

ISSN 1346-7328
国総研資料 第 981 号
ISSN 0386-5878
土研資料 第 496 号
平成 29 年 7 月

国土技術政策総合研究所資料 共同研究報告書

土木研究所 共同研究報告書

Technical Note of National Institute for Land and Infrastructure Management, No.981
and
Cooperative Research Report of Public Works Research Institute, No.496
July 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に関する共同研究（Ⅰ）
非破壊検査・計測技術の道路橋等の点検要領への導入に関する共同研究
ー コンクリート構造物の内部損傷の詳細に関する
非破壊検査の適用性に関する研究 ー

Performance Validation Test Protocols on NDT Tools for
Road Bridge and Structures:
NDT Tools for Internal Defects of Concrete Structure

国土交通省 国土技術政策総合研究所
国立研究開発法人 土木研究所
東北大学
KEYTEC(株)
JFEシビル(株)
東京大学、(株)アキュセラ
佐藤工業(株)
(一社) 日本非破壊検査工業会
大和探査技術(株)
日本ヒルティ(株)
(株)国際建設技術研究所、非破壊検査(株)
(一財) iTECS技術協会
(株)ジャスト
(一社) 日本赤外線サーモグラフィ協会
(株)コンステック

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（Ⅰ）
非破壊検査・計測技術の道路橋等の点検要領への導入に関する共同研究
ー コンクリート構造物の内部損傷の詳細に関する
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
国立研究開発法人 土木研究所
東北大学
KEYTEC(株)
JFEシビル(株)
東京大学、(株)アキュセラ
佐藤工業(株)
(一社) 日本非破壊検査工業会
大和探査技術(株)
日本ヒルティ(株)
(株)国際建設技術研究所、非破壊検査(株)
(一財) iTECS 技術協会
(株)ジャスト
(一社) 日本赤外線サーモグラフィ協会
(株)コンステック

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を併用するものとされている。しかし、足場のない高橋脚、狹隘部、閉断面部材のように近接による点検が困難な場所も存在し、近接ができた場合にもコンクリート内部に生じている変状などは打音、触診のみでその状態を把握することが困難な場合もある。そこで、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、本研究はコンクリート構造物の内部損傷を対象とした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。主にプレストレストコンクリート構造物で想定される様々な内部損傷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、コンクリート構造物の内部損傷に対する非破壊検査技術に求める性能を考察するとともに、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：橋梁調査、非破壊検査、性能検証、コンクリート構造物

Performance Validation Test Protocols on NDT Tools for Road Bridge and Structures:
NDT Tools for Internal Defects of Concrete Structure

National Institute for Land and Infrastructure Management
Public Works Research Institute

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. However, there are places where it is difficult to inspect nearby, such as a narrow part or a closed section member, and further it is difficult to grasp the state of the deformation occurring inside the concrete. Accordingly, the use of non-destructive testing (NDT) tools is expected.

However, when understanding non-destructive testing results, 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 internal defects of concrete structure. Trial tests were conducted using newly developed test specimens to see if the developed performance evaluation protocol enables to ascertain the difference in the performance of different NDT tools as a function of different defects and types, depths, sizes, etc. Finally, the present cooperative study has proposed the proto-type of performance validation testing protocol for non-destructive testing tools for the internal defects of concrete structure.

Key Words : bridge inspection, non-destructive testing, validation, concrete structures

共同研究参加機関および担当者名簿

(平成 29 年 3 月現在 順不同)

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(～H26.3 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
狩野 武

道路構造物研究部 橋梁研究室(H26.4 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(H26.4 月～)

小原 誠

国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

木村 嘉富(～H26.3 月)
石田 雅博(H26.4 月～)
本間 英貴(～H26.6 月)
宇佐美 惣(H26.8 月～)
廣江 亜紀子

技術推進本部 先端技術チーム

藤野 健一
茂木 正晴
山口 崇
西山 章彦

東北大学

鈴木基行
内藤英樹

東京大学、(株)アキュセラ

上坂 充
土橋 克広

KEYTEC(株)

河合 秀之
三上 晴照

佐藤工業(株)

歌川 紀之
北川 真也

JFEシビル(株)

榊原 淳一
山尾 和行

(一社) 日本非破壊検査工業会
長岡 康之
田代 秀夫
三輪 秀雄 (株) アミック
高鍋 雅則 同上
松本 章 (株) ジャスコ
川名 純二 同上
井上 勝美 (株) 三造試験センター
山田 智章 同上
羽深 嘉郎 (株) K J T D
木村 彰一 日本アビオニクス(株)

(株) ジャスト
川越 洋樹
櫻井 智規

(一社) 日本赤外線サーモグラフィ協会
山越 孝太郎
高橋 勲

(株) コンステック
西川 忠
佐藤 大輔

大和探査技術(株)
内藤 好裕
山口 真佐爾

日本ヒルティ(株)
久富 真悟
櫻井 和人

(株) 国際建設技術研究所、非破壊検査(株)
森 雅司
藤原 規雄

(一財) i T E C S 技術協会
山下 健太郎
境 友昭

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
中邨 亮太

道路橋等の点検効率化等への計測・非破壊技術の適用性に関する共同研究（Ⅰ）
非破壊検査・計測技術の道路橋等の点検要領への導入に関する共同研究
ーコンクリート構造物の内部損傷の詳細に関する非破壊検査の適用性に関する研究ー

目 次

第1章	はじめに	1
第2章	研究の概要	
2.1	研究の流れ	5
2.2	研究の体制	7
2.3	非破壊検査機器の仕様	7
2.4	用語の定義	10
第3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）	
3.1	実橋レベルでの基礎的調査	13
3.1.1	概要	13
3.1.2	検証対象とした検査ケース	13
3.1.3	検査に用いる供試体	13
3.1.4	調査項目と着目点	27
3.1.5	試験実施条件	27
3.1.6	検査要領	27
3.1.7	解体調査による桁内部損傷の確認	31
3.1.8	検査結果の整理	33
3.1.9	まとめ	59
3.2	模擬損傷供試体を用いた基礎的調査	60
3.2.1	概要	60
3.2.2	試験対象とした検査ケース	60
3.2.3	検査に用いる供試体	60
3.2.4	調査項目と着目点	63
3.2.5	試験実施条件	63
3.2.6	検査要領	63
3.2.7	検査結果の整理	64
3.2.8	まとめ	88
3.3	非破壊検査技術の基礎的調査から得られた知見と課題	89
第4章	非破壊検査技術の性能評価手法の検討（提案と試行）	
4.1	非破壊検査技術の基本性能の検証試験	91

4.1.1	概要	91
4.1.2	検査対象とした検査ケース	91
4.1.3	検査に用いる供試体	91
4.1.4	調査項目と着目点	94
4.1.5	試験実施条件	94
4.1.6	検査要領	95
4.1.7	検査結果の整理	98
4.1.8	まとめ	147
4.2	非破壊検査技術の適用性能の検証試験	149
4.2.1	概要	149
4.2.2	検査対象とした検査ケース	149
4.2.3	検査に用いる供試体	149
4.2.4	調査項目と着目点	153
4.2.5	試験実施条件	153
4.2.6	検査要領	159
4.2.7	検査結果の整理	159
4.2.8	まとめ	173
4.3	非破壊検査技術の実橋レベルの検証試験	175
4.3.1	概要	175
4.3.2	検査対象とした検査ケース	175
4.3.3	検査に用いる供試体	175
 第5章 非破壊検査技術の性能評価試験法の提案に向けた考察		
5.1	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	185
5.2	非破壊検査技術の性能評価試験法の基本的な考え方	187
 第6章 まとめ		
6.1	非破壊検査技術の基礎的調査	191
6.2	非破壊検査技術の性能評価手法の検討	191
6.3	非破壊検査技術の性能評価試験法の確立に向けて	192
 付属資料		
1	提案する道路橋調査用非破壊検査技術の性能評価試験法	付-1
2	非破壊検査技術の性能評価試験法で用いる様式（案）	付-21
	(1) 事前調査票	
	(2) 検査調書	
	(3) 結果報告様式	

