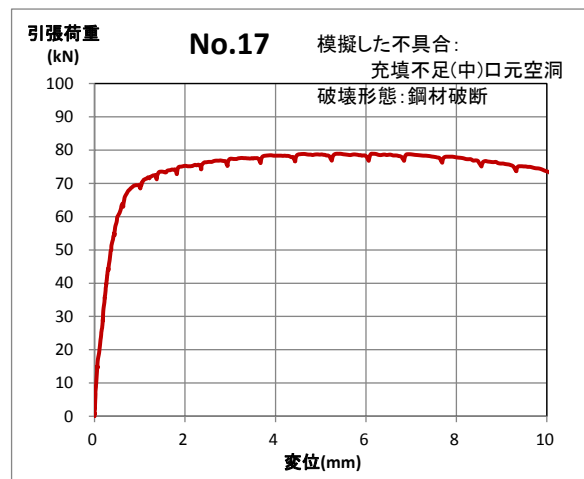
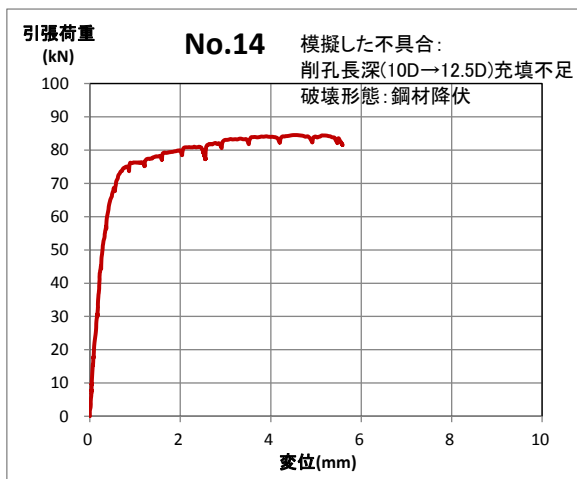
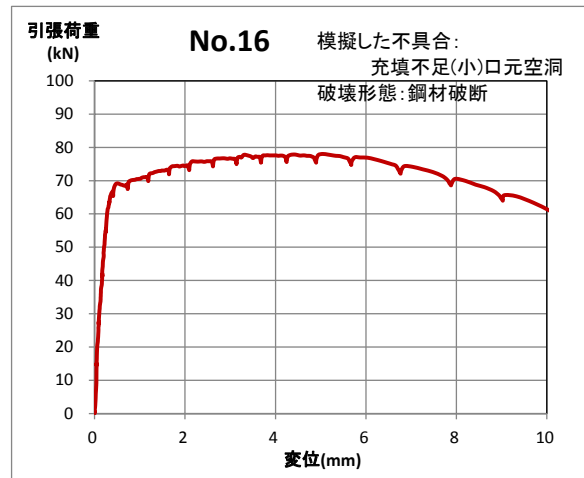
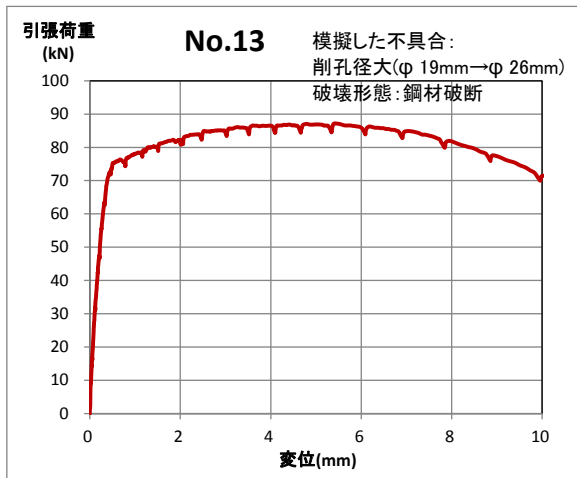


図-6.1.4 荷重変位曲線 (3)

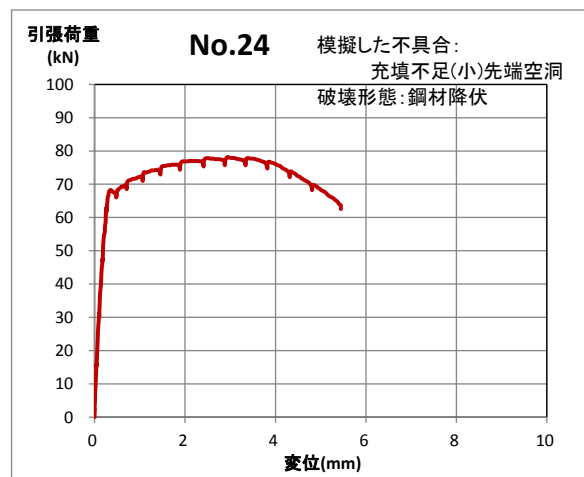
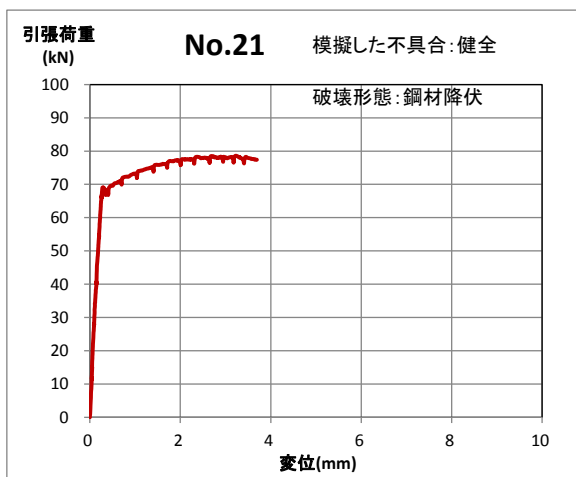
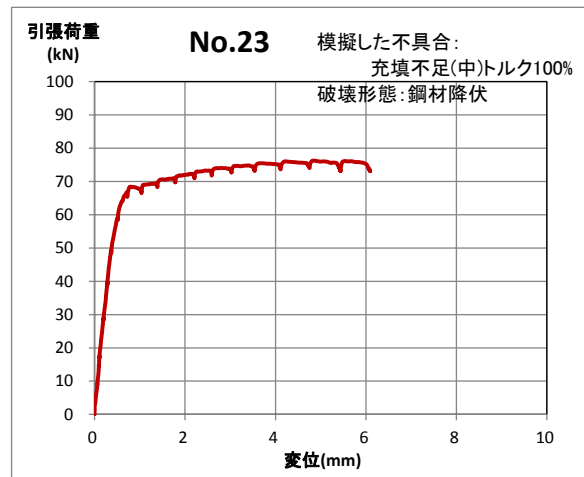
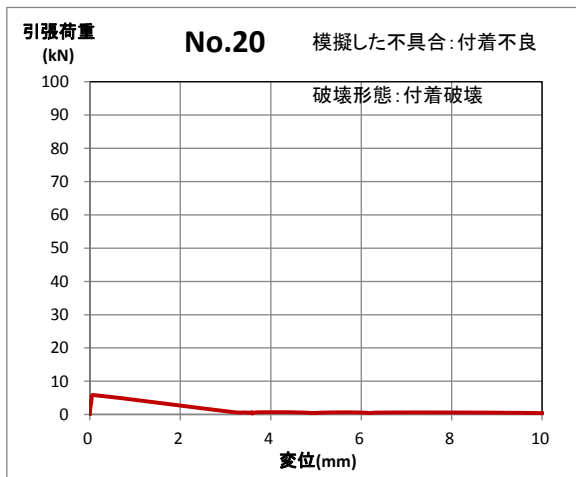
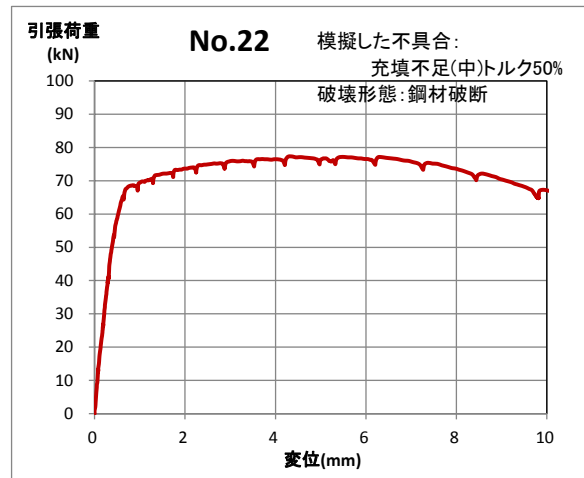
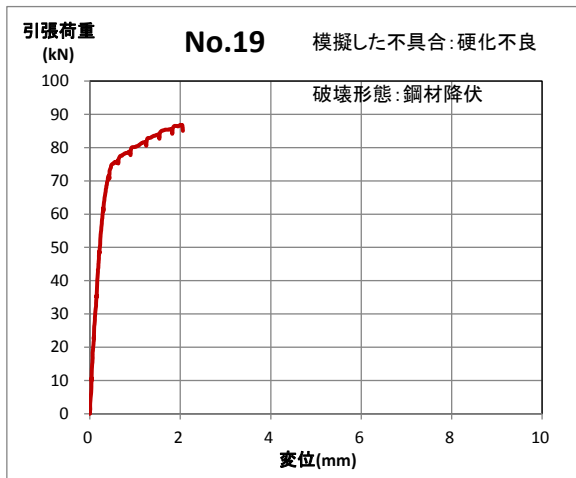


図-6.1.5 荷重変位曲線 (4)



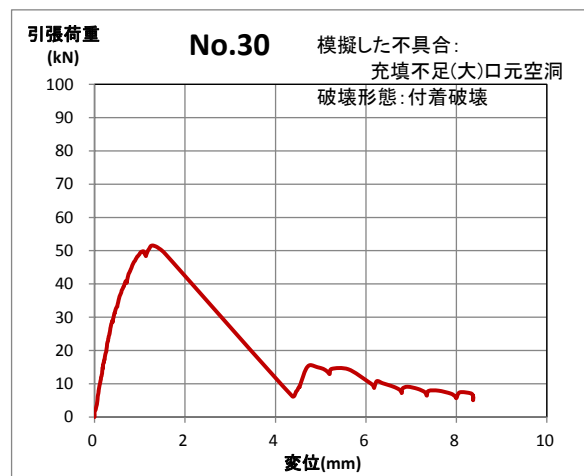
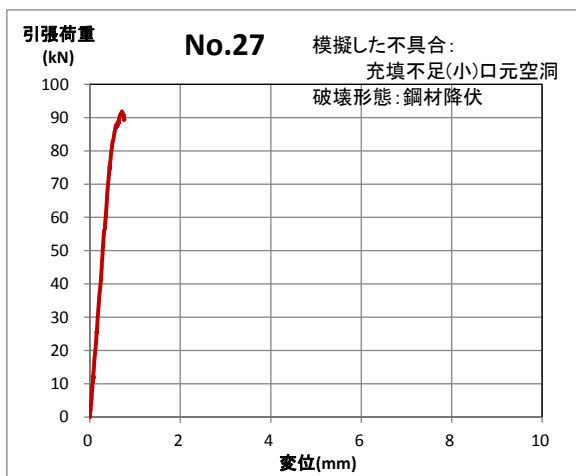
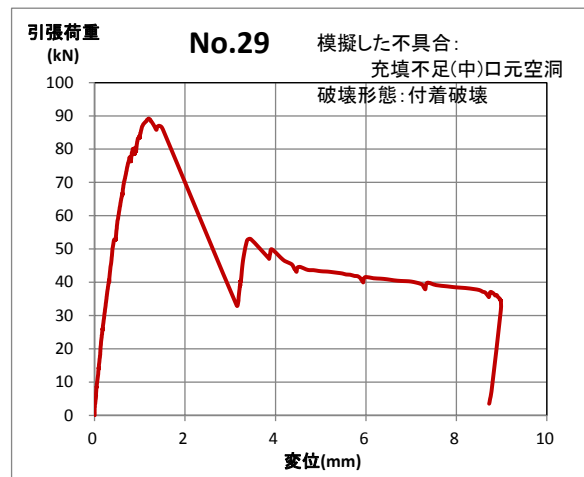
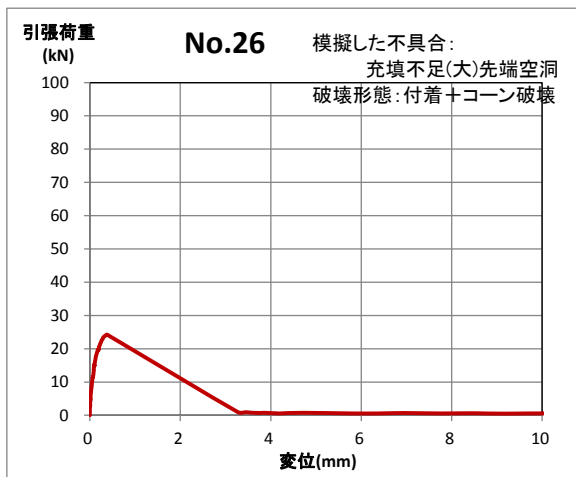
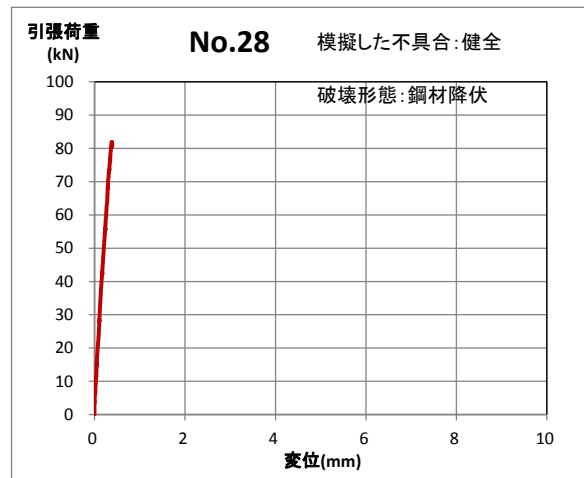
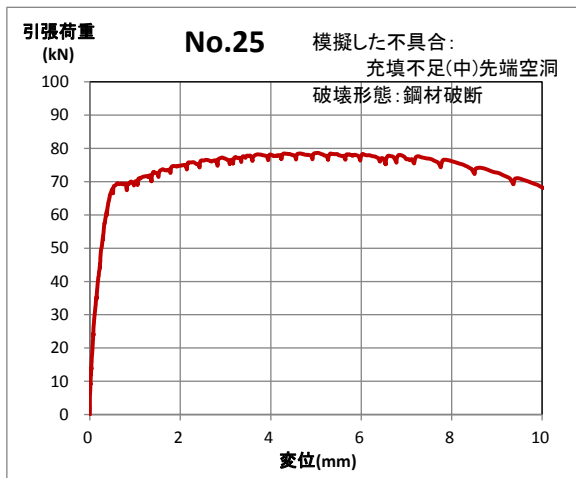


図-6.1.6 荷重変位曲線 (5)

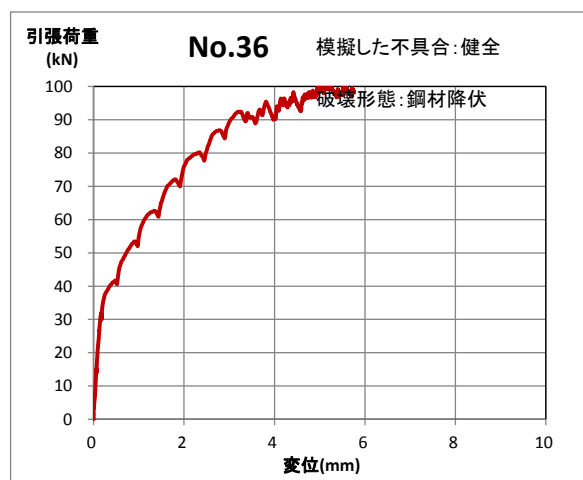
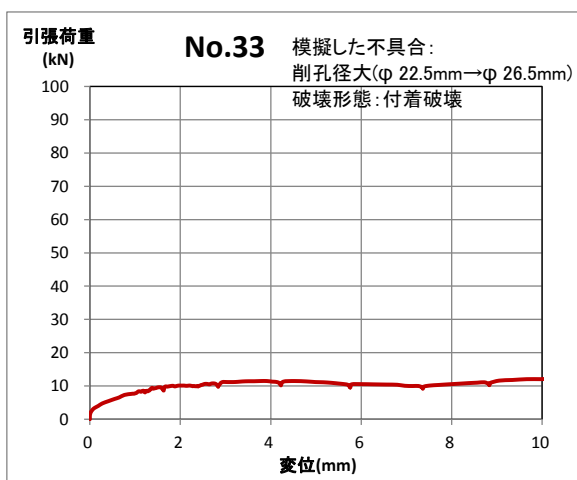
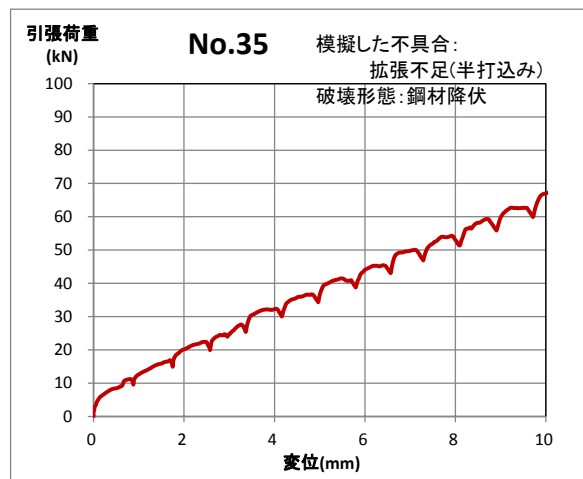
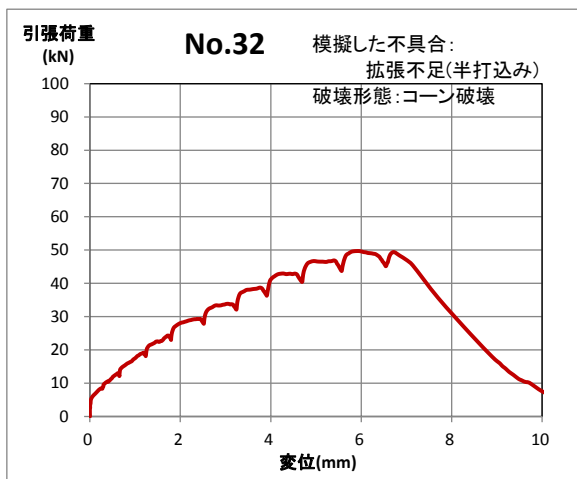
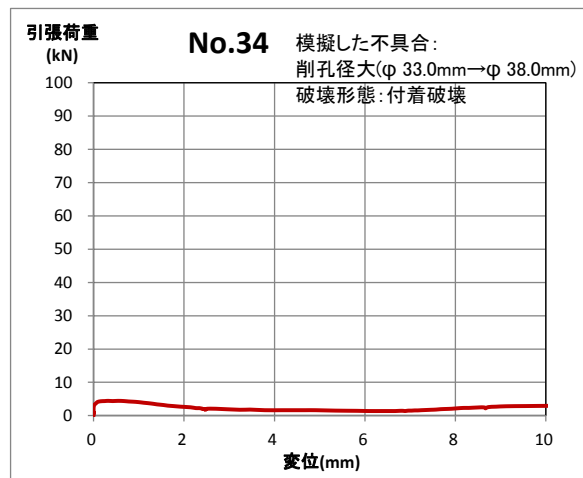
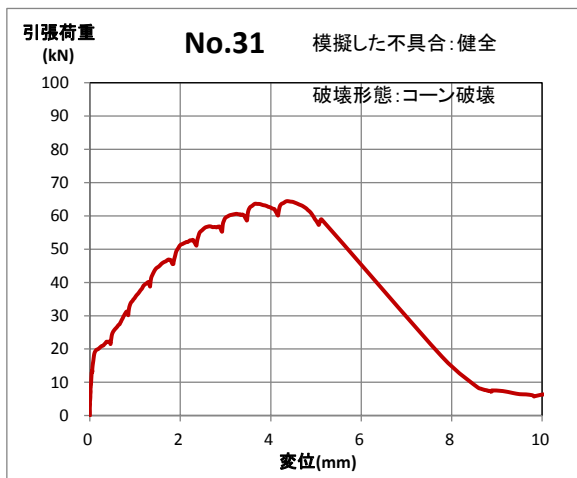


図-6.1.7 荷重変位曲線 (6)

#### 6.1.4 あと施工アンカーの引張耐力低下に影響する不具合

##### ①鋼材降伏荷重を下回る不具合

引張試験結果より、あと施工アンカーの引張耐力が鋼材降伏荷重を下回る不具合は表-6.1.5 および図-6.1.8～図-6.1.12 のとおり、接着系アンカー（樹脂カプセル、樹脂注入）で「鋼材長不足（10D→2.5D）」、「充填不足（大）口元空洞」、「付着不良」、「充填不足（大）先端空洞」、金属系アンカー（金属スリーブ）で「削孔径大（φ22.5mm→φ26.5mm）」、「削孔径大（φ33.0mm→φ38.0mm）」であった。

##### ②健全アンカーの引張耐力を下回る不具合

鋼材の降伏荷重は下回らないが引張試験時の健全なアンカーボルトを基準として耐力の低下率を整理すると表-6.1.6 および図-6.1.13～6.1.17 のとおりで、アンカーの引張耐力が鋼材降伏荷重を下回る不具合以外で引張耐力の低下が確認できた不具合は接着系アンカー（樹脂カプセル、樹脂注入）で「鋼材長不足（10D→5D）」、「鋼材破断」、「斜め削孔（5°）」、「充填不足（小）口元空洞」、「充填不足（中）口元空洞」、「充填不足（小）先端空洞」、金属系アンカー（金属スリーブ）で「拡張不足（半打込み）」であった。しかし、模擬した不具合すべてに耐力の低下が生じているわけではなく、不具合によっては、健全と同等の引張耐力を有しているものもあり、不具合の内容と引張耐力の関係は複雑であることが確認された。

##### ③不具合の状態が引張耐力に及ぼす影響

今回の引張試験の結果では、硬化不良による引張耐力の低下は確認されなかったが、図-3.2.10～図-3.2.11 で示した事前試験の場合ように、硬化不良の模擬の状態によっては、引張耐力が低下する場合もあると考えられる。このように、同じ不具合であってもその状態のばらつきによって引張耐力に影響を及ぼす場合があると考えられる。

##### ④引張耐力と不具合の関係性

引張耐力の低下が大きかった接着系アンカーの「鋼材長不足」と「充填不良」について、不具合設計時の計算付着耐力と引張試験結果の比較を図-6.1.18～6.1.19 に示す。「鋼材長不足」については、設計付着耐力と同様に、鋼材長不足が大きくなるほど（鋼材埋め込み長が小さくなるほど）耐力は小さくなる傾向であった。しかし、「充填不足」については、施工向きや接着剤の種類によってばらつきがあり、充填率 25%ではすべて引張耐力は低下したが、充填率 50%の樹脂注入では引張耐力は低下しなかった。

以上のように、引張耐力の低下が大きい不具合であっても、その低下の度合いにはばらつきがあった。また、鋼材の降伏荷重を下回らないが健全なアンカーボルトに比べて引張耐力が低下する不具合も多様であり、その低下度合いにも規則性は確認されなかった。さらに、不具合によっては健全と同等の引張耐力を有しているものもあり、必ずしも不具合内容により引張耐力が低下しないことが確認された。

実際の現場においても母材コンクリートの状態やアンカー定着部内部の変状の有無等様々な条件が複合し、必ずしも不具合内容と引張耐力の低下は一致しないことが想定され、不具合の内容と引張耐力低下の関係性を明確にすることは困難であると予想される。

表-6.1.5 アンカーの引張耐力が鋼材降伏荷重を下回る不具合

No.	アンカー種別	ボルト呼び径(mm)	施工方向	模擬した不具合	樹脂充填率(%)	①鋼材降伏荷重(kN)	②アンカー引張耐力(kN)	破壊形態
3	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→2.5D)	100	37	17	コーン破壊
8				充填不足(大)口元空洞	25	37	30	付着破壊
20	樹脂注入	M16	上向き(模擬)	付着不良	100	37	6	付着破壊
26				充填不足(大)先端空洞	25	37	24	付着+コーン破壊
33	金属スリーブ	M16	下向き	削孔径大(φ 22.5mm→φ 26.5mm)	/	37	15	付着破壊
34		M24		削孔径大(φ 33.0mm→φ 38.0mm)	/	83	4	付着破壊

表-6.1.6 アンカーの引張耐力低下を及ぼす不具合

No.	アンカー種別	ボルト呼び径(mm)	施工方向	模擬した不具合	樹脂充填率(%)	①鋼材降伏荷重(kN)	②アンカー引張耐力(kN)	破壊形態	②/健全×100(%)
2	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→5D)	100	37	50	付着+コーン破壊	60%
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	100	37	17	コーン破壊	20%
4				鋼材破断	100	37	79	鋼材降伏	94%
5				斜め削孔(5°)	100	37	81	鋼材降伏	96%
6				充填不足(小)口元空洞	75	37	80	鋼材降伏	95%
7				充填不足(中)口元空洞	50	37	51	付着破壊	61%
8				充填不足(大)口元空洞	25	37	30	付着破壊	36%
9				健全	100	37	84	鋼材降伏	100%
10				硬化不良	100	37	81	鋼材降伏	96%
16				樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	75	37
18	充填不足(大)口元空洞	25	37				57	付着破壊	72%
20	付着不良	100	37				6	付着破壊	8%
21	健全	100	37				79	鋼材降伏	100%
22	充填不足(中)口元空洞 軸力導入(トルク50%)	50	37			77	鋼材破断	97%	
23	充填不足(中)口元空洞 軸力導入(トルク100%)	50	37			76	鋼材降伏	96%	
24	上向き(模擬)	充填不足(小)先端空洞	75			37	78	鋼材降伏	99%
26		充填不足(大)先端空洞	25			37	24	付着+コーン破壊	30%
28	M18	下向き	なし(健全)	100	45	82	鋼材降伏	100%	
30			充てん不足(大)口元空洞	25	45	52	付着破壊	63%	
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	/	37	64	コーン破壊	100%
32				拡張不足(半打込み)	/	37	50	コーン破壊	78%
33				削孔径大(φ 22.5mm→φ 26.5mm)	/	37	15	付着破壊	23%
34		M24		削孔径大(φ 33.0mm→φ 38.0mm)	/	83	4	付着破壊	4%
35				拡張不足(半打込み)	/	83	100	鋼材降伏	99%
36				健全	/	83	101	鋼材降伏	100%