- 3 非破壊検査技術の基礎的調査で用いた様式 付-97
- (1) 検査調書
 - (2) 結果報告様式

第1章 はじめに

わが国では、高度経済成長期に整備してきた道路構造物の多くが老朽化の時期を迎えている（図-1.1.1¹⁾）。その中で橋梁については、図-1.1.2～1.1.5²⁾に示すとおり、15m以上のものだけでも全国で約1,061万km、約17万橋存在するが、その約8割の約13万橋は都道府県道や市町村道であり地方自治体が管理している。

こうした中、道路法施行規則の一部を改正する省令（平成26年国土交通省令第39号）及びトンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示（平成26年国土交通省令告示第426号）が平成26年3月31日に公布、同年7月1日より施行され、定期点検が実施されている。定期点検の手法については、知識と技能を有する技術者が直接近接目視や打音触診を行う点検が基本とされている。一方で道路橋の中には、狹隘部、閉断面部材内部といった、近接目視や打音触診による点検が難しい場合もある。また、近接目視が可能な部材等においても、コンクリート構造物の表面のひび割れから浸入した水によって内部の鋼材が腐食している場合等、コンクリート内部に発生している損傷の状態までは近接目視及び打音触診による点検では把握は困難な場合もある。このような背景から近年、道路橋の技術者による近接目視や打音触診を補う目的でコンクリート内部の損傷を確認するための非破壊検査技術の開発が進められている。非破壊検査の導入にあたっては、その非破壊検査技術の適用限界や評価精度あるいは結果の信頼性について事前に明らかにした上で、その適用可否を判断するとともに、検査結果の評価においては評価精度や結果の信頼性を適切に考慮する必要がある。各方面で検証や試行が進められている一方で、多様な技術に対して性能を尺度で測れる統一的手法は確立されておらず、特に評価項目や試験方法の整備が求められている。

そこで本共同研究では、非破壊検査技術の性能評価試験方法開発及び点検への導入のための研究を行った。

まず、既設の道路構造物のうち外観目視による確認が困難なコンクリート構造物の内部損傷を対象に様々な非破壊検査技術による検査を行った。そして、各非破壊検査技術の基本性能（検知可能な損傷種別、測定限界厚さ、測定限界深さ、損傷検知の位置精度、損傷の形状・寸法の検知精度）、適用性（計測時間、予備情報の有無が測定限界に与える影響）、作業性（計測条件の違いによる損傷の位置や形状・寸法の精度把握）などの性能を評価するために必要な項目を明らかにした。最終的にコンクリート構造物の内部損傷に対する非破壊検査技術に求める性能を考察するとともに、非破壊検査技術の性能評価試験法を提案した。

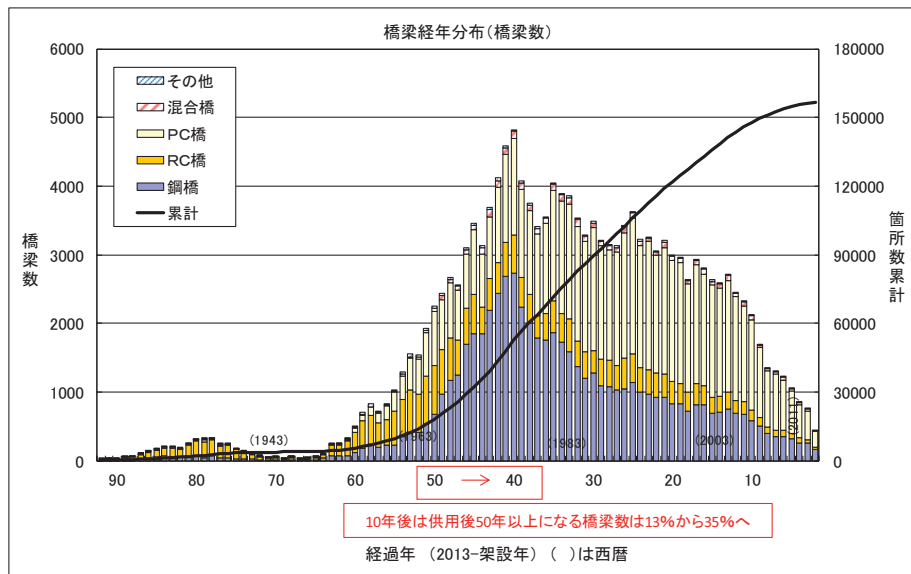
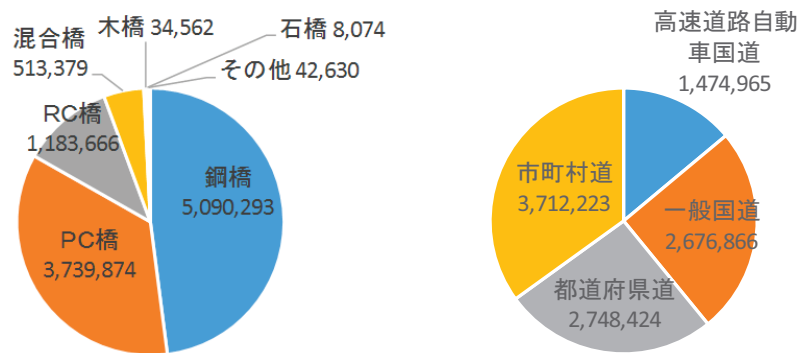


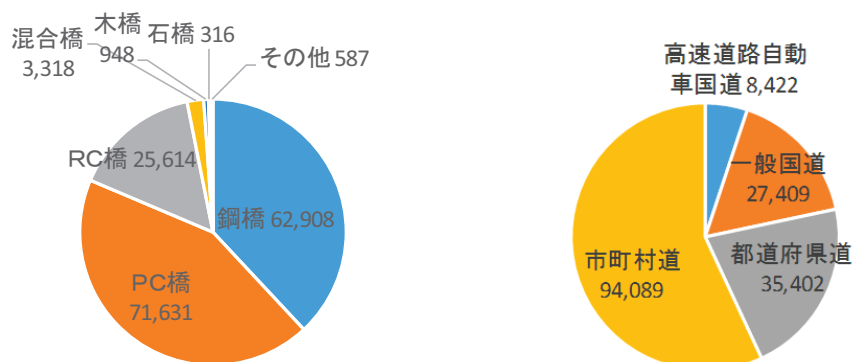
図-1.1.1 橋梁経年分布¹⁾



橋梁延長合計=10,612,478 km 【単位: km】

図-1.1.2 橋種別橋梁延長²⁾

図-1.1.3 道路種別別橋梁延長²⁾



橋梁箇所数合計=165,322 箇所 【単位: 箇所】

図-1.1.4 橋種別橋梁箇所数²⁾

図-1.1.5 道路種別別橋梁箇所数²⁾

【第 1 章 参考文献】

- 1) 国土交通省道路局監修「道路統計年報 2013」表 40
- 2) 玉越隆史、横井芳輝：平成 25 年度道路構造物に関する基本データ集、国土技術政策総合研究所資料第 822 号、2015.1

第2章 研究の概要

2.1 研究の流れ

本研究では、まずコンクリート道路橋を想定して、橋梁の撤去桁から作製した実損傷供試体と内部損傷を人工的に内包して作製した模擬損傷供試体に対して内部損傷の検出方法（計測原理や評価メカニズム）や構成機器等の条件が異なる複数の検査機器を用いて非破壊検査を実施した。その後、実損傷供試体については解体調査を実施し、解体調査で得られた内部損傷の位置や形状を把握し、模擬損傷供試体に内包された内部損傷の位置や形状と各非破壊検査結果との比較を行った。