耐力低下率を求める基準とした健全なアンカーボルト

アンカーの引張耐力が鋼材降伏荷重未滿

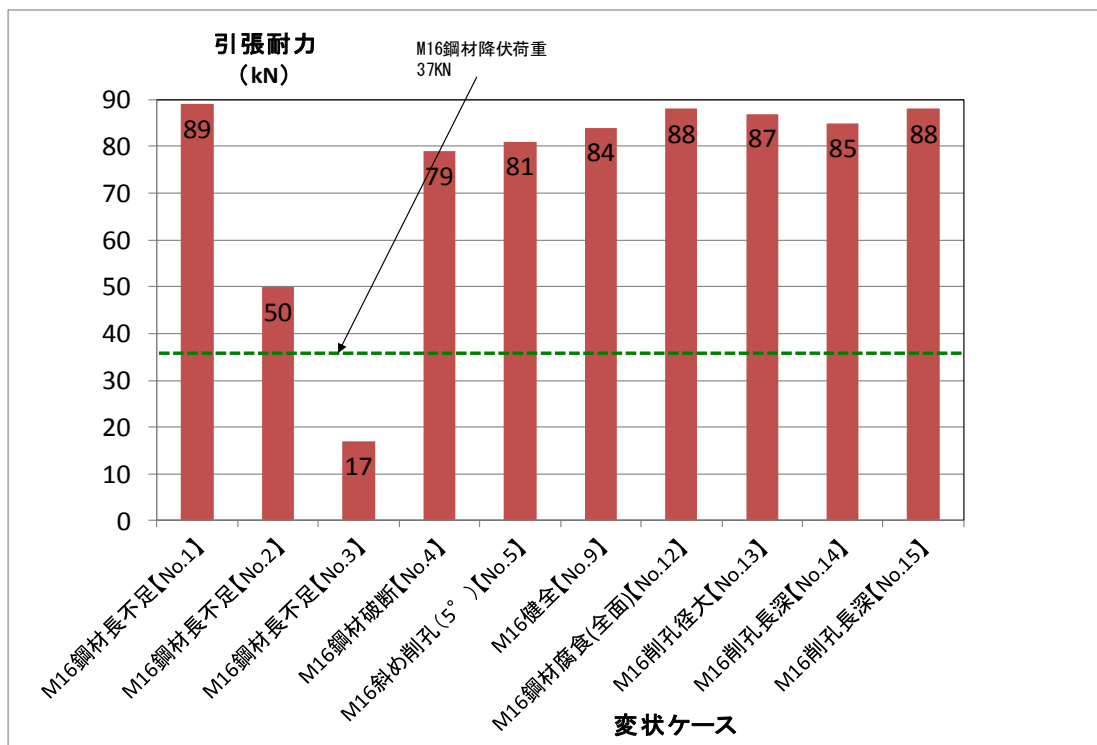


図-6.1.8 引張耐力 (M16 カプセル式) 【鋼材・削孔の不具合】

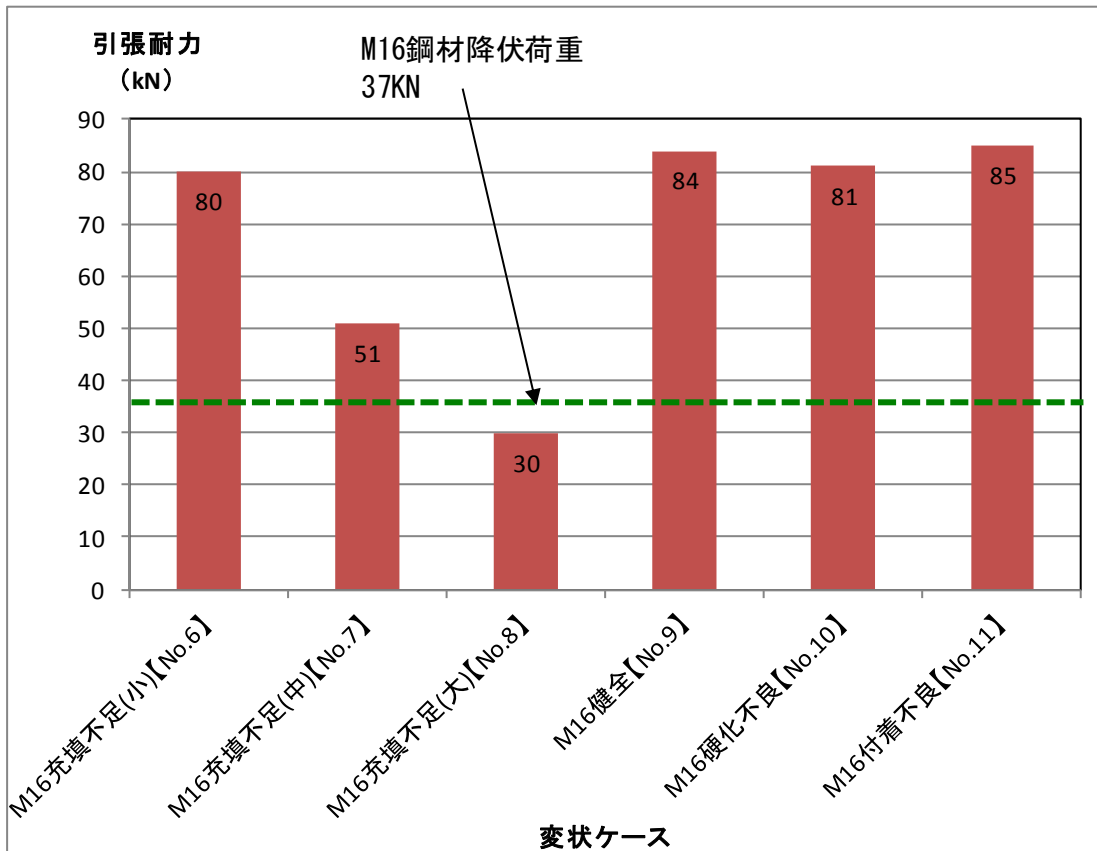


図-6.1.9 引張耐力 (M16 カプセル式) 【充填不足・その他定着部の不具合】

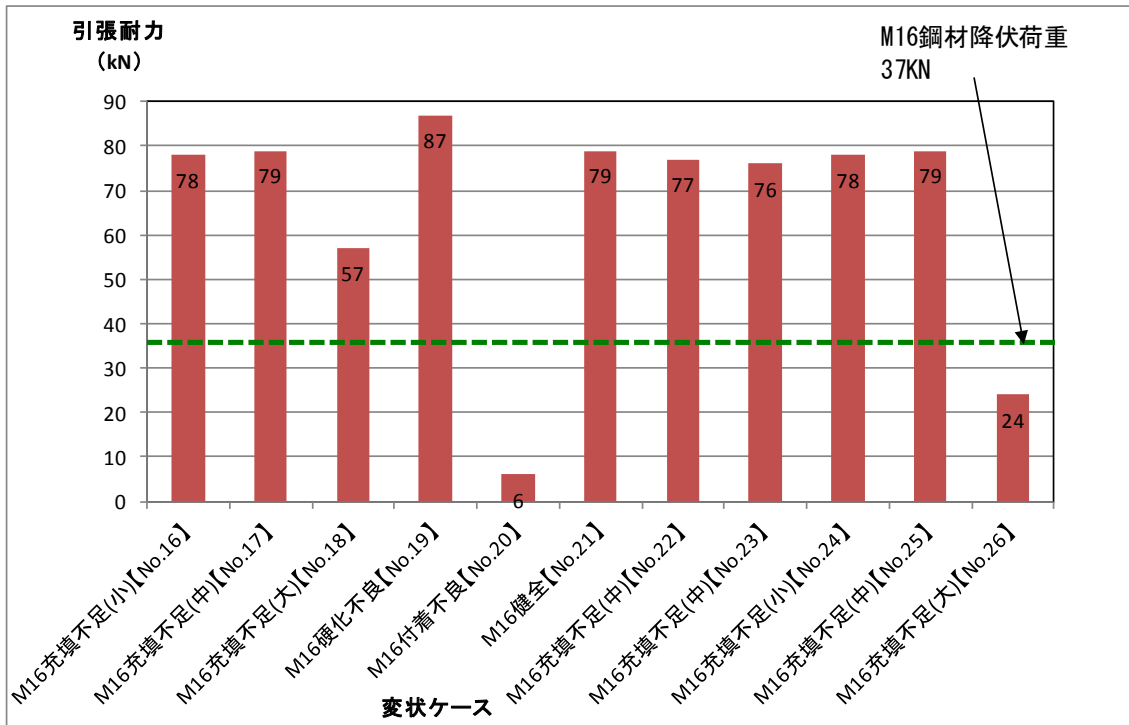


図-6.1.10 引張耐力 (M16 注入式) 【充填不足・その他定着部の不具合】

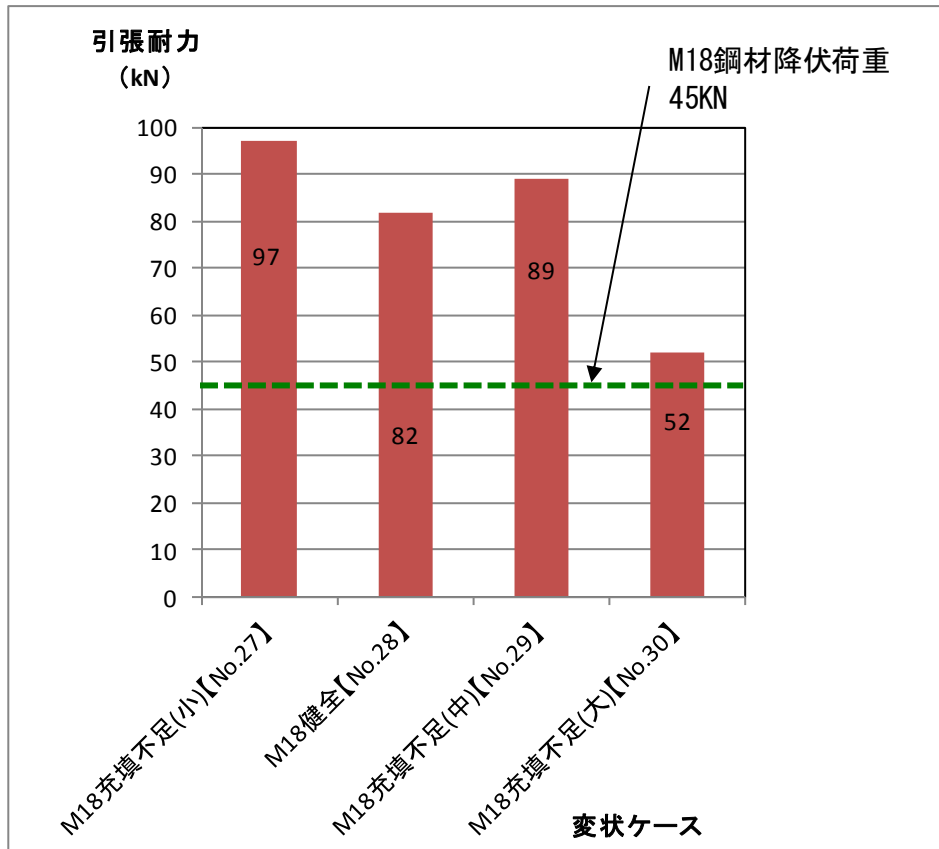


図-6.1.11 引張耐力 (M18 注入式) 【充填不足】

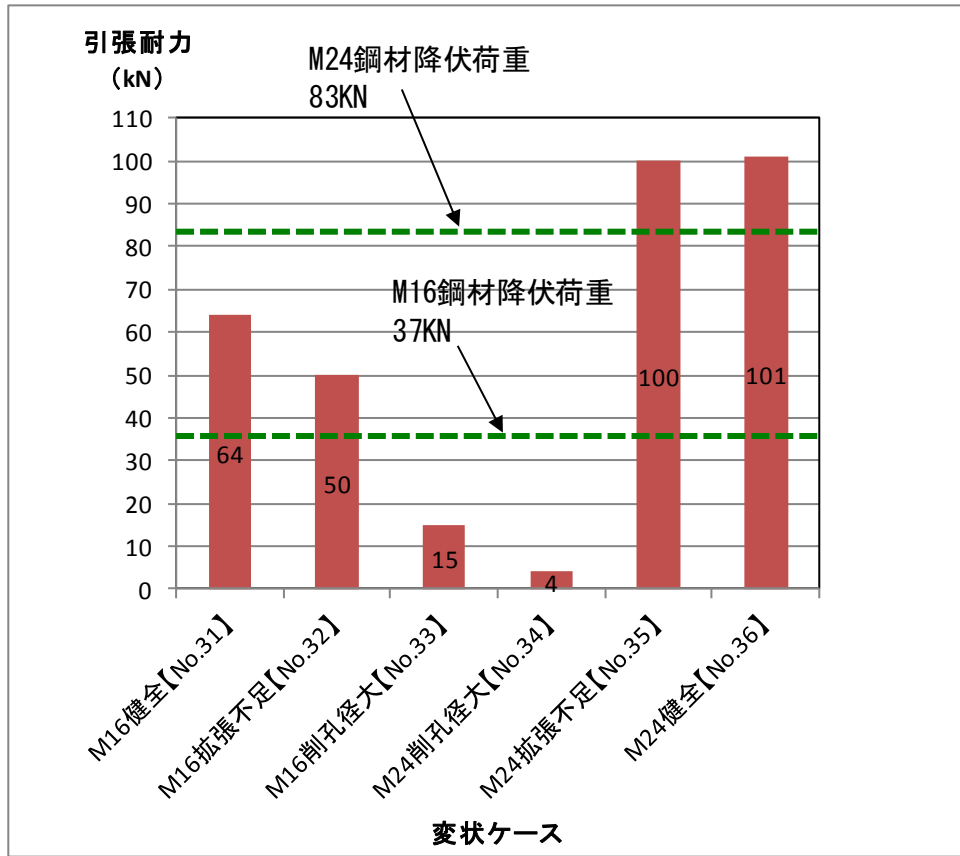


図-6.1.12 引張耐力 (M16, 24 金属スリーブ式) 【拡張不足・削孔の不具合】

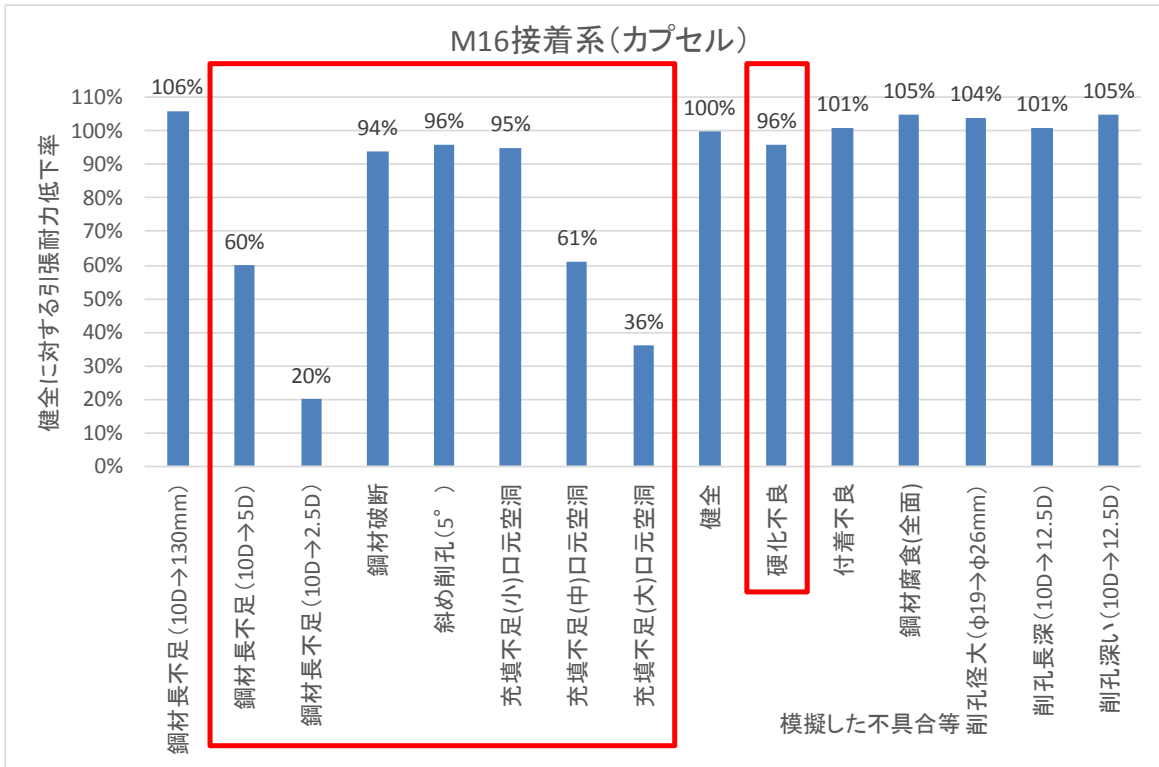


図-6.1.13 引張耐力の低下率【M16 接着系 (カプセル)】

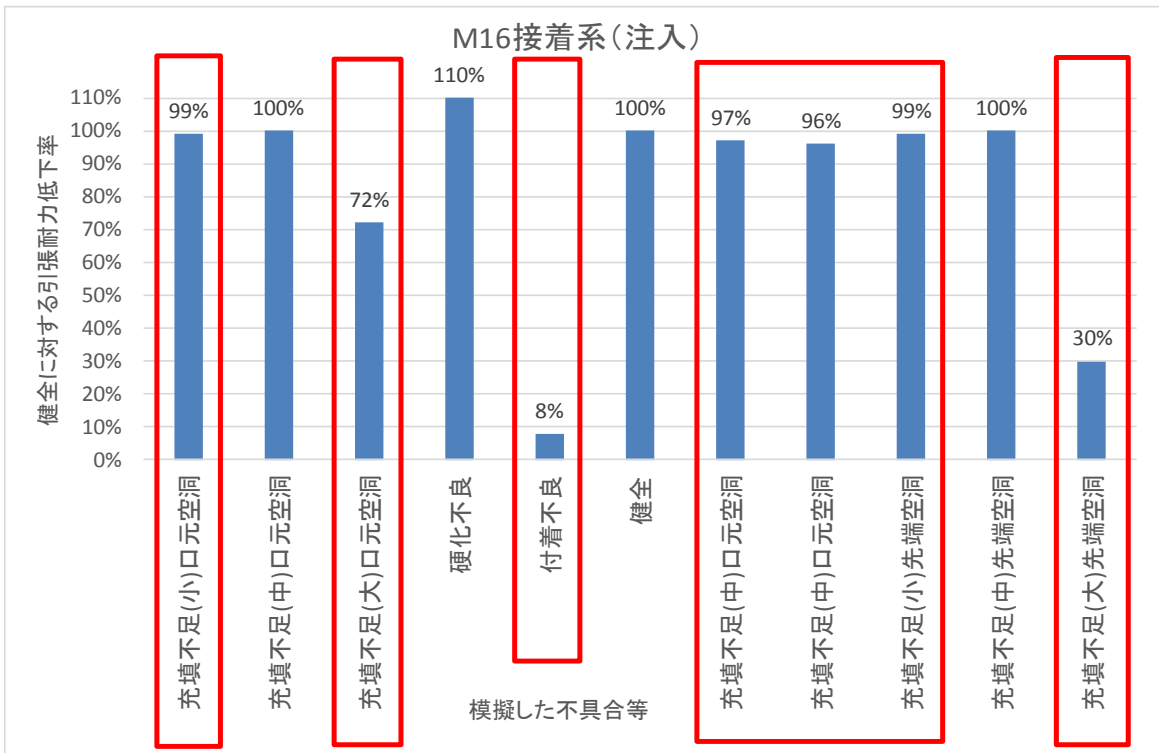


図-6.1.14 引張耐力の低下率【M16 接着系 (注入)】



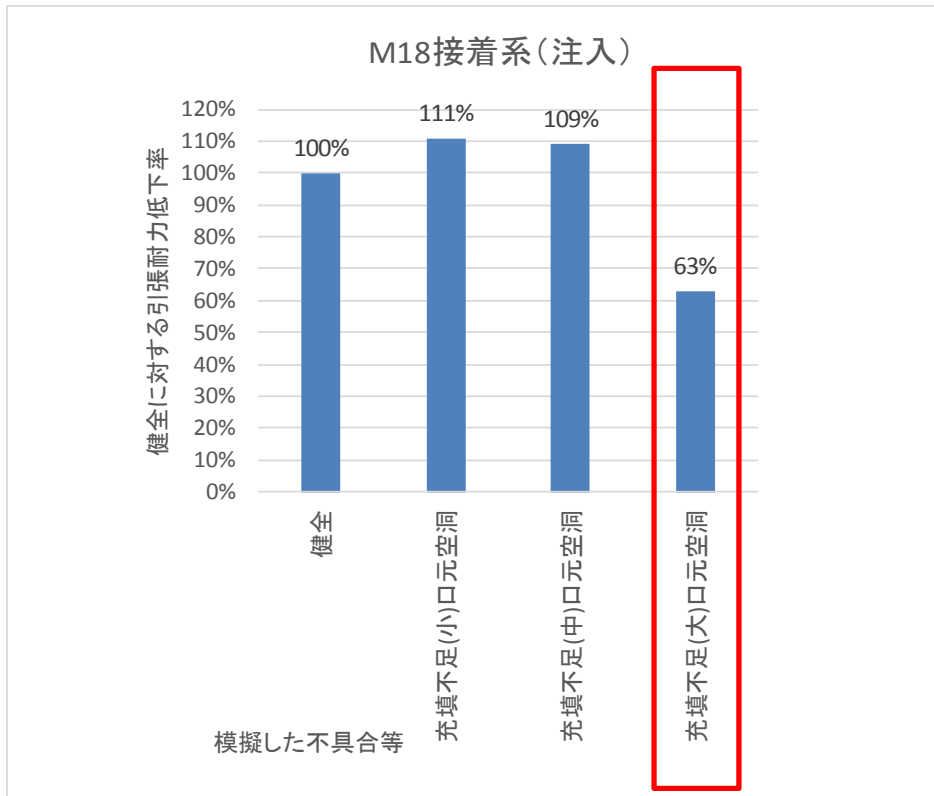


図-6.1.15 引張耐力の低下率【M18 接着系（注入）】

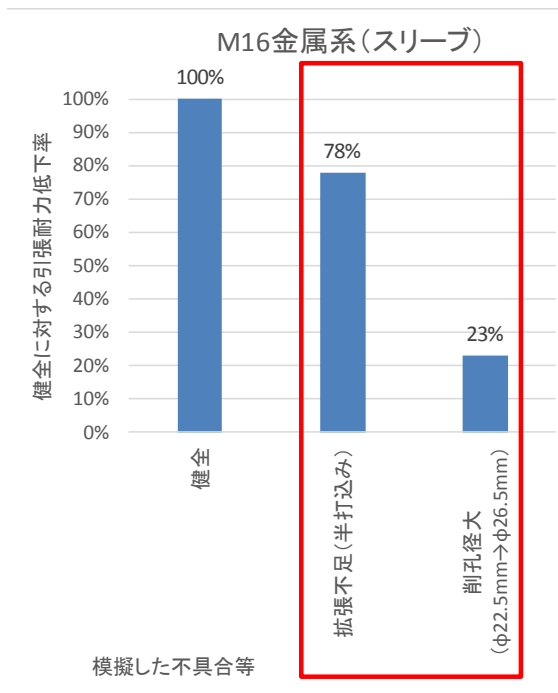


図-6.1.16 引張耐力の低下率  
【M16 金属系（スリーブ）】

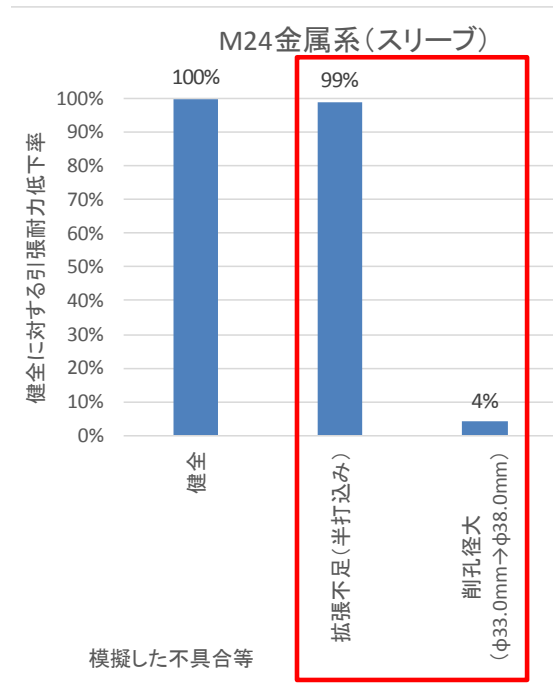


図-6.1.17 引張耐力の低下率  
【M24 金属系（スリーブ）】

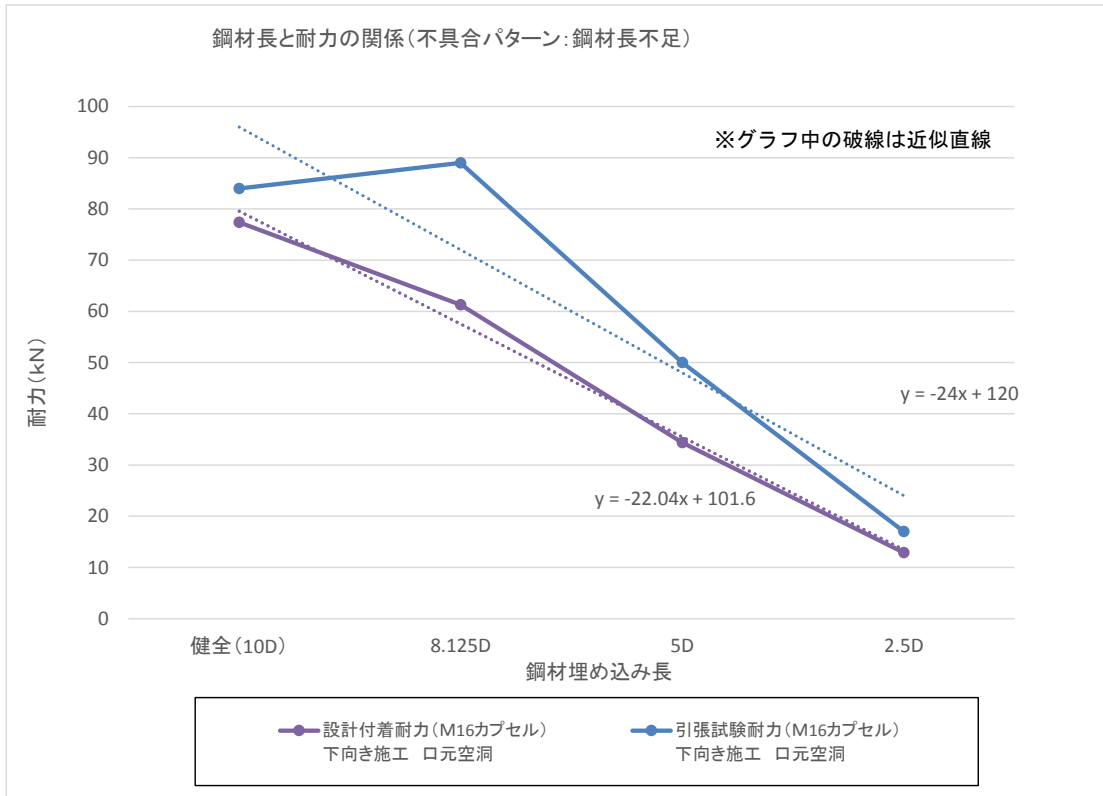


図-6.1.18 鋼材長と引張耐力の関係

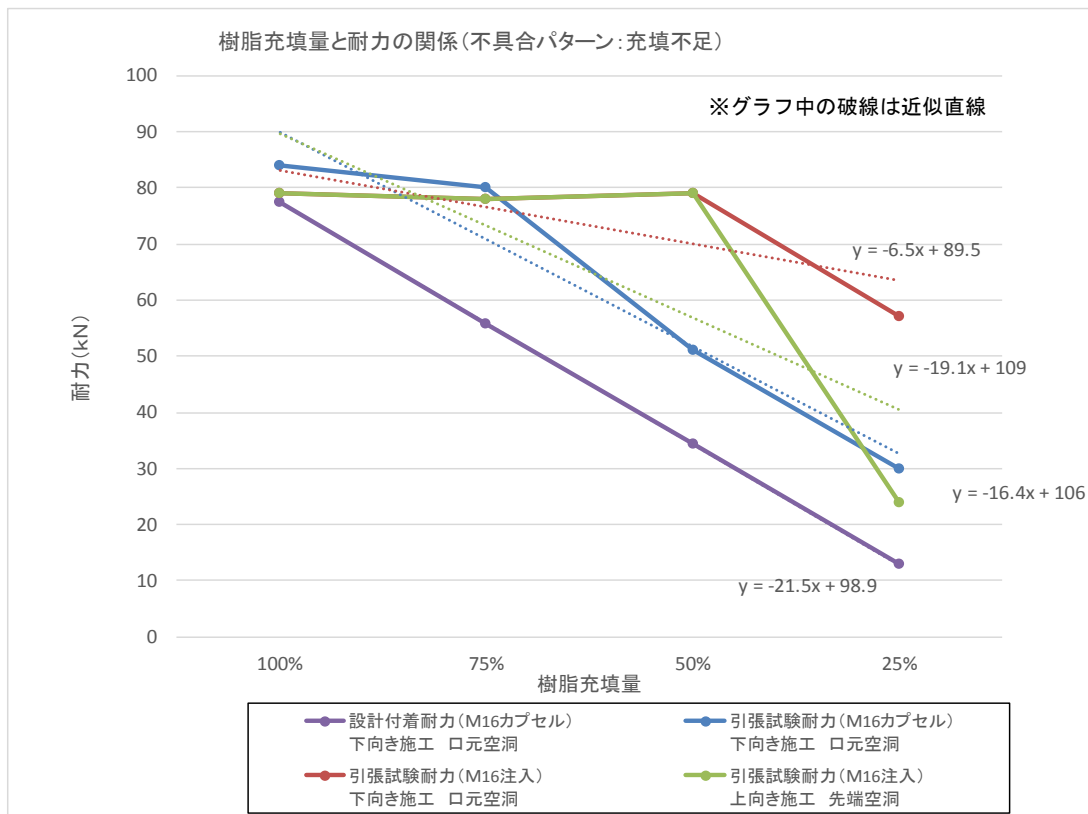


図-6.1.19 樹脂充填量と耐力の関係

## 6.2 検知目標とするあと施工アンカーの不具合の種類と程度の整理

### 6.2.1 あと施工アンカー引張耐力低下不具合の検知性能

非破壊検査差で確実に検知することが望まれる不具合は、6.1 の引張試験結果からアンカーの引張耐力が鋼材降伏荷重を下回る不具合である。5.1 で実施した非破壊検査における各検査技術の検知性能と引張試験結果を表-6.2.1～表-6.2.8 のとおり整理した。さらに、検査技術別、耐力低下不具合別に検知性能評価について表-6.2.9～表-6.2.11、図-6.2.1～図-6.2.2 のとおり整理した。

不具合の内容と引張耐力の関係性を明確にすることが困難であることを考慮した場合、不具合が生じているあと施工アンカーは引張耐力低下の可能性があるとするのが難ありの評価といえる。そこで、検知性能評価については、「不具合の有無を検知できること」を評価することとし、不具合の内容を正しく検知できている場合は「正解」、不具合は検知しているが内容が一致していない場合を「難あり」、不具合を検知できなかった場合を「見逃し」として評価することとした。

以下に得られた知見を示す。

- ・表-6.2.9 に示す通り、不具合を正しく検知できていた「正解」は全体の 20%程度であり、不具合の内容が一致していない「難あり」を含めても 60%程度であった。
- ・表-6.2.10 にアンカーボルトの引張耐力が鋼材降伏荷重未満の不具合と検査技術ごとの検知性能評価を示すが、鋼材降伏荷重未満の不具合を全て検知できた検査技術はなかった。
- ・検証した 8 検査技術の耐力低下不具合の検知正答率を表-6.2.11、図-6.2.2 に示すが、「見逃し」が多かったのは鋼材長不足（10D→2.5D）と充填不足(大) 先端空洞であり、半数以上の検査技術が不具合を検知できていなかった。
- ・鋼材長不足（10D→2.5D）については、ボルト長を計測できる検査原理（打音法、超音波法）については、検知ができていたが、その他の検査技術については検知ができていなかった。この要因としては、ボルト単体の評価ではなく母体コンクリート等を介する応答値による検査技術の場合に健全と判断してしまう応答値がでてしまうことによるものと考えられる。
- ・同じ充填不足(大)でも空洞の発生箇所によって検知率に大きなばらつきが生じている。この要因としては、検知できなかった充填不足(大) 先端空洞は上向き施工を模擬した充填不足のためボルト先端部が空洞となっており、根元部が充填状態になっていることから検査機器の応答値が異なりすべて充填されているものと判断されているものと考えられる。

表-6.2.1 各検査技術の検知性能の評価 【技術A】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	空振	難あり			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
20				付着不良	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
21				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き(模擬)	M16	上向き	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	無	正答	正解			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
34		M24	下向き	下向き	削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し		
35					拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し		
36					健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり		

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果		評価	
	不具合	耐力		
無	無	無	正答	正解
		有	無	空振
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	耐力	検査結果	解説
			無	健全なアンカーボルト
不具合	無	有	引張耐力が鋼材降伏荷重未満	
	有	有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上	
検査結果	不具合	無	不具合検知せず	
		有	検知した不具合の内容が一致	
		有(△)	検知した不具合の内容不一致	
	判定	正答	ボルトの状態と検査結果が一致	
		空振	不具合無しを不具合有りと検知	
		見逃し	検知した不具合内容の不一致 不具合を検知できず	

表-6.2.2 各検査技術の検知性能の評価 【技術B】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	有	正答	正解			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂注入	M18	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			
20				付着不良	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
21				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き(模擬)	M18	上向き(模擬)	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	無	正答	正解			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
34		削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)		有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し				
35		M24		下向き	拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり		
36					健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解		

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果			評価
	不具合	耐力	判定	
無	無	無	正答	正解
		有	空振	難あり
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	耐力	検査結果	
			判定	解説
アンカーボルトの状態	不具合	無	無	健全なアンカーボルト
		有	有	不具合を模擬したアンカーボルト
検査結果	耐力	無	有	引張耐力が鋼材降伏荷重未満
		有	有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上
	不具合	無	有	不具合検知せず
		有	有	検知した不具合の内容が一致
		有(△)	有	検知した不具合の内容不一致
	判定	正答	有	ボルトの状態と検査結果が一致
		空振	有	不具合無しを不具合有りと検知
		見逃し	有	検知した不具合内容の不一致

表-6.2.3 各検査技術の検知性能の評価 【技術C】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	有	正答	正解			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
20				付着不良	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
21				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き(模擬)	M16	上向き	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	有	正答	正解
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	有	空振	難あり			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
34		M24	下向き	削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
35				拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
36				健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果			評価
	不具合	耐力	判定	
無	無	無	正答	正解
		有	空振	難あり
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	耐力	検査結果	
			判定	解説
アンカーボルトの状態	不具合	無	無	健全なアンカーボルト
		有	有	不具合を模擬したアンカーボルト
検査結果	耐力	無	無	引張耐力が鋼材降伏荷重未満
		有	有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上
	不具合	無	無	不具合検知せず
		有	有	検知した不具合の内容が一致
		有(△)	有	検知した不具合の内容不一致
	判定	正答	有	ボルトの状態と検査結果が一致
		空振	有	不具合無しを不具合有りと検知
		見逃し	有	検知した不具合内容の不一致

表-6.2.4 各検査技術の検知性能の評価 【技術D】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	有	正答	正解			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
20				付着不良	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
21				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き(模擬)	M16	上向き	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有	正答	正解			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	無	正答	正解			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
34		M24	下向き	下向き	削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり		
35					拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり		
36					健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり		

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果		評価
	不具合	耐力	
無	無	無	正解
	有	無	難あり
有	無	無	見逃し
		有	正解
		有(△)	難あり
	有	無	見逃し
		有	正解
		有(△)	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	耐力	検査結果
			無
不具合	無	有	引張耐力が鋼材降伏荷重未満
	有	有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上
検査結果	不具合	無	不具合検知せず
		有	検知した不具合の内容が一致
		有(△)	検知した不具合の内容不一致
	判定	正答	ボルトの状態と検査結果が一致
		空振	不具合無しを不具合有りと検知
		見逃し	検知した不具合内容の不一致

表-6.2.5 各検査技術の検知性能の評価 【技術E】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有	正答	正解			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	有	正答	正解			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
20				付着不良	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
21				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き(模擬)	M16	上向き	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	無	正答	正解			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
34		削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)		有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し				
35		M24		下向き	拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し		
36					健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解		

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果			評価
	不具合	耐力	判定	
無	無	無	正答	正解
		有	空振	難あり
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	無	健全なアンカーボルト
		有	不具合を模擬したアンカーボルト
検査結果	耐力	無	引張耐力が鋼材降伏荷重未満
		有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上
	不具合	無	不具合検知せず
		有	検知した不具合の内容が一致
		有(△)	検知した不具合の内容不一致
		正答	ボルトの状態と検査結果が一致
	判定	空振	不具合無しを不具合有りと検知
		見逃し	検知した不具合内容の不一致