比較では、内部損傷の種類、位置、形状、供試体寸法等の様々な条件が検査結果に及ぼす影響について整理し、検知可能な内部損傷の種類や、内部損傷位置や形状に対する検査精度、作業性など非破壊検査機器の検査性能について検討した。

さらに、それらの結果を踏まえて、検知対象や計測原理等が多様な非破壊検査機器の性能を普遍的に評価可能な評価手法を提案するために、形状や配筋が比較的単純な供試体から段階的に供試体の大きさや配筋条件等を複雑に変化させていく方法によって、非破壊機器の性能を適切に評価可能であるか検討した。

そして、非破壊検査技術の特性等を評価し、コンクリート構造物の内部損傷に対する非破壊検査技術に求める性能を考察するとともに、非破壊検査技術の性能評価試験法を提案した。

研究フローを図-2.1.1 に示す。

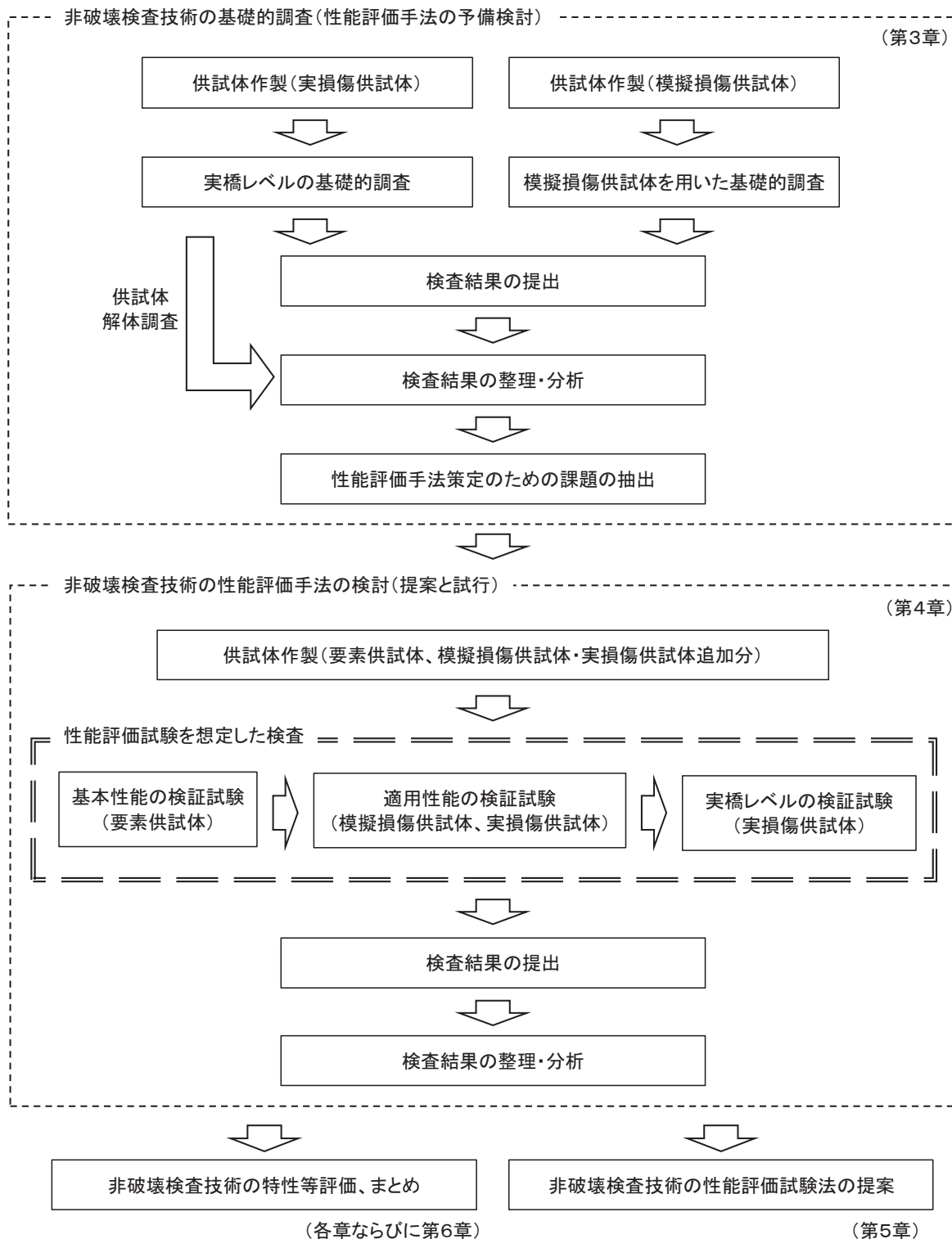
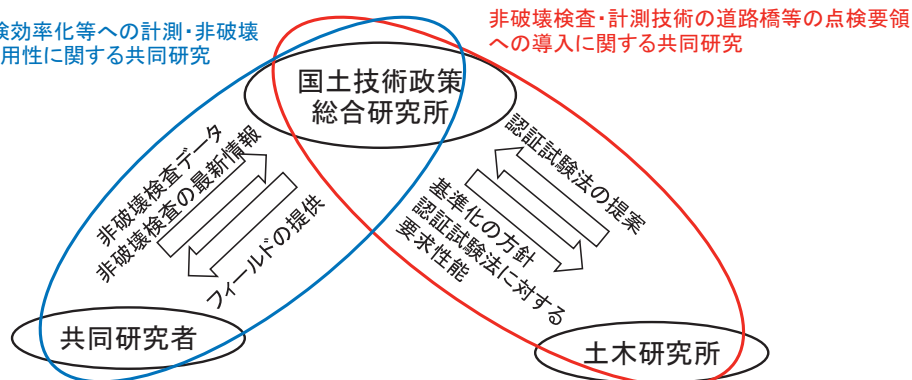


図-2.1.1 本研究の概要と報告書の構成

本研究は「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」の研究課題で共同研究者を公募し、申請のあった産学 19 者（13 グループ、全 22 技術：東北大学、KEYTEC(株)、JFEシビル(株)、東京大学、(株)アキュセラ、佐藤工業(株)、(一社)日本非破壊検査工業会（(株)アミック、(株)ジャスコ、(株)三造試験センター、(株)KJTD、日本アビオニクス(株)）、大和探査技術(株)、日本ヒルティ(株)、(株)国際建設技術研究所、非破壊検査(株)、(一財)ITECS技術協会、(株)ジャスト、(一社)日本赤外線サーモグラフィ協会、(株)コンステック）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。）、さらに、「非破壊検査・計測技術の道路橋等の点検要領への導入」の研究課題で土木研究所と国総研が連携して検討を行い成果に反映した。以下、本報告書では公募により参加した、19 者を指して共同研究者という。国総研が実際のコンクリート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、コンクリート構造物に対する非破壊検査技術に求める性能を考察し、土木研究所がコンクリート構造物を対象とした非破壊検査技術の性能評価試験法の素案を作成した。それに基づいて国総研が実損傷供試体、模擬損傷供試体、要素供試体を作製した。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・分析することで、非破壊検査技術の性能評価に必要な項目を整理した。以上の結果に基づき、国総研、土木研究所及び共同研究者（19 者）が協力し、性能評価試験法をとりまとめた。

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に関する共同研究  非破壊検査・計測技術の道路橋等の点検要領への導入に関する共同研究



2.3 非破壊検査機器の仕様

—7—

表-2.3.1 共同研究で用いた非破壊検査機器の仕様及び装置の特徴 (1/2)

No	検知対象とする事象 (検知可能と考えられる事象)	入力事象	出力事象	評価に使用する事象	適用部材、部位	適用範囲(制限)	配筋状態の影響	キャリブレーションの 必要性
1	空洞	超音波	複数のAスコープ波形を合成、受信の強弱を色具合で表示	超音波の反射を受信	-	雨天不可	-	必要
2	空洞、うき	マイクロ波	部材を伝達した反射波	-	厚さ300mm以内	温度、湿度、平たん性(木イールが回転すること)	-	必要
3	空洞、ジャンカ、グラウト充填不良、配筋状態、鉄筋かぶり	マイクロ波	三次元半透明映像でコンクリート中の状態を可視化	-	-	天候(雨以外)、温度、湿度状態	-	検査対象による
4	空洞、剥離	光・太陽エネルギーなどの励起エネルギー	表面の温度差、位相解析結果を画像化	熱の伝達の違いによる表面温度	多少の凹凸は許容できる	悪天候不可	なし	必要
5	空洞、ひび割れ、剥離	熱エネルギー	対象物表面にあらわれる温度分布	対象物の表面温度分布	-	雨天、降雪、強風は適さない、最高気温と最低気温の差が10℃以上が望ましい	-	必要
6	構造物の劣化度(亀裂、剥離等)	太陽光	放射温度分布画像	劣化部と健全部の放射温度の違い	-	晴天が望ましい、温度(-15～50℃)、乾燥していることが望ましい。	-	不要
7	空洞、異物等	電磁波	反射波を強度別に映像化	反射した電磁波	-	雨天不可、温度0～45℃、乾燥状態が望ましい、平たん性必要	-	不要
8	空洞、ひび割れ、うき、剥離	電磁波	鉄筋、内部損傷等による反射波	反射波の到達時間を距離に換算	平面	4mm以上の凹凸不可	有り	必要
9	鋼材の断面欠損	X線	部材を透過したX線	X線透過画像の濃淡	箱形主桁部、T桁主桁部、橋梁路面・歩道部からの橋桁部	部材厚さに制限あり 放射線管理区域の設定が必要	有り	必要
10	空洞、グラウト充填不良	X線	専用スキヤンで読み取り映像として出力	透過したX線をIP(イメージングプレート)に蓄積させ、X線の吸収量に応じて発光させる	-	雨天不可	-	必要
11	グラウト充填不良	X線	部材を透過したX線	透過したエックス線を濃度差として読み取る	平面、コンクリート版厚250mm以下	雨天に故障等の影響あり、表面の凹凸、角度は検査精度に影響あり	無し(ただし、鉄筋直下は検出困難)	必要(キャリブレーション方法を検討中)

※「-」は明確な回答がなかったもの

表-2.3.2 共同研究で用いた非破壊検査機器の仕様及び装置の特徴 (2/2)

No	検知対象とする事象 (検知可能と考えられる事象)	入力事象	出力事象	評価に使用する事象	適用部材、部位	適用範囲(制限)	配筋状態の影響	キャリアレーションの 必要性
12	グラウト充填不良 ※微破壊検査	圧縮空気	圧力の時間変化と検 量線を用いてグラウト 未充填体積を推定	圧縮空気を注入した時の圧力変 化	-	グラウト未充填部に雨水等 の液体が進入していないこ と	-	必要
13	空隙、ひび割れ、うき	局所振動	部材の共振周波数	部材の共振周波数	平板(床版)、梁、 柱、擁壁、側壁	厚さ:150mm 断面高さ:6700mm	無し	不要
14	空洞、うき、剥離	インパルスハン マによる打撃	コンクリート中を伝搬し て表面から生じる打撃 音	打撃力振幅値、打撃音振幅値	コンクリート構造物 全般	深さ25cm以内、精度が求め られる場合は20cm以内	無し	不要
15	空洞、ひび割れ、剥離	弾性波(疑似ラ ンダム波)	部材を伝搬した連続波 (弾性波)	速度と減衰率(発信音圧と受信音 圧の差分)	部材の両側(対面) にセンサーを設置で きる部位	表面が湿潤だとセンサー取 付困難	無し	不要
16	空洞、うき、剥離、ジャンカ	弾性波、超音波	放射した弾性波、超音 波、透過した超音波	-	-	水濡れ、結露は不可	-	必要
17	ひび割れ(深さ)	弾性波	打撃に対する振動応 答	加速度波形を積分し、速度波形と し、スペクトル分析	-	気温が5～45℃であること	-	不要
18	グラウト充填不良	弾性波 (打撃、火薬)	PC鋼材を伝搬した弾 性波	PC鋼材内部の弾性波の伝搬速 度	PC鋼材	PC鋼材が直線配置されて いる必要がある	有り	-
19	グラウト充填不良	衝撃による弾性 波	PC鋼材を伝搬した弾 性波の伝搬エネル ギーの減衰と伝搬速 度	弾性波をPC鋼材定着部近傍から 入力し、反対側の定着部で受信し た弾性波の波形を計測	-	平坦な接地面が必要	-	必要(PCケーブルの 長さによる)
20	グラウト充填不良	衝撃による弾性 波	弾性波波形をFFT解析 し、かぶり位置を判定	空隙部で多重反射した弾性波を 計測	-	平坦な接地面が必要	-	必要
21	プレストレス量	弾性波 (ハルス磁場)	コンクリート中を伝搬し た弾性波	弾性波を圧電素子センサを用い て変換した電圧	PC鋼材	雨天不可、温度0～40℃、 センサー取付け部の平坦な 性必要	-	必要
22	構造物の劣化度	弾性波(P波)	P波の速度分布	屈折波を測定	-	天気(雨天不可)、温度(0 ～45℃)	-	不要

※「-」は明確な回答がなかったもの

2.4 用語の定義

本報告書で用いる用語について以下のように定義する。

- ・ **非破壊検査技術**

コンクリート構造物に生じる内部損傷に対する非破壊検査を実施するための検査機器及びそれを用いた技術。単に検査技術とも呼ぶ。

- ・ **撤去桁**

老朽化や様々な要因等による劣化によって撤去または架け替えとなった橋梁から切り出した主桁の一部。本共同研究ではそのままあるいは一部加工することで実損傷供試体として使用する。

- ・ **実損傷供試体**

非破壊検査の検査対象とする供試体で、撤去桁そのものまたは一部加工等を行った供試体。

- ・ **模擬損傷供試体**

非破壊検査の検査対象とする供試体で、PC 橋の主桁やボックスカルバートを想定した形状とし、内部に人工的な損傷を模擬したコンクリート供試体。

- ・ **要素供試体**

非破壊検査の検査対象とする供試体で、複数の検査面に対して検査ができる形状とし、内部に人工的な損傷を模擬したコンクリート供試体。

- ・ **検知性能**

非破壊検査技術が探査または調査の対象とする内部損傷に対して、非破壊検査によって当該の内部損傷を検出することができる性能。

- ・ **検査精度**

非破壊検査によって得ることができる内部損傷の位置または内部損傷の形状に対する検査結果の誤差。誤差が小さければ検査精度は高く、誤差が大きければ検査精度は低いと判断する。

- ・ **作業性能**

非破壊検査の実施において、検査機器の大きさや作業時間、作業人員等の作業のしやすさに関する性能。

- ・ **検査性能**

非破壊検査技術の検知性能、検査精度、作業性能の総称。

- ・ **空洞**

内部損傷の種別の一つで、コンクリート中に大きな空隙が生じたもの。または、それを模擬したもの。本報告書では直径または1辺が5mm以上のものを指す。

内部損傷の種別の一つで、コンクリート中に平面的な空隙の層が生じている状態。または、それを模擬した状態。

内部損傷の種別の一つで、コンクリート表面またはコンクリート内部にひび割れが生じている状態。または、それを模擬した状態。

内部損傷の種別の一つで、シース内部に **PC** グラウトの未充填部分（空隙）が生じている状態。または、それを模擬した状態。シース内部に生じている空隙を指すため、コンクリート中に生じている空洞とは区別する。