表-6.2.6 各検査技術の検知性能の評価 【技術G】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂 カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	有	正答	正解			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有	正答	正解			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
13				削孔径大(φ 19mm→φ 26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂 注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	有	正答	正解			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	有	正答	正解			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
20				付着不良	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
21				健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き (模擬)	M16	上向き	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	有	正答	正解
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有	正答	正解			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
31	金属 スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	有	空振	難あり			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
33				削孔径大(φ 22.5mm→φ 26.5mm)	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
34		M24	下向き	削孔径大(φ 33.0mm→φ 38.0mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
35				拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
36				健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果			評価
	不具合	耐力	判定	
無	無	無	正答	正解
		有	空振	難あり
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	耐力	検査結果	
			判定	解説
アンカーボルトの状態	不具合	無	無	健全なアンカーボルト
		有	有	不具合を模擬したアンカーボルト
検査結果	耐力	無	無	引張耐力が鋼材降伏荷重未満
		有	有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上
	不具合	無	無	不具合検知せず
		有	有	検知した不具合の内容が一致
		有(△)	有	検知した不具合の内容不一致
	判定	正答	有	ボルトの状態と検査結果が一致
		空振	有	不具合無しを不具合有りと検知
		見逃し	有	検知した不具合内容の不一致

表-6.2.7 各検査技術の検知性能の評価 【技術H】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
13				削孔径大(φ 19mm→φ 26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂注入	M18	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
20				付着不良	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
21				健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
24				上向き(模擬)	M18	上向き(模擬)	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	有	空振	難あり			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
33				削孔径大(φ 22.5mm→φ 26.5mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
34		M24	下向き	下向き	削孔径大(φ 33.0mm→φ 38.0mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり		
35					拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり		
36					健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解		

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果		評価	
	不具合	耐力		
無	無	無	正答	正解
		有	無	空振
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	耐力	検査結果	
			不具合	判定
アンカーボルトの状態	不具合	無	無	健全なアンカーボルト
			有	不具合を模擬したアンカーボルト
検査結果	耐力	無	無	引張耐力が鋼材降伏荷重未満
			有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上
	不具合	無	無	不具合検知せず
			有	検知した不具合の内容が一致
			有(△)	検知した不具合の内容不一致
	判定	正答	正答	ボルトの状態と検査結果が一致
			空振	不具合無しを不具合有りと検知
			見逃し	検知した不具合内容の不一致

表-6.2.8 各検査技術の検知性能の評価 【技術 I】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
9				健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	有	正答	正解			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
16	樹脂注入	M18	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
20				付着不良	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
21				健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き(模擬)	M18	上向き(模擬)	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	有	空振	難あり			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
34		M24	下向き	削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
35				拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
36				健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果		評価	
	不具合	耐力		
無	無	無	正答	正解
		有	無	空振
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	耐力	検査結果		
			不具合	判定	
アンカーボルトの状態	不具合	無	無	健全なアンカーボルト	
			有	不具合を模擬したアンカーボルト	
検査結果	不具合	耐力	無	引張耐力が鋼材降伏荷重未満	
			有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上	
			無	不具合検知せず	
			有	検知した不具合の内容が一致	
	判定	不具合	耐力	有(△)	検知した不具合の内容不一致
				正答	ボルトの状態と検査結果が一致
				空振	不具合無しを不具合有りと検知
				見逃し	検知した不具合内容の不一致

表-6.2.9 検査技術別の検知性能評価（検知数の内訳）

検知性能評価	検査技術							
	技術A	技術B	技術C	技術D	技術E	技術G	技術H	技術I
正解	3	6	11	12	13	14	4	1
難あり	14	11	8	3	1	11	26	31
見逃し	19	19	17	21	22	11	6	4
合計	36	36	36	36	36	36	36	36

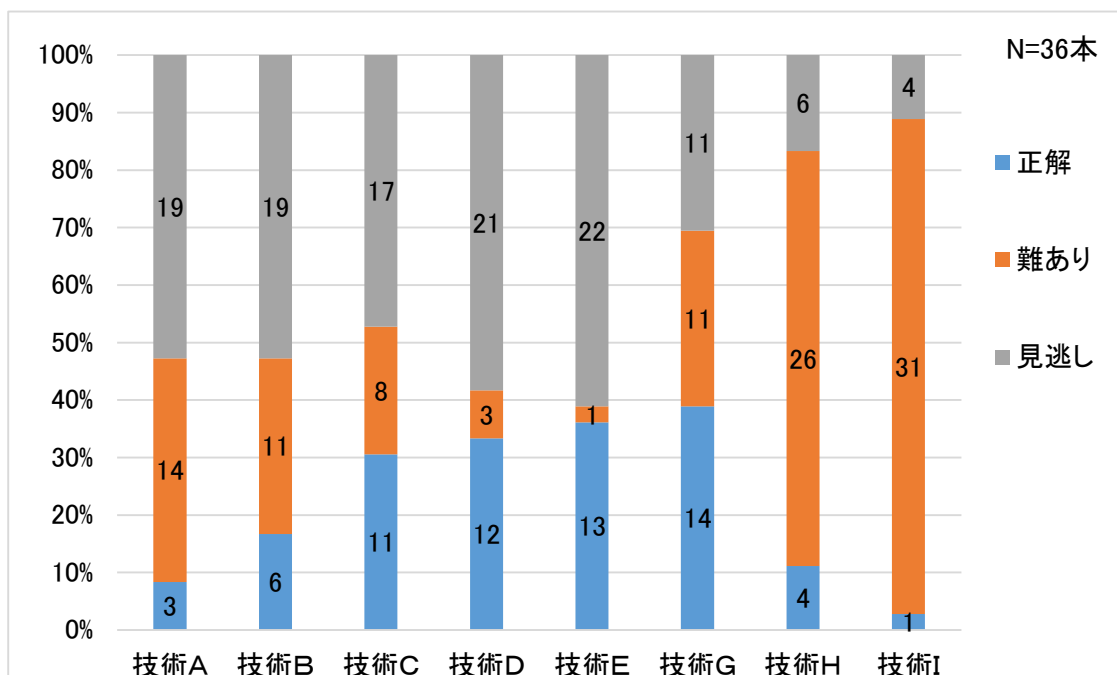


図-6.2.1 検査技術別の検知正答率

表-6.2.10 検査技術別の検知性能評価（不具合別）

供試体 No.	不具合の内容	検知性能評価							
		技術A	技術B	技術C	技術D	技術E	技術G	技術H	技術I
3	鋼材長不足 (10D→2.5D)	難あり	難あり	見逃し	見逃し	見逃し	見逃し	見逃し	難あり
8	充填不足(大口元空洞)	難あり	難あり	正解	正解	正解	正解	正解	難あり
20	付着不良	見逃し	見逃し	正解	正解	正解	難あり	難あり	難あり
26	充填不足(先端空洞)	見逃し	見逃し	正解	見逃し	見逃し	正解	難あり	見逃し
33	削孔径大 (φ 22.5mm→φ 26.5mm)	見逃し	見逃し	難あり	見逃し	難あり	正解	難あり	難あり
34	削孔径大 (φ 33.0mm→φ 38.0mm)	見逃し	見逃し	難あり	難あり	見逃し	難あり	難あり	難あり

表-6.2.11 耐力低下不具合別の検知性能評価

検知性能評価 耐力低下不具合	正解	難あり	見逃し
鋼材長不足(10D→2.5D)	0	3	5
充填不足(大) 口元空洞	5	3	0
付着不良	3	3	2
充填不足(大) 先端空洞	2	1	5
削孔径大(φ 22.5mm→φ 26.5mm)	1	4	3
削孔径大(φ 33.0mm→φ 38.0mm)	0	5	3

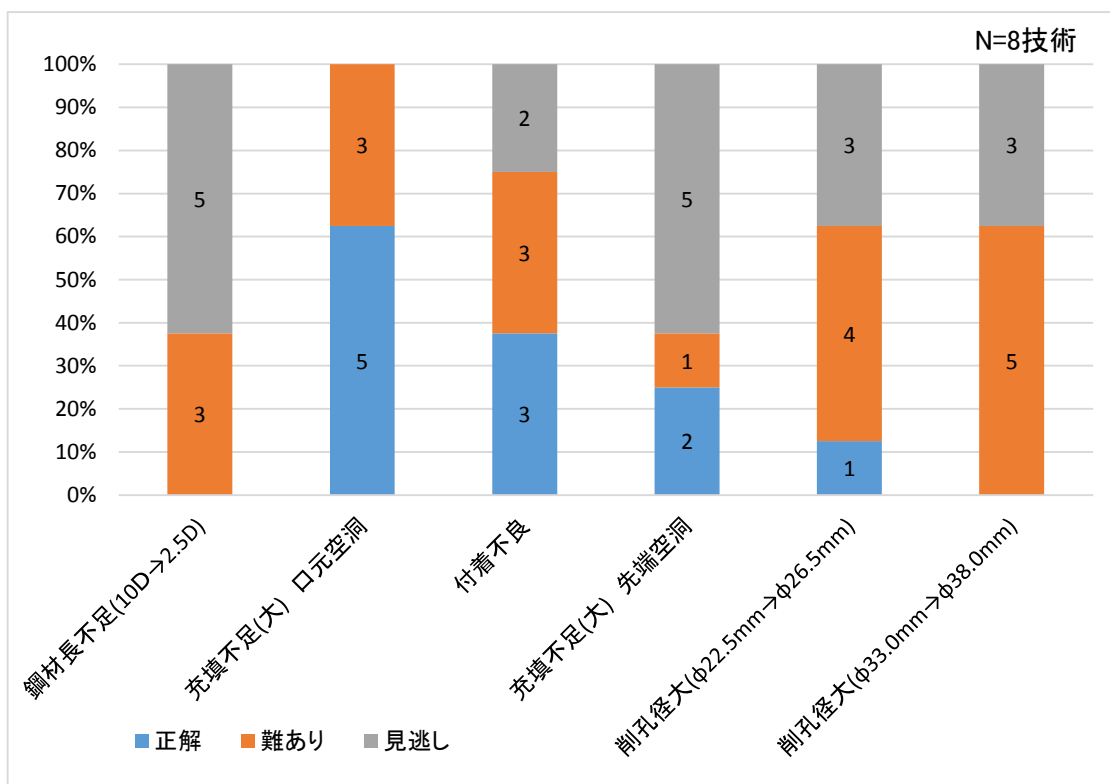


図-6.2.2 耐力低下不具合の検知正答率

## 6.2.2 非破壊検査技術に要求される不具合の検知性能

本章では、あと施工アンカーに模擬した不具合と引張耐力の関係について整理し、あと施工アンカーの引張耐力低下に影響する不具合とそれらの不具合に対する各非破壊検査技術に求められる検知性能について考察を行った。

1)不具合を模擬したあと施工アンカーの引張試験を行い、それぞれの不具合があと施工アンカーの引張耐力に及ぼす影響を検証した。その結果、アンカーの鋼材降伏耐力を下回る不具合は、接着系アンカーで「鋼材長不足 (10D→2.5D)」、「充填不足 (大) 口元空洞」、「付着不良」、「充填不足 (大) 先端空洞」、金属系アンカーで「削孔径大 ( $\phi 22.5\text{mm}$ →  $\phi 26.5\text{mm}$ )」、「削孔径大 ( $\phi 33.0\text{mm}$ → $\phi 38.0\text{mm}$ )」であった。これらの要因は、接着系アンカーではコンクリートのせん断抵抗面積が減少するため、金属系アンカーでは拡張による固着が十分に行われなかったためと考えられる。

しかし、今回模擬した不具合の中には、必ずしも引張耐力は低下せず、健全なアンカーと同等の引張耐力を有しているものもあった。実構造物においては母材コンクリートの状態やあと施工アンカー定着部の状況などの様々な条件が複合し、不具合内容と引張耐力の低下は一致しない可能性があると考えられ、引張耐力と不具合の関係性を明確にすることは困難であると考えられる。

2)引張試験結果から大幅にアンカーの引張耐力が低下する不具合はある程度推定されるものの、実際のあと施工アンカーの施工条件や施工対象の母体コンクリートの状態等の様々な条件により不具合の状態は異なり、耐力の低下度も異なる。そのため、非破壊検査技術で検知すべき不具合の内容を耐力との関係で絞り込むなど特定することは困難である。

3)各不具合に対する非破壊検査結果と引張試験の結果から、引張耐力に影響を及ぼす不具合の検知性能について検証した。アンカーの鋼材降伏耐力を下回る不具合は重大な事故を引き起こす可能性があるため、非破壊検査で検知できることが望ましい。しかし、健全なアンカーについてはほとんどの検査技術で正答していたのに対し、鋼材降伏耐力を下回る不具合を全て検知できた検査技術はなかった。

以上を踏まえると、非破壊検査においては、不具合の種類や内容、精度を正確に得ることまでは求めず、少なくとも「不具合の有無の判定に必要な情報が得られること」が、現状における非破壊検査技術に対する要求性能の限界であると考えられる。

【第 6 章 参考文献】

- 1) 道路橋支承便覧、(社) 日本道路協会、平成 16 年 4 月
- 2) あと施工アンカー試験方法、(社) 日本建築あと施工アンカー協会 (JCAA)、平成 19 年 8 月





## 第7章 非破壊検査技術の性能評価試験法の提案

### 7.1 非破壊検査技術の性能評価手法に求められる項目の整理

本研究で得られた知見をもとに、非破壊検査技術の性能評価手法に求められる項目を整理した。

#### ①あと施工アンカーの不具合の模擬方法

あと施工アンカーに生じる可能性のある不具合については、あと施工アンカーに関係した不具合事例を整理することで11種類の不具合に分類し、本研究で使用したあと施工アンカーそれぞれについて、適切な不具合の模擬方法を事前に確認したうえで適用した。そのため、性能評価手法（以下、評価手法）では、評価の対象とする不具合を明示したうえで検査を実施する必要がある。

#### ②各非破壊検査技術の計測原理等の事前調査

非破壊検査技術によって、計測原理や計測方法、適用の範囲、さらには、結果の表示方法等についても異なる。よって、評価手法では、検査技術の計測原理や計測方法、計測値の出力方法、検査結果の報告方法などについて事前に明確にし、評価手法の適用性をその方法とともにあらかじめ評価するとともに、それらのおりに検査が実施されていることを確認する必要がある。

#### ③非破壊検査技術の基本的な検査性能を評価するための方法

##### (1)検知可能なあと施工アンカーの不具合と検査技術

検査技術によって検知可能な不具合は異なり、すべての不具合を検知可能な検査技術はなかった。よって、評価手法では、検査技術が検知対象とする不具合を事前に明らかにしたうえで、その不具合に対する検査性能を明確にする必要がある。

##### (2)あと施工アンカーの不具合の検査精度

検査技術によって各検査項目に対する精度には大きな相違がある。そして、その原因は計測時の環境条件や供試体等の様々な条件が考えられる。よって、評価手法では、検査技術の想定される計測精度（ばらつき、誤差の範囲）や、計測精度に影響を及ぼす恐れのある事項（環境条件の制約、計測姿勢、計測に必要な空間、ボルトの突出長やボルト断面の平坦性等）を事前に明らかにしたうえで、その計測精度の再現性や信頼性を検査性能として確認する必要がある。また、ボルト径の影響や検査向きによる充填状況や充填率の違いの影響を適切に評価可能な供試体を用いて、検査性能を確認する必要がある。

##### (3)検査技術及び作業性

検査技術の寸法や検査技術の準備・撤去に要する時間は検査技術によって様々であるため、検査に必要な空間や作業時間は異なる。また、キャリブレーションの実施の有無によって検査精度が影響を受けることも確認されている。一方で、作業時間とあと施工アンカーの不具合に対する正答率に関係性が見られることから、検査に要する作業時間等の作業性の把握が重要である。よって、評価手法では、計測条件、キャリブレーションの必要性、計測手順、実施体制等の作業性能や検査性能に影響を与える可能性のある事項について事前に明確にしたうえで、その再現性や信頼性を評価

する必要がある。

#### ④検査要領

評価手法では、検査結果の報告については、あいまいな点が介在しない検査調書によって行う必要がある。また、評価手法で対象とする不具合の定義を明確にするとともに、予備情報の必要性やその種類、影響についても事前に明確にしたうえで検査を行い、事前の想定との違いを比較することで検査性能を明らかとするような要領とする必要がある。