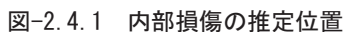
内部損傷の種別の一つで、PC 鋼材の腐食、それによる PC 鋼材の断面欠損、PC 鋼材の破断のいずれかまたは複合して生じている状態。模擬損傷供試体、要素供試体において腐食は PC 鋼材の断面積を減じることで損傷を模擬した。

内部損傷の種別の一つで、鉄筋の腐食、それによる鉄筋の断面欠損、鉄筋の破断のいずれかまたは複合して生じている状態。模擬損傷供試体、要素供試体において腐食は鉄筋の断面積を減じることで損傷を模擬した。

供試体の調査面ごとに原点を設定し、非破壊検査技術によって損傷が推定された位置を原点からの座標 **X**（横方向）、**Y**（縦方向）、**Z**（深さ方向）で表現したもの。

なお、内部損傷には立体的な大きさがあるが、内部損傷の推定位置は共同研究者が推定した内部損傷内に設定した任意の点を示したものである。

内部損傷の推定位置のイメージ図を図-2.4.1 に示す。



共同研究者が推定した内部損傷の位置が実際に生じている損傷位置とずれた位置であった場合は、実際に生じている内部損傷内の中心座標と推定した位置と共同研究者が推定した内部損傷の推定位置の差を X（横方向）、Y（縦方向）、Z（深さ方向）で示す。

内部損傷の推定位置の誤差のイメージ図を図-2.4.2 に示す。

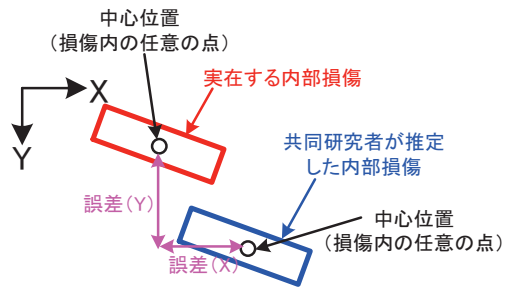


図-2.4.2 内部損傷推定位置の計測誤差

・ 内部損傷の推定形状

推定される内部損傷の形状を x （横方向）、 y （縦方向）、 z （深さ方向）の長さで表現したもの。内部損傷の推定形状のイメージ図を図-2.4.3 に示す。

斜め方向の損傷についても同様に x （横方向）、 y （縦方向）、 z （深さ方向）で形状を評価している。

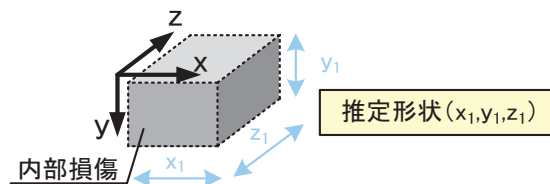


図-2.4.3 内部損傷の推定形状（その1）

なお、内部損傷の形状は x （横方向）、 y （縦方向）、 z （深さ方向）で評価しているため、図-2.4.4 に示したように、四角形の損傷、円形の損傷、斜め方向の形状の損傷は同じ推定形状として評価している。

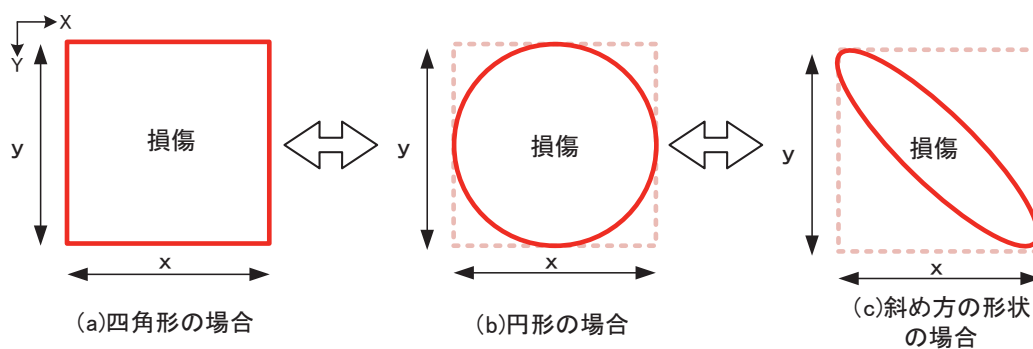


図-2.4.4 内部損傷の推定形状（その2）

第3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）

3.1 実橋レベルでの基礎的調査

3.1.1 概要

実橋における非破壊検査技術の検査性能を把握するために、国総研が準備した橋梁の架け替えによって撤去された撤去桁から作製した実損傷供試体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実橋を想定した検査における各検査技術の検査性能（検知可能な内部損傷の種類、検査精度、作業性能）について把握する。検査結果の整理では、非破壊検査後に共同研究者の内部損傷推定位置を解体調査することで実際の内部損傷位置を把握し、解体結果と検査結果を照合する。

3.1.2 調査対象とした検査ケース

実橋レベルでの基礎的調査では 9 体の実損傷供試体に対して非破壊検査を実施した。各検査技術によって得られた検査結果は「検査ケース」と呼ぶこととし、①～②の番号を付して整理した。検査対象毎の検査ケース数を表-3.1.1 に示す。各検査技術によって検知対象とする損傷の種類や適用範囲等（部材寸法や作業時間等）が異なるため、すべての供試体に対して検査することを求めておらず、検査ケース数が検査対象によって異なっている。22 技術中、実橋レベルでの基礎的調査を実施した技術は 20 技術である。検査は共同研究者がそれぞれ単独で行った。

表-3.1.1 実橋レベルでの基礎的調査の検査ケース数

検査対象	C橋 (C-1)	C橋 (C-2)	C橋 (C-3)	C橋 (C-4)	C橋 (C-5)	C橋 (C-6)	A橋	B橋	D橋
検査ケース数	12	10	13	17	11	15	17	15	15

3.1.3 検査に用いる供試体

(1) 実損傷供試体の作製

実橋レベルでの基礎的調査では、供試体の図面や内部損傷の種類等の予備情報を与えない状態で検査を実施する。検査には撤去桁から作製した実損傷供試体を使用した。撤去桁の諸元と作製した供試体数を表-3.1.2 に示す。実損傷供試体はA～D 橋の 4 橋から採取した撤去桁 9 部材（A 橋：1 部材、B 橋：1 部材、C 橋：6 部材、D 橋：1 部材）から作製した。撤去桁の形状を図-3.1.1～3.1.4、供試体設置状況を写真-3.1.1～3.1.4 に示す。

表-3.1.2 実橋レベルでの基礎的調査試験に使用した撤去桁の諸元と供試体数

橋梁名称	橋梁形式	支間長	完成年度	撤去時期	供試体長さ	作製数
A橋	PC単純ポストテン ションT桁橋	34.9m	1966年	2000年	約6m	1体
B橋	PC単純ポストテン ションT桁橋	28.05m	1966年	2010年	約5m	1体
C橋	PC単純ポストテン ションT桁橋	30.5m	1955年	2013年	約10m	6体
D橋	PC単純ポストテン ションT桁橋	39.5m	1965年	2004年	約6m	1体