#### ⑤予備情報の有無による検査性能

予備情報が与えられることで、ほとんどの検査原理の検知性能と一部の検査精度が上昇したが、一部、正答率が逆転したり、作業時間が長くなったりと必ずしも有効であるとは限らないことが確認された。一方で、実際の検査では、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、評価手法では、検査技術の基本的な性能を把握するために、不確定要素の少ない模擬供試体によって予備情報の有無による検査性能の相違を確認する必要がある。

#### ⑥非破壊検査技術の実構造物への適用性能

コンクリートが均質で劣化や損傷のない模擬供試体に比べて、コンクリートの品質や性状も均質ではなく不明な点も多い実部材に対しては、模擬供試体に対する場合と検知性能が異なることが確認された。実際の現地での検査では、今回行った条件よりもっと不利な条件も考えられ、検査性能に及ぼす影響はさらに大きくなることが予想される。また、あと施工アンカーに導入された軸力の状態によっても検査性能が変わることのあることも確認された。よって、評価手法では、様々な変状が生じている撤去部材にあと施工アンカーを施工した供試体やあと施工アンカーに軸力を導入した供試体を用いるなど、できるだけ多様な条件での検査を実施し、模擬供試体での検査結果や事前調査結果と比較することで、実構造物に適用する場合の検査性能を確認しておくことが有効である。

## 7.2 非破壊検査技術の性能評価試験法

7.1 で非破壊検査技術の性能評価手法に求められる項目を整理した。非破壊検査技術の検査性能に影響を及ぼす、あと施工アンカーに模擬された様々な不具合や検査条件、予備情報の有無、軸力の有無等について、適切に評価できる試験法であることが求められるものの、非破壊検査技術には多くの原理や仕様のもが存在するため、原理や仕様ごとに評価方法を定めることは困難である。

以上の点を踏まえ、これまで得られた結果を反映した性能評価フロー（図-7.2.1）に従って行われる一連の検証結果を総合的に評価することで、非破壊検査技術の検査性能を多面的かつ絶対的な評価で明らかにする非破壊検査技術の性能評価試験法を提案することとした。

Step1 の事前調査では、非破壊検査技術の検査能力とその信頼性を確認するために、非破壊検査技術の検査原理や検査技術の能力・性能についての基礎的要件を事前に明らかにする。7.1 での整理をもと

に、事前に明確にすべき項目として表-7.2.1 に示す事前評価項目を設定した。

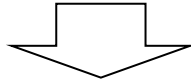
Step2 の基本性能試験では、様々な発生要因であと施工アンカーに生じる不具合を模擬した供試体を使用して非破壊検査技術の検証を行い、予備情報の有無の影響や、事前調査で明示された検査性能の再現性の確認を行うとともに基本的な性能について評価する。

Step3 の適用性能試験では、コンクリートの変状などの母材にも変状を有する撤去部材から作製した実部材供試体や、あと施工アンカーに軸力が導入された模擬供試体を使用して非破壊検査技術の検証を行い、検査性能に及ぼす影響を把握するとともに実構造物への適用性能について評価する。

以上は、非破壊検査技術の性能を事前に把握し、実際の現場における調査のための検査技術の選定や調査結果の解釈を行うことを想定したものである。また、結果の蓄積をはかり、性能評価手法や検査技術の要求性能の質の向上をはかることも重要である。本研究の内容を「あと施工アンカーボルトの性能評価試験法」の形でまとめ直したものを巻末の付属資料1、試験法に用いる様式集を付属資料3に示す。今後、各道路管理者等の団体においてこれを精査、さらに必要な事項を追加し、独自に活用がはかられ、統一的手法に基づく客観的なデータの蓄積が進むことで試験法の熟度を増していくことが期待される。

### Step1 事前調査

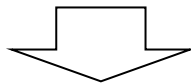
事前評価項目に従って、非破壊検査技術の検査原理と方法、そして原理と方法から推定される適用限界や誤差特性を整理する。併せて適用限界や誤差特性等について検査機器開発者が自己評価した実験データの入手に努める。



### Step2 基本性能試験

様々な発生要因で生じる不具合を模擬した模擬供試体、健全供試体に対して非破壊検査を実施し、非破壊検査技術の基本性能について確認する。検査は次の3通りをこの順序で行う。

- (1) 模擬供試体を使用した予備情報なしの検査
- (2) 健全供試体を使用したキャリブレーション
- (3) 模擬供試体を使用した予備情報ありの検査



### Step3 適用性能試験

実構造物の様々な影響要因を模擬した実部材供試体、締め付けトルクを導入した模擬供試体に対して非破壊検査を実施し、非破壊検査技術の実構造物への適用性能について確認する。検査は次の2通りをこの順序で行う。

- (1) 実部材供試体を使用した検査
- (2) 軸力を導入したあと施工アンカーを使用した検査

図-7.2.1 性能評価フロー（本試験法の適用の範囲）

表-7.2.1 非破壊検査技術の事前評価項目

評価項目	詳細
計測原理	対象とする内部損傷とその検出原理
	入力値
	計測する応答
	計測応答の情報処理原理
	計測対象のアンカーボルト(ボルト種別、径)
	計測や結果の解釈に要する事項や検査の適用限界
	計測精度について公表されているデータの内容
計測条件	計測機器寸法
	環境条件の制約
	計測姿勢
	計測に必要な空間
	計測に必要なボルトの突出長さ及びボルト断面の平坦性
	ナットの締付けトルクの影響の有無
	測定面の数(送受信機の有無)
	計測位置特定のためのけがきの必要性
計測にあたっての許認可事項	
予備情報	予備情報の必要性
	予備情報の種類
	予備情報の影響の有無
計測前のキャリブレーションの必要性	キャリブレーションの方法
	キャリブレーションの方法規準としている対象物(ボルト種別、径)
	キャリブレーション所要時間
	計測値の感度調整方法
計測手順	計測作業項目
	計測手順
	作業時間
計測値の出力	現地での計測結果の出力方法
	現地での検査結果の表示の可否
	計測当日に提出可能な計測結果及び検査結果
検査結果の報告に要する時間等	検査結果の作成期間
	検査結果の報告方法
	現地計測値と後日提出の検査結果の同一性の証明方法
実施体制	人員体制



## 第8章 まとめ

### 8.1 非破壊検査技術の基礎的調査

非破壊検査技術の基礎的性能を把握するために予備情報のない検査条件により検証した。本検証で用いた検査技術に関して得られた結果をまとめると以下のようなものが挙げられる。

- ・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。
- ・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。
- ・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。
- ・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。

### 8.2 非破壊検査技術の性能評価手法の検証

(1) 模擬供試体を使用した非破壊検査技術の基本性能を把握するために予備情報のある検査条件により検証した。本検証で用いた検査技術に関して得られた結果をまとめると以下のようなものが挙げられる。

- ・予備情報が与えられることで検査精度や作業性はほとんどの検査技術で向上する傾向にあったが、検査技術によっては必ずしも有効とは限らない。
- ・予備情報が与えられたことによって検知可能な項目が増える検査技術がある。

(2) 非破壊検査技術の実構造物への適用性を把握するために実構造物から撤去された部材を用いた条件やあと施工アンカー軸力が導入された検査条件により検証した。本検証で用いた検査技術に関して得られた結果をまとめると以下のようなものが挙げられる。

- ・あと施工アンカーがコンクリート表面の劣化やひび割れ等の変状が生じている箇所またはその近辺に施工されている場合、それらが検査結果に影響を及ぼし、その程度は変状の種類や検査技術の種類によって異なる。
- ・あと施工アンカーに軸力が導入されていることで、不具合が生じているあと施工アンカーに対する検査精度に大きく影響する。

### 8.3 あと施工アンカーの不具合と引張耐力の関係性の検証

あと施工アンカーの不具合と引張耐力の関係性について検証した結果は以下のとおりである。

- ・実構造物においては母材コンクリートの状態やあと施工アンカー定着部の状況などの様々な条件が複合し、不具合内容と引張耐力の低下は一致しない可能性がある。
- ・引張試験結果から大幅にアンカーの引張耐力が低下する不具合はある程度推定されるものの、非破壊検査技術で検知すべき不具合の内容を耐力との関係で絞り込むなど特定することは困難である。
- ・健全なアンカーについてはほとんどの検査技術で正答していたのに対し、鋼材降伏耐力を下回る不具合を全て検知できた検査技術はなかった。
- ・非破壊検査においては、不具合の種類や内容、精度を正確に得ることまでは求めず、少なくとも「不具合の有無の判定に必要な情報が得られること」を求めることが、現状における非破壊検査技

術に対する要求性能の限界である。

#### 8.4 非破壊検査技術の性能評価試験法の確立に向けて

本研究による検証結果を踏まえて、あと施工アンカーの非破壊検査技術の性能評価試験法に含むべき内容を提案した。提案の内容は以下のとおりである。

- ・ 様々な発生要因で生じる不具合を模擬した模擬供試体を用いて非破壊検査の検証を行い、非破壊検査技術の基本性能を把握するための情報を与える。
- ・ 実構造物の様々な影響要因を模擬した実部材供試体を用いて非破壊検査の検証を行い、検査性能に及ぼす影響と実構造物への適用性能を把握するための情報を与える。

本研究では、あと施工アンカーに模擬する不具合の種類について、文献等で報告されている過去に発生したあと施工アンカーに関係した不具合事例をもとに設定した。そのため、すべての不具合をカバーできているかは不明であり、不具合の模擬方法についても実際の不具合を再現できていない可能性がある。また、今後、様々な機器について供試体による試験結果と実務において得られたデータと比較を行うことで、試験法としての質の向上や機器への要求性能のレベルの向上を目指す必要がある。



## 付属資料

### 提案するあと施工アンカーボルトの非破壊検査技術の性能評価試験法

#### 付属資料の位置づけ

提案する試験法は、非破壊検査機器の性能を事前に把握し、実際の現場における調査のための機器の選定や調査結果の解釈を行うことを想定し、本研究で得た知見をマニュアル様式でまとめなおしたものである。



## 目 次

1 章 総則	付 1
1.1 適用の範囲	付 1
2 章 性能評価試験フロー	付 2
3 章 あと施工アンカーの不具合の定義	付 4
4 章 供試体	付 5
4.1 健全供試体（キャリブレーション供試体）	付 5
4.2 模擬供試体	付 5
4.3 実部材供試体	付 6
5 章 事前調査項目	付 7
5.1 計測原理	付 7
5.2 計測条件	付 8
5.3 予備情報	付 9
5.4 キャリブレーション	付 9
5.5 計測方法	付 10
5.6 計測値の出力	付 10
5.7 検査結果の報告に要する時間等	付 11
5.8 実施体制	付 11
6 章 検査方法	付 12
6.1 検査手順	付 12
6.2 確認項目	付 13
7 章 性能試験	付 15
7.1 基本性能試験	付 15
7.2 適用性能試験	付 15
8 章 報告	付 16
9 章 性能評価	付 16



## 1章 総則

### 1.1 適用の範囲

- (1) 本試験法（案）は、コンクリート構造物全般に使用されているあと施工アンカーを対象とした、あと施工アンカーボルトの非破壊検査技術の検査性能を評価するための試験方法について規定する。
- (2) 試験対象とするあと施工アンカーの定着方法やアンカーボルト径については、その適用性について十分に検討したうえで用いられなければならない。

- (1) 本試験法（案）は、あと施工アンカーの非破壊検査技術の性能評価試験を行うことで、非破壊検査技術によって推定されるあと施工アンカーの施工品質について、検査結果の信頼性や適用限界、検知精度について事前に明らかにすることを目的とした試験方法について規定したものである。
- (2) 接着系アンカーは、母材コンクリートの孔壁部とアンカー筋との空隙に接着剤を充填し、コンクリートの孔壁にアンカー筋を定着するものである。接着剤の充填方法により、カプセル方式と注入方式に区分され、同じ充填方式でも材料は多種にわたる。本試験法は、カプセル方式については「有機系カートリッジ型（ミキシングノズル式）」、注入方式については「現場調合 2 液混合式」、金属系アンカーについては「スリーブ打ち込み式」に対する各種検討結果をもとに定められたものである。そのため、試験法の対象としているアンカーボルト径は、接着系アンカーでは M16、M18、金属系アンカーでは M16、M24 を標準とする。これら以外の定着方法やボルト径について試験を行う場合には、その適用性について十分に検討したうえで用いる必要がある。

## 2章 性能評価試験フロー

あと施工アンカーの非破壊検査技術の性能評価試験は図 2-1 に示す性能評価試験フローに従って行う。

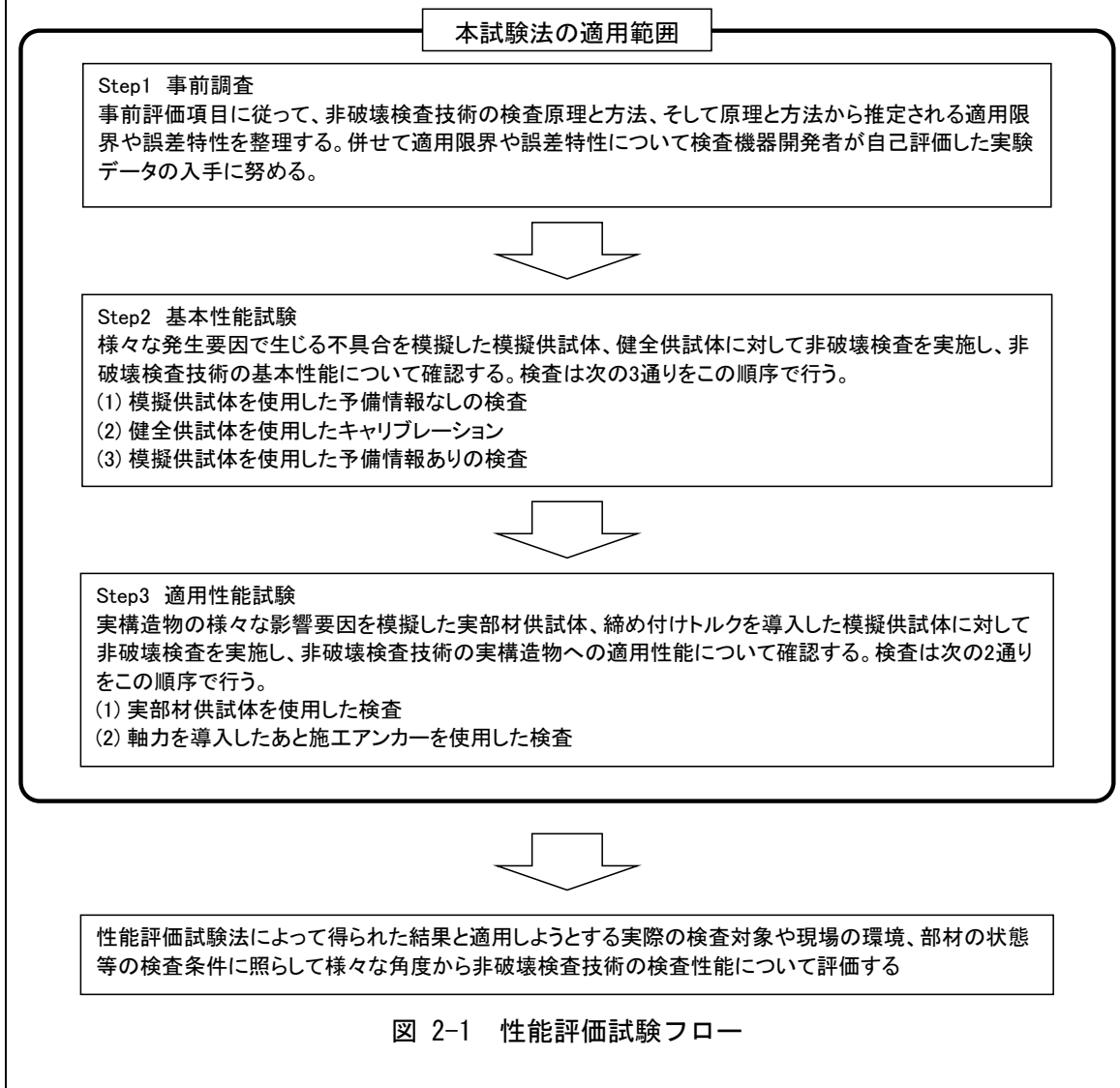


図 2-1 性能評価試験フロー

事前調査は非破壊検査技術の検査能力とその信頼性を確認するために、事前調査項目に従って検査実施者自らが非破壊検査技術の自社評価を行ない、その技術的根拠とともに明確に示す必要がある。

基本性能試験は様々な要因で発生し得るあと施工アンカーに生じる不具合を模擬した供試体を使用して、事前調査で申告された検査性能の再現性の確認とあと施工アンカーボルトの定着部に生じる不具合に関する予備情報の有無による検査性能の変化を確認することで基本的な性能について評価するものである。

適用性能試験はコンクリートの変状などの経年劣化が生じている撤去部材から作製した供試体や、軸力が導入されたアンカーボルトを模擬した供試体を使用して、コンクリートの状態やアンカーボルトの導入軸力が検査性能に及ぼす影響を把握するとともに、コンク

リート表面の劣化や変状等が検査性能に及ぼす影響についても併せて確認し、実構造物への適用性能について評価するものである。

非破壊検査技術の性能評価は事前調査、基本性能試験、適用性能試験の各段階、または、すべての試験を実施した段階で、非破壊検査技術の事前自己評価結果や試験結果に基づき、実際の検査対象と想定されるあと施工アンカーの不具合や現場環境、部材状態などの検査条件に照らして様々な角度から総合的に評価を行うものであり、定期点検等における非破壊検査技術の利用者が個別に行うものである。

事前調査は非破壊検査技術の検査能力とその信頼性を確認するために、事前調査項目に従って検査実施者自らが非破壊検査技術の自己評価を行ない、その技術的根拠が明らかな機器であることを確認する必要がある。何故ならば、Step2～Step3 の試験のみで多様な状態、現場環境に対する性能を全て明らかにすることは限界があるためである。そこで、少なくとも検査原理や方法がある程度の根拠を持って確立していると思われる機器であることをまず確認することを求めた。逆に言えば、Step2～Step4 はそのような機器を対象にした試験法と言ってもよいだろう。

基本性能試験は、様々な要因で発生し得るあと施工アンカーに生じる不具合を模擬した供試体を使用して行う試験である。事前調査で申告された検査性能の再現性の確認とあと施工アンカーボルトの定着部に生じる不具合に関する予備情報の有無による検査性能の変化を確認することで基本的な性能について評価するものである。

適用性能試験は、コンクリートの変状などの経年劣化が生じている撤去部材から作製した供試体や、軸力が導入されたアンカーボルトを模擬した実構造物により近い条件の実損傷供試体を用いて行う試験である。コンクリートの状態やアンカーボルトの導入軸力が検査性能に及ぼす影響を、コンクリート表面の劣化や変状等が検査性能に及ぼす影響について把握するものである。

非破壊検査技術の性能評価は事前調査、基本性能試験、適用性能試験の各段階、または、すべての試験を実施した段階で、非破壊検査技術の事前自己評価結果や試験結果に基づき、実際の検査対象と想定されるあと施工アンカーの不具合や現場環境、部材状態などの検査条件に照らして様々な角度から総合的に評価を行うものであり、定期点検等における非破壊検査技術の利用者が個別に行うものである。

### 3章 あと施工アンカーの不具合の定義

本試験法（案）では、あと施工アンカーに生じると想定される不具合を次のように定義する。

(1) 鋼材長不足

設計ミス、鉄筋の干渉等によって所定の深さまで鋼材が埋め込まれていない状態。

(2) 斜め削孔

鉄筋の干渉等により削孔が斜めに実施され、斜行している孔に対して斜めにあと施工アンカーが埋め込まれている状態。

(3) 鋼材破断

水の侵入などによってあと施工アンカーが腐食し、あと施工アンカーが埋め込まれている部分であと施工アンカーが破断している状態。

(4) 鋼材腐食

水の侵入などによって埋め込まれている部分であと施工アンカーが腐食している状態。

(5) 充填不足

施工向きや施工不良によって、接着剤の未充填部がある状態。

(6) 硬化不良

接着剤の硬化不良により、所定の強度を有していない状態。

(7) 付着不良

清掃不足や空洞の発生によって、あと施工アンカーと孔壁が接着剤によって十分に密着していない状態。

(8) 削孔径大

設計ミスや削孔ドリルの選定ミスによって、削孔径が所定の大きさよりも大きい状態。

(9) 削孔長深

設計ミスや削孔深さの管理ミスによって、あと施工アンカー埋め込み長よりも削孔長が深い状態。

(10) 拡張不足

鉄筋の干渉や清掃不足により、金属スリーブの埋め込み深さが不足し、所定の拡張が満足されていない状態。

「道路橋等の点検効率化等への計測・非破壊検査技術の適用性検証に関する共同研究（Ⅱ）ーコンクリートあと施工アンカーボルトに対する非破壊検査の適用性に関する研究ー（国総研資料 第 884 号 2017 年）」（以下、あと施工アンカーに関する共同研究）では、あと施工アンカーにこれまでに発生した不具合内容と発生要因の例を整理している。本試験法（案）では、検査結果の判定をより明確にするために、あと施工アンカーに生じる不具合を定義した。



## 4章 供試体

### 4.1 健全供試体（キャリブレーション供試体）

あと施工アンカーが健全な状態で施工された供試体で、予備情報として健全なあと施工アンカーの計測が必要な非破壊検査技術のキャリブレーションに使用する。

健全供試体の一例を図 4-1 に示す。

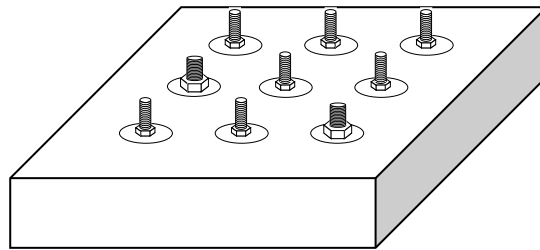


図 4-1 健全供試体の例図

標準アンカーの事前計測に使用するものであり、コンクリート中の配筋の影響などをできるだけ受けたくないような配筋およびあと施工アンカーの配置とし、定着方法、種別、ボルト径毎に健全な状態であと施工アンカーが施工されているものである。

### 4.2 模擬供試体

あと施工アンカーに生じる不具合を模擬した供試体で、基本性能試験と一部の適用性能試験に使用する。

模擬供試体の一例を図 4-2 に示す。

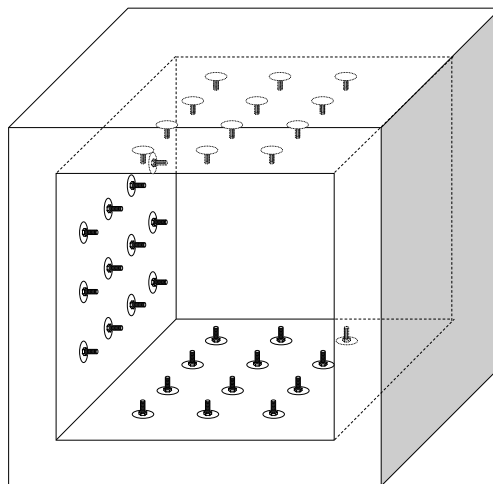


図 4-2 模擬供試体の例図

3章で定義したあと施工アンカーの不具合を模擬した供試体であり、あと施工アンカーが実際に使用される向き（上向き、下向き、横向き）で検査することを想定したものである。

### 4.3 実部材供試体

母材コンクリートに経年劣化やひび割れ等の変状、既設の支障物がある場合を想定し、撤去部材に不具合を模擬したあと施工アンカーを施工した供試体で、適用性能試験に使用する。

実部材供試体の一例を図 4-3 に示す。

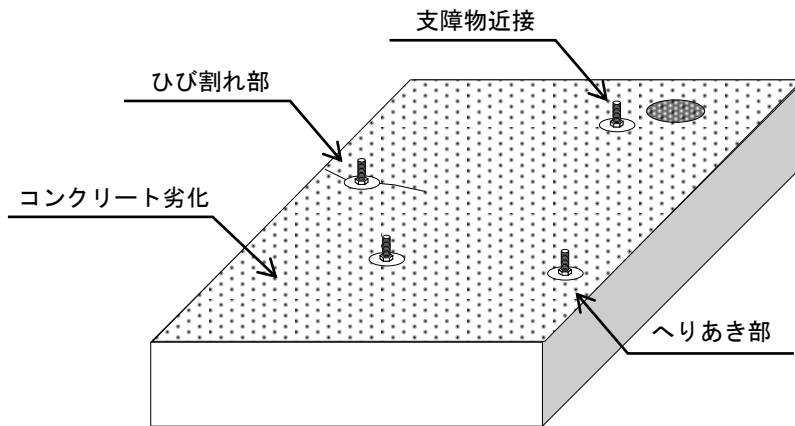


図 4-3 実部材供試体の例図

コンクリート劣化やひび割れなどの変状が生じている撤去部材に 3 章で定義したあと施工アンカーの不具合を模擬した供試体であり、様々な条件が存在する実構造物への適用性を想定した検査を行うものである。

## 5章 事前調査項目

### 5.1 計測原理

検査技術の計測原理に関する次に示す事項について、事前に明らかにされなければならない。

- 1) 検知できると考える不具合の種類とその検出原理
- 2) 入力の方法、入力値の大きさ、入力箇所
- 3) 計測する応答の種類（音、波形、伝搬速度等）、応答を受信する方法
- 4) 計測応答の情報処理原理
- 5) 計測対象のあと施工アンカー種別（定着方法、材質、径）
- 6) 計測や結果の解釈に要する事項や検査の適用限界
- 7) 計測精度について公表されているデータの内容

- 1) 性能評価では、検査技術が検知の対象としているあと施工アンカーの不具合に対しての検査性能を確認する。そのためには、検知できると考えられる不具合の種類とその原理が明確にされている必要がある。
- 2) 性能評価では検査結果が検査技術で定める入力値で得られたものであることを確認する。そのためには、入力の方法（ハンマーによる打撃、超音波、衝撃弾性波、パルス波等）や入力値の大きさ、入力箇所（あと施工アンカー本体、ボルト近傍のコンクリート等）が明確にされている必要がある。入力値の大きさについて、機械的に大きさを設定できるものは、その大きさを示すことができるが、検査者の操作によるもの（例えば、ハンマーによる打撃）のように、入力時に具体的な大きさを示すことが難しい検査技術については、受信する応答の大きさを示してもよい。
- 3) 性能評価では検査結果が検査技術で定める応答値で得られたものであることを確認する。そのためには、入力値に対して計測する応答の種類（音、波形、伝搬速度等）や応答を受信する方法が明確にされている必要がある。
- 4) 検査技術によっては、計測した応答値そのものから不具合を検知できるものと、計測した応答値を解析しないと不具合を検知できないものが存在する。不具合を検知し、正しく判定するためには、計測した応答値から検査結果を導き出すための具体的な処理方法（取得できるデータ、データの変換・解析方法、処理結果からどのように不具合を判定するか）について技術的根拠を基に明確にされている必要がある。
- 5) 各検査技術によって適用可能なアンカーの定着方法、材質、ボルト径等は異なり、定着方法やボルト径の違いによって不具合の正答率や検知性能が大きく異なる場合がある。あと施工アンカーに送受信器を直接取り付けて計測する方法では、適用可能なあと施工アンカーの種別、ボルト径が制限される場合もある。検査技術の性能を適切に評価するためには、計測対象とするあと施工アンカーの定着方法（接着系、金属系）、材質、径について明確にされている必要がある。
- 6) 7) 検査原理とその適用性について開発段階での検証データの存在を調べ、成立性について明確にされている必要がある。

## 5.2 計測条件

検査技術の計測条件に関する次に示す事項について、事前に明らかにされなければならない。

- 1) 計測機器寸法
- 2) 環境条件の制約
- 3) 計測姿勢
- 4) 計測に必要な空間
- 5) 計測に必要なボルトの突出長さ及びボルト断面の平坦性
- 6) ナットの締め付けトルクによる軸力の影響の有無
- 7) 測定面の数
- 8) 計測位置特定のためのけがきの必要性
- 9) 計測にあたっての許認可事項

- 1) 現場での検査において、狭隘な空間での検査では、計測機器本体や付属品等の寸法が制限される場合があるため、検査に使用する計測機器本体及び付属品等、検査に使用するすべての機器の外形寸法が明らかである必要がある。
- 2) 検査技術によっては検査時の天候、気温、検査対象物の温度・湿潤状態等の制約を受け、検査精度に影響を及ぼす場合もある。これらの影響を受ける場合には、具体的な状況や適用範囲等について明確にされている必要がある。
- 3) 非破壊検査を実施する方向（計測面）によって計測姿勢は異なり、送受信機を固定せずに計測を行う（検査者が送受信機等を手に持って固定する）検査技術では、計測姿勢が計測精度に影響を及ぼすことも考えられる。非破壊検査技術の適用可能な計測面を考慮して、検査者の姿勢が示されている必要がある。
- 4) 実構造物に設置されたあと施工アンカーの検査を行う場合は、あと施工アンカーに設備等が設置されており、それらが検査の障害となり、十分な検査空間を確保できない場合がある。また、作業空間が狭く検査技術を満足に操作する空間がない場合は、計測精度に影響を及ぼすことも考えられる。検査技術の設置空間も含め、計測作業を正確に実施するために必要な空間が示されている必要がある。
- 5) あと施工アンカーに送受信機を設置して検査を行う場合は、それらを設置できるだけのボルトの突出長が必要である。また、ボルト頭部から入力を行う場合は、ボルト断面の平坦性が検査結果に影響を与えることも考えられる。ここでは、計測に必要なボルトの突出長さ及びボルト断面の平坦性が示されている必要がある。
- 6) あと施工アンカーや近傍のコンクリートを介して計測を行う検査技術では、ナットの締め付けトルクによって、軸力が導入されていない場合と計測する応答値が異なり、不具合を適切に検知できない場合がある。軸力の影響を受ける検査技術は、技術的根拠とともにその影響度について明確にされている必要がある。
- 7) 現場の状況や構造物の形状によっては、計測面が制限されることもある。送信機と受信機を異なる面（隣接する面や対面）に取り付けて計測を行う場合や複数の面の測定を行って不具合の判定を行う場合は、測定面の数やそれぞれの面の位置関係が具体的に示されている必要がある。
- 8) けがきが必要な検査技術であっても、検査対象によっては直接けがくことができない場

合が想定される。また、計測点数が非常に多い場合には作業時間が長くなるなどの影響も考えられる。送受信機の位置を正確に定める必要がある場合や、あと施工アンカーボルト1箇所あたりの検査について、送受信機の位置を数カ所に移動させて計測する場合、複数回にわたって同じ位置で計測する場合等、計測位置の特定が必要な場合には、けがきの必要性について示されている必要がある。

- 9) 事前に許認可申請が必要な場合、計測日の拘束や専任技術者の配置など、検査スケジュールや他機関との調整が必要になる場合がある。X線を使用した非破壊検査技術のように、検査の実施に許認可申請を要し、専任の検査者（または立会者）配置や立入禁止等の措置が必要な場合は、その申請先や申請期間、申請に伴う計測日の拘束の有無について具体的に示されている必要がある。

### 5.3 予備情報

予備情報に関する次に示す事項について、事前に明らかにされなければならない。

- 1) 予備情報の必要性
- 2) 必要な予備情報の種類
- 3) 予備情報の有無の影響

- 1) 定性的な評価をする検査原理においては、健全部の事前計測やあと施工アンカーの図面等の予備情報によって検査精度が向上する場合がある。また、計測機器のキャリブレーションに健全部の計測が必要な検査技術も存在する。ここでは、予備情報の必要性について示されている必要がある。
- 2) 検査技術によっては、予備情報として健全に施工されたあと施工アンカーの計測を必要とする場合、あと施工アンカーの標準施工図を必要とする場合、または、その両者を必要とする場合想定される。予備情報が必要な検査技術は、予備情報の種類について示されている必要がある。
- 3) 予備情報が与えられることによって検査性能が向上する検査技術もあれば、ばらつきが大きくなったり、検査性能は向上するものの作業時間が長くなったりする検査技術も存在する。実構造物においては必ずしもあと施工アンカーの種類に関する情報や施工図面が残っているとは限らず、健全に施工されたあと施工アンカーもない（または、健全であるかを判定できない）場合もある。そのため、予備情報の有無が検査性能に及ぼす影響が示されている必要がある。