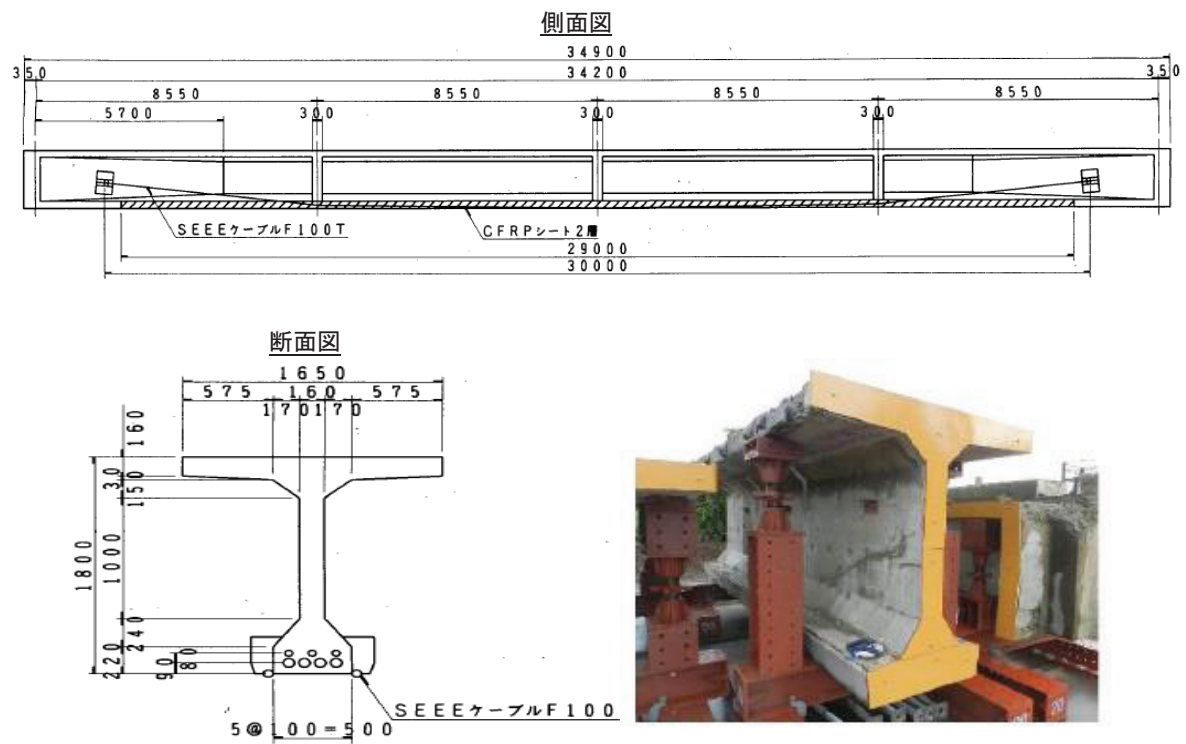


図-3.1.1 撤去桁の形状 (A 橋)

写真-3.1.1 供試体設置状況 (A 橋)

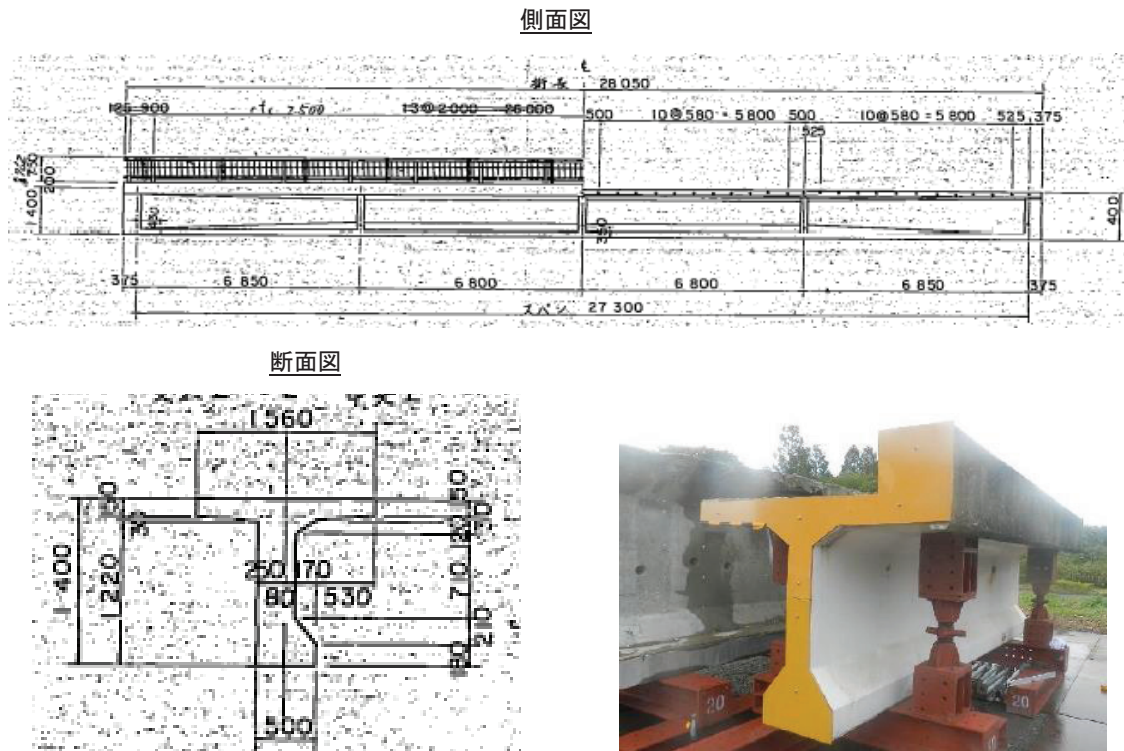
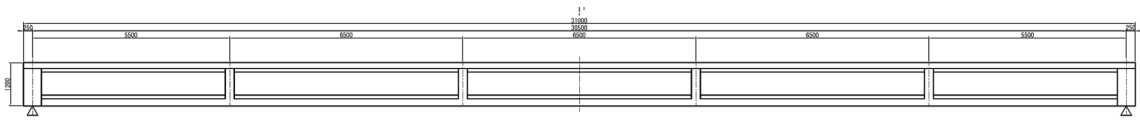


図-3.1.2 撤去桁の形状 (B 橋)

写真-3.1.2 供試体設置状況 (B 橋)

側面図



断面図

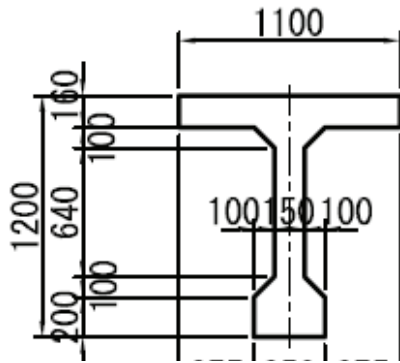
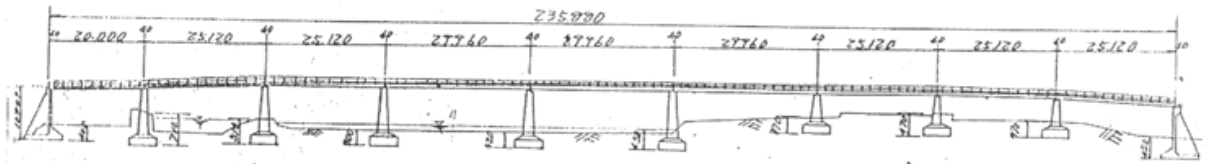


図-3.1.3 撤去桁の形状 (C 橋)

写真-3.1.3 供試体設置状況 (C 橋)

側面図



断面図

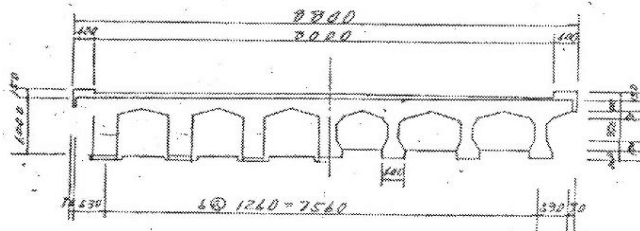


図-3.1.4 撤去桁の形状 (D 橋)

写真-3.1.4 供試体設置状況 (D 橋)

(2) 実損傷供試体の外観調査結果

実橋レベルでの基礎的調査は、コンクリート部材の内部損傷に対する非破壊検査技術の性能を測るものであるため、供試体の外観から把握できる損傷は対象としない。そこで、調査に先立ち、実損傷供試体の外観調査を実施した。外観調査は「橋梁定期点検要領（案）（国土交通省道路局 国道・防災課 H16）」に基づき実施した。

外観調査結果の概要を表-3.1.3、損傷図を図-3.1.5～3.1.13に示す。すべての実損傷供試体において、主桁部にひび割れ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰が生じている。また、地覆部や横桁においても主桁と同様にひび割れや鉄筋露出等が生じている。

表-3.1.3 外観調査結果の概要

橋梁名称	外観調査結果
A 橋	・主桁部にひび割れ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、うきが見られる。 ・地覆部にひび割れ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰が見られる。
B 橋	・主桁部にひび割れ、破断、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、その他、変形・欠損が見られる。
C 橋	・主桁部にひび割れ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、うきが見られる。 ・横桁部に剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰が見られる。 ・地覆部に剥離・鉄筋露出が見られる。
D 橋	・主桁部にひび割れ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、うきが見られる。 ・横桁部に剥離・鉄筋露出、その他が見られる。 ・地覆部にひび割れ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰が見られる。

※調査結果の変状の記載は本研究に関連する桁本体に生じている変状について記載し、舗装や付属物に関するものは除く

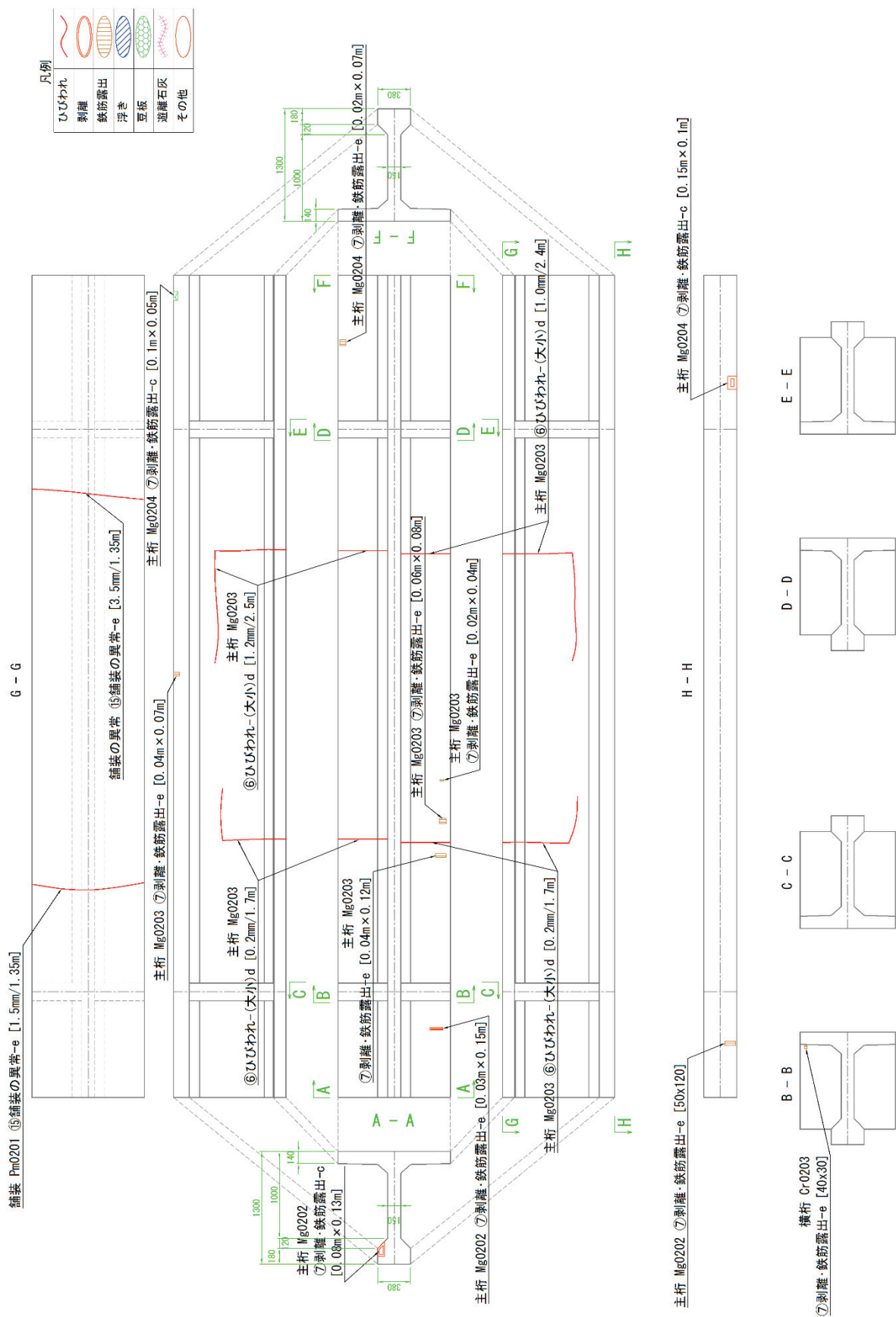


図-3.1.8 外観調査結果 (C橋 : C-2)