### 5.4 キャリブレーション

検査技術のキャリブレーションに関する次に示す事項について、事前に明らかにされなければならない。

- 1) キャリブレーションの方法
- 2) キャリブレーションの基準としている対象物（アンカー種別、ボルト径）
- 3) キャリブレーション所要時間
- 4) 計測値の感度調整方法

- 1) キャリブレーションの方法は、検査対象と同等のアンカーボルトを用いて実施したり、既設の健全なあと施工アンカーを用いて実施したり等、検査技術によって異なる。ここ

では、キャリブレーションの方法が具体的に示されている必要がある。

- 2) 現場の状況によっては、キャリブレーションの対象が存在しない場合も想定されたため、キャリブレーション対象ボルトとして選べるボルトの種別や径、あと施工アンカーの状態（健全に施工されている状態、埋め込んでいない状態等）について示されている必要がある。
- 3) 1回のキャリブレーション所要時間が長い場合や、その頻度（最初のみ、径毎、1本毎等）によっては、作業時間は大きく異なり、作業性能に影響を及ぼす可能性がある。そのため、キャリブレーションの頻度とキャリブレーションに要する時間が示されている必要がある。
- 4) 検査技術によっては、期待する検査性能を発揮するために、現地の環境条件やあと施工アンカーボルトの状態、母材コンクリートの状態によって感度調整を必要とする場合がある。しかし、その調整方法は検査原理によって異なり、正しく調整が行われていることが明確に示されている必要がある。そのためには、その具体的な調整方法が技術的根拠とともに示されている必要がある。

#### 5.5 計測方法

計測方法に関する次に示す事項について、事前に明らかにされなければならない。

- 1) 計測作業項目
- 2) 計測手順
- 3) 作業時間

- 1) 信頼できる検査結果を得るためには、その検査技術に定められた計測作業項目が漏れなく実施される必要がある。そのため、検査技術の設置から撤去まで、計測時の作業項目について漏れなく示されている必要がある。
- 2) 検査結果の信頼性や客観性を確保するためには、定められた方法及び手順に従って検査が実施されなければならない。そのため、検査技術の設置から撤去までの計測手順が詳細に示されている必要がある。
- 3) あと施工アンカー1本あたりに要する計測時間は、検査計画を立てるうえで重要な要素となる。ここでは、検査技術の設置、1箇所あたりの計測、検査技術の移動、検査技術の撤去に要する時間がそれぞれ示されている必要がある。

#### 5.6 計測値の出力

計測値の出力に関する次に示す事項について、事前に明らかにされなければならない。

- 1) 現地での計測結果の出力方法
- 2) 現地での検査結果の表示の可否
- 3) 計測当日に提出可能な計測結果及び検査結果

- 1) 検査技術によって、計測結果を数値として表示するもの、グラフや波形等で表示するもの等が存在する。そのため、現地での計測結果の出力方法（ディスプレイへの表示、プリント用紙への印字等）、出力形式（波形、数値等）、データの種類（計測生データ、変換データ、変換方法等）について具体的に示されている必要がある。

- 2) 現地で検査結果を表示できる場合は、その場であと施工アンカーの健全性を評価することができるため、対処方法等を迅速に検討することができる。また、計測データが不十分であった場合、その場ですぐに再検査も可能であることから、現地での検査結果の表示の可否は有用である。そのため、現地での検査結果（検出した不具合等）の表示の可否について示されている必要がある。
- 3) 計測当日に提出可能な計測結果（計測生データ、処理データ）及び検査結果（検出した不具合等）がある場合は、提出できる結果、その形態（データ、メモ、報告書、写真等）、について具体的に示されている必要がある。データの改ざん防止のための計画案も検査者が示すものとする。

#### 5.7 検査結果の報告に要する時間等

検査結果の報告に関する次に示す事項について、事前に明らかにされなければならない。

- 1) 検査結果の作成期間
- 2) 検査結果の報告方法
- 3) 現地計測値と後日提出の検査結果の同一性の証明方法

- 1) 検査結果はできるだけ迅速かつ正確に報告できることが望ましい。そのため、現地検査終了後、データ整理または解析等を行って検査結果を提出するまでに要する時間の目安が示されている必要がある。
- 2) 計測データを数値化して結果を判定する方法や、計測データの波形等の変化によって結果を判定する方法など検査技術によって様々である。そのため、検査結果の報告方法（テキストによる出力、図化イメージ等）について具体的に示されている必要がある。
- 3) 検査結果が計測結果から導き出されたものであることを計測原理や計測結果の処理方法等の技術的根拠などの信頼できる方法で証明できなければならない。そのため、その証明方法について具体的に示されている必要がある。

#### 5.8 実施体制

実施体制に関して、事前に明らかにされなければならない。

- 1) 人員体制

- 1) 現場条件によっては、作業空間が狭いなどの理由で人員が制限されることも想定される。そのため、検査を行うために必要な標準的な人数及び役割（測定者、記録者、補助員、その他等）と、検査を実施するために必要な最低限の人員体制について示されている必要がある。

## 6章 基本性能試験や適用性能試験における検査方法

### 6.1 検査手順

各供試体に設置されたあと施工アンカーの非破壊検査は、図 6-1 に示す手順で実施され、また、各段階で性能評価に必要な項目の記録や計測、写真の撮影等を行う。

- 1) 検査準備
- 2) 検査実施
- 3) 撤去
- 4) 検査調書作成・提出

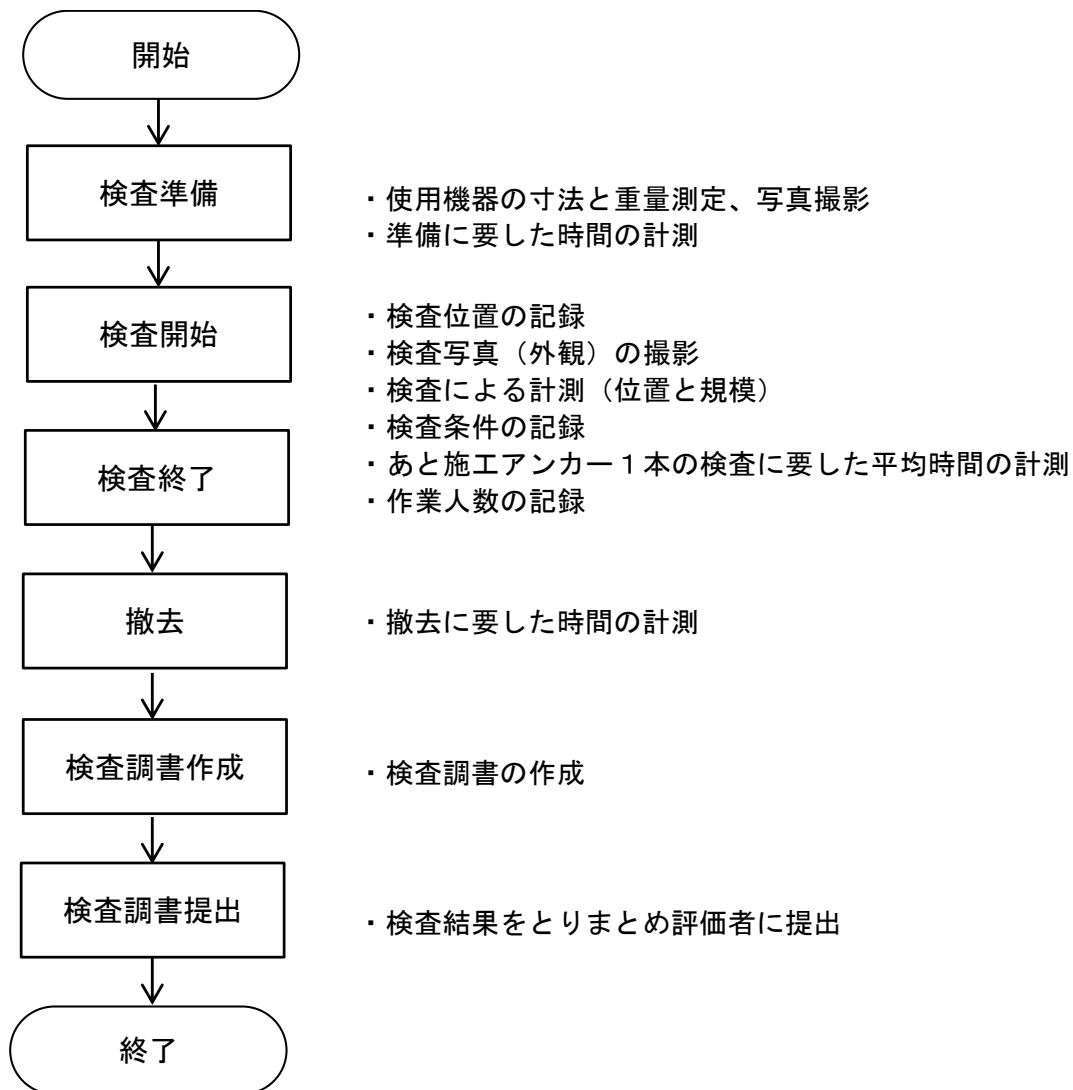


図 6-1 検査手順

- 1) 検査準備では、事前調査報告による検査技術との同一性を確認するため、検査技術の寸法と重量を測定し、その状況を写真撮影される必要がある。次に、最初の測定位置において検査技術の設置作業を行い、検査準備に要した時間が計測される必要がある。
- 2) 検査では、検査位置の記録、検査技術による計測（位置と規模）、検査写真（外観、位



置、計測結果)の撮影、検査条件の記録、あと施工アンカー1本の検査に要した平均時間の計測、作業人数の記録が行われる必要がある。

- 3) すべての検査終了後、検査技術の撤去を行い、撤去に要した時間が計測される必要がある。
- 4) 非破壊検査によって得られた計測結果を基に、検査結果を検査調書に取りまとめ、技術的な根拠資料とともに報告される必要がある。

## 6.2 結果の整理

各供試体に設置されたあと施工アンカーの非破壊検査は、表 6-2 に示す確認項目の計測及び検査条件等の整理が行われなければならない。

表 6-2 確認項目

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鋼材長 ②あと施工アンカーの埋め込み長 ③あと施工アンカー削孔径 ④あと施工アンカー削孔長 ⑤接着系アンカーの樹脂充填状況 ⑥金属系アンカーの定着状況
2) あと施工アンカーの仕様、健全性	①あと施工アンカーの引張耐力 ②あと施工アンカー仕様※1 (標準もしくは否標準の判定) ③あと施工アンカーの健全性 (変状・損傷の検出) ④検出した変状の種類、定量値
3) 検査条件	①検査の条件を詳細に明記 (様式自由) ②使用した予備情報を明記 ③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己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

※1 あと施工アンカーの仕様は、予備情報 (標準図) が与えられた場合の検査項目

標準 : 標準図と同じ仕様で施工されており、変状・損傷がないアンカー

否標準 : 標準図と異なる仕様で施工されているかもしくは変状・損傷があるアンカー

- 1) あと施工アンカー及びあと施工アンカー削孔の形状をあと施工アンカー1箇所毎に検査し、検査結果を具体的に示される必要がある。非破壊検査技術の検知対象外である場合は、それが明記される必要がある。
- 2) あと施工アンカーの健全性については、検査方法毎に決められた判定方法に従って、健全か否健全かを判定し、否健全と判定した場合、「ボルト本体」、「定着部」、「削孔位置」等に生じている変状の内容、範囲等について、判断の根拠となる計測結果の数値的な裏付け根拠を明示し、詳細を示す。また、検査の結果が不具合があると検知されたものの、その不具合の種類が3章で示したあと施工アンカーの不具合のいずれにも該当しないと考えられる場合は、その不具合（変状）の種類や状態が具体的にかつ詳細に示されている必要がある。
- 3) 検査条件について詳細（様式自由）に示される必要がある。なお、測定毎に検査条件が変化する場合は、測定毎に検査条件が示される必要がある。
- 4) 検査結果の推定精度について評価とその根拠について詳細に示される必要がある。また、非破壊検査技術の検査対象である検査項目について、検査技術の性能等により測定が不可能であった場合はその理由が示される必要がある。
- 5) 事前調査報告による検査技術との同一性を証明するため、使用検査技術の写真を撮影し、その諸元が示される必要がある。同様に、作業性、計測結果に要した時間も詳細に示される必要がある。

## 7章 性能試験

### 7.1 基本性能試験

基本性能試験では、次に示す検査がこの手順の通りに実施されなければならない。

- (1) 模擬供試体を使用した予備情報なしの検査
- (2) 健全供試体を使用したキャリブレーション
- (3) 模擬供試体を使用した予備情報ありの検査

(1)非破壊検査技術の検査対象とするあと施工アンカーの不具合について、予備情報（あと施工アンカーの標準施工図、健全なあと施工アンカーの計測結果）がない状態で検査が行われる必要がある。

(2)予備情報を必要とする非破壊検査技術で、健全なあと施工アンカーの計測結果を必要とする非破壊検査技術のみ健全供試体の検査が実施される必要がある。

(3)非破壊検査技術の検査対象とするあと施工アンカーの不具合について、予備情報（あと施工アンカーの標準施工図と健全なあと施工アンカーの計測結果のどちらか一方、またはその両方）が与えられた状態で検査が行われる必要がある。なお、検査は模擬供試体を使用した予備情報なしの検査とは別のあと施工アンカーで実施される必要がある。

### 7.2 適用性能試験

適用性能試験では、次に示す検査がこの手順の通りに実施されなければならない。

- (1) 実部材供試体を使用した検査
- (2) 軸力を導入したあと施工アンカーを使用した検査

(1)実部材供試体は、コンクリートの変状等が生じている撤去部材にあと施工アンカーを施工したものであるため、コンクリート表面の劣化やひび割れが生じている。検査を行うときは、これらの変状に影響を与えないように（コンクリートの剥離や欠けを生じさせないように）注意して検査が行われる必要がある。

(2)締め付けトルクによって軸力を導入したあと施工アンカーは、適切に締め付けトルクが管理されているため、ボルトを回転させるなどの締め付けトルクに影響を与えることがないように注意して検査が行われる必要がある。

## 8章 報告

検査結果を検査調書に取りまとめて、次の事項が報告されなければならない。

- 1) 検査結果
  - ・あと施工アンカー及び削孔形状
  - ・あと施工アンカーの健全性
- 2) 検査条件
  - ・使用した予備情報
  - ・検査条件の詳細
- 3) 検査精度の評価
- 4) 使用機器及び作業性
  - ・検査機器形状
  - ・作業時間
  - ・作業人数
- 5) 検査写真
  - ・作業状況外観
  - ・検査結果（出力画面等）

- 1) 検査結果は、検査調書にまとめられている内容が、実際に検査によって計測された結果から導き出されたものであることを証明できる資料と一緒に提出されている必要がある。
- 2) 測点ごとに検査条件が異なる場合は測点ごとに検査条件が示されている必要がある。
- 3) 検査結果の精度について、検査機器の検査原理や処理方法等の技術的根拠を示したうえで評価されている必要がある。
- 4) 作業に要した時間については、準備、検査、撤去に要した時間のおおよその平均値が報告されている必要がある。
- 5) 検査写真は測点ごとの検査状況と検査結果について撮影されている必要がある。

## 9章 性能評価

- (1) 事前調査、基本性能試験、適用性能試験の結果を基に、適用しようとする実際の検査対象と想定されるあと施工アンカーの不具合や現場環境、部材状態などの検査条件に照らして様々な角度から総合的に評価を行う。
- (2) 総合的な評価を行うにあたっては、少なくとも、(3)に示す正答率、空振率及び見逃し率について、それが生じた理由を計測原理の観点から考察する。また、5.1の6)及び7)の既往の知見との関係を明らかにする。
- (3) 正答率、空振率、見逃し率の定義は以下の通りとしてよい。
  - 1) 正答率：正答数/検査対象アンカー本数
  - 2) 空振率：空振数/検査対象アンカー本数
  - 3) 見逃し率：見逃し数/検査対象アンカー本数

(3) 「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。

「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。

「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。

---

国土技術政策総合研究所資料  
TECHNICAL NOTE of NILIM  
No. 884                      March 2017

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

---

本資料の転載・複写の問い合わせは  
〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地  
企画部研究評価・推進課    PHONE 029-864-2675