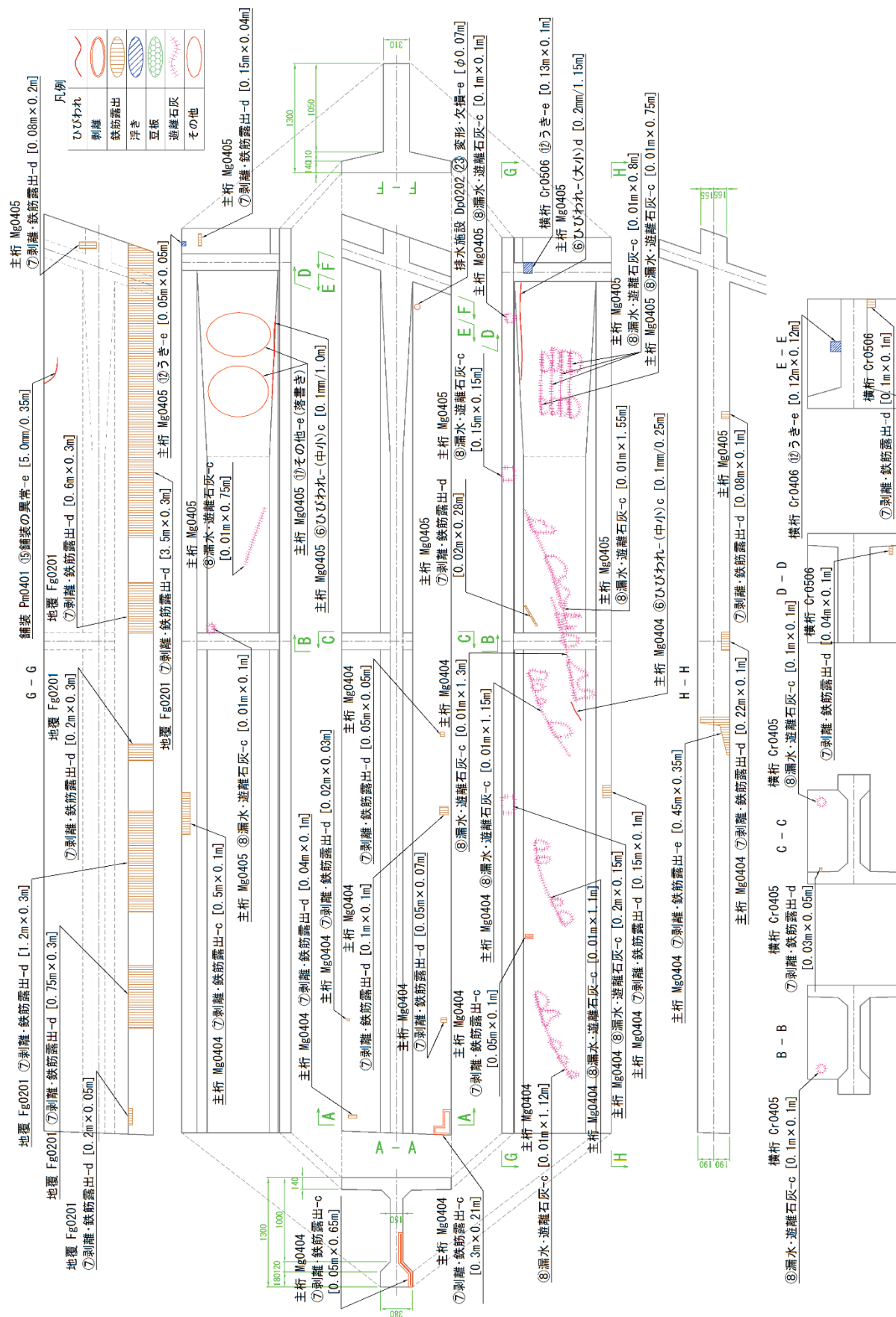


図-3.1.12 外観調査結果 (C橋: C-6)

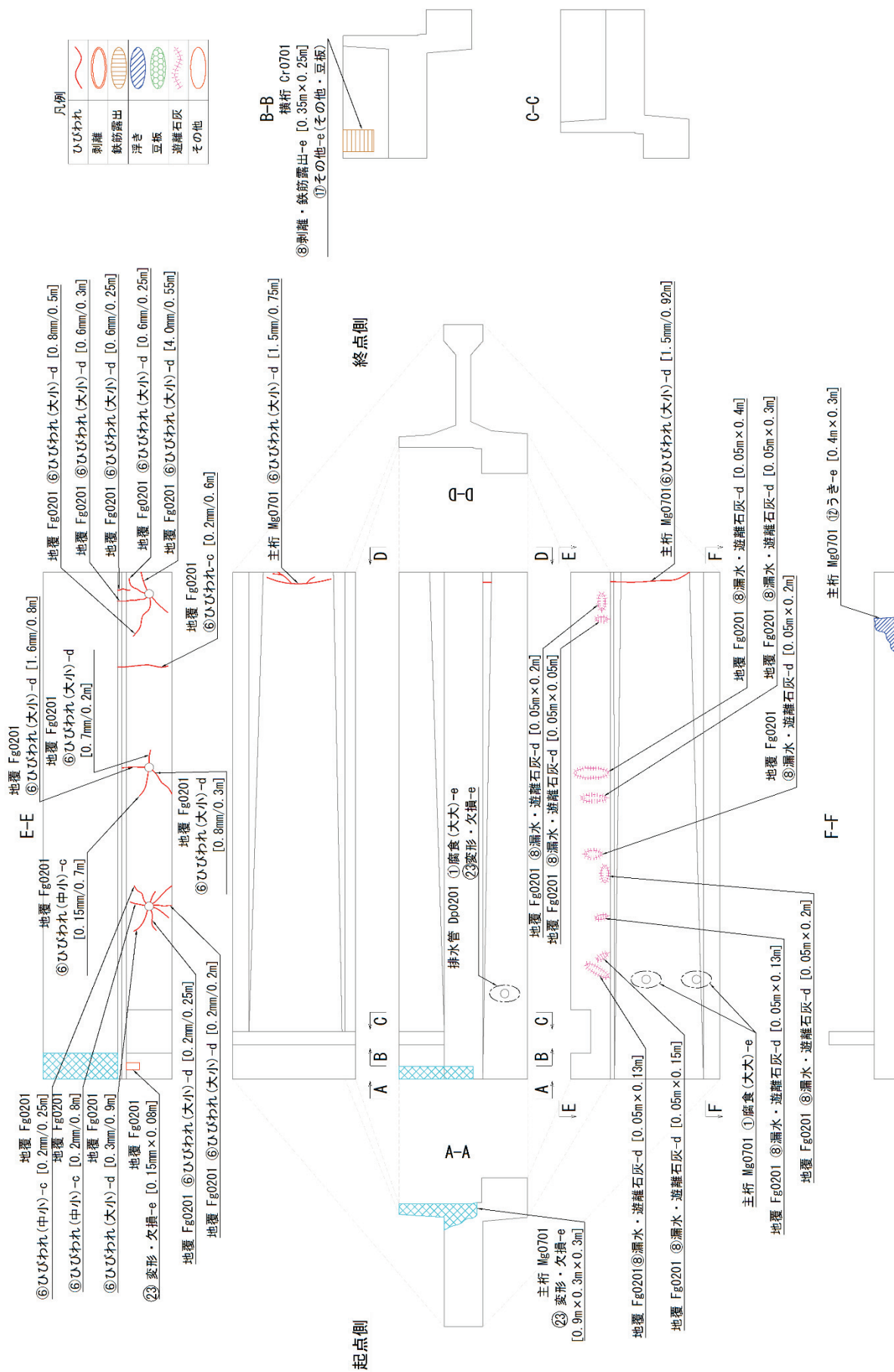


図-3.1.13 外観調査結果 (D 橋)

3.1.4 調査項目と着目点

調査項目と着目点は表-3.1.4 のとおりである。各非破壊検査技術のコンクリート構造物の詳細調査への適用性を評価するためには、評価に必要なデータが得られ、検査精度や作業性等が把握できるように適切な検査要領が用意される必要がある。本研究では、検査要領の確立も本研究における着目点の一つとした。検査要領書を試行しながら改善点や問題点について把握するとともに各検査技術の結果の分析において要領の不適切や不十分な点（例えば各検査方法や仕様等によって不公平性や評価レベルに差を生じるなど）が検査結果に影響していないか検討を行った。

表-3.1.4 調査項目と着目点

調査項目	着目点
検知可能な内部損傷に関する種類の性能評価方法	解体調査により検査結果を照合し、検知可能な内部損傷の種類について把握する。
内部損傷の位置に関する検査精度の性能評価方法	内部損傷の推定位置（X、Y、Z）を整理し、検知可能な方向や深さについての推定精度について把握する。
内部損傷の形状に関する検査精度の性能評価方法	内部損傷の推定形状（x、y、z）を整理し、検知可能な形状（平面的 or 立体的）についての推定精度について把握する。
各検査技術の作業性能に関する性能評価方法	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。
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する。

3.1.5 試験実施条件

本調査では、完成図等により基本情報を得てから点検を実施する通常の橋の点検ではなく、建設年度が古く、完成図等がない場合の橋梁を想定して、予備情報（図面）のない条件で検査を実施した。供試体設置場所は屋外で、検査時間は A 橋、B 橋、D 橋の 3 体に対して 3.5 時間（0.5 日）、C 橋 6 体に対して 7 時間（1 日）を見込み、複数の共同研究者が同時に検査を行わないようにした。また、供試体に跡が残るようなマーキングは禁止とした。実損傷供試体は橋梁から切断した撤去桁から作製しているため、切断面の状態から内部損傷を推定できてしまう可能性がある。そこで、実損傷供試体の内部損傷を推定できる可能性のある切断面には木製のカバーを設置した上で、検査対象面はすべての面とした。また、試験の公平性及び客観性を確保するため、試験開始時から終了時まで立会者を配置した。

3.1.6 検査要領

検査に参加した共同研究者には、検査要領書を事前に配布し、検査手順や検査項目、結果の調書への記載内容について周知した。この検査要領に従って各共同研究者が非破

壊検査を実施し、調書を作成した。以下に検査要領書の内容を示す。

(1) 検査手順

検査手順を図-3.1.14 に示す。検査は検査機器の準備から検査調書の提出までを一連の手順で行うこととした。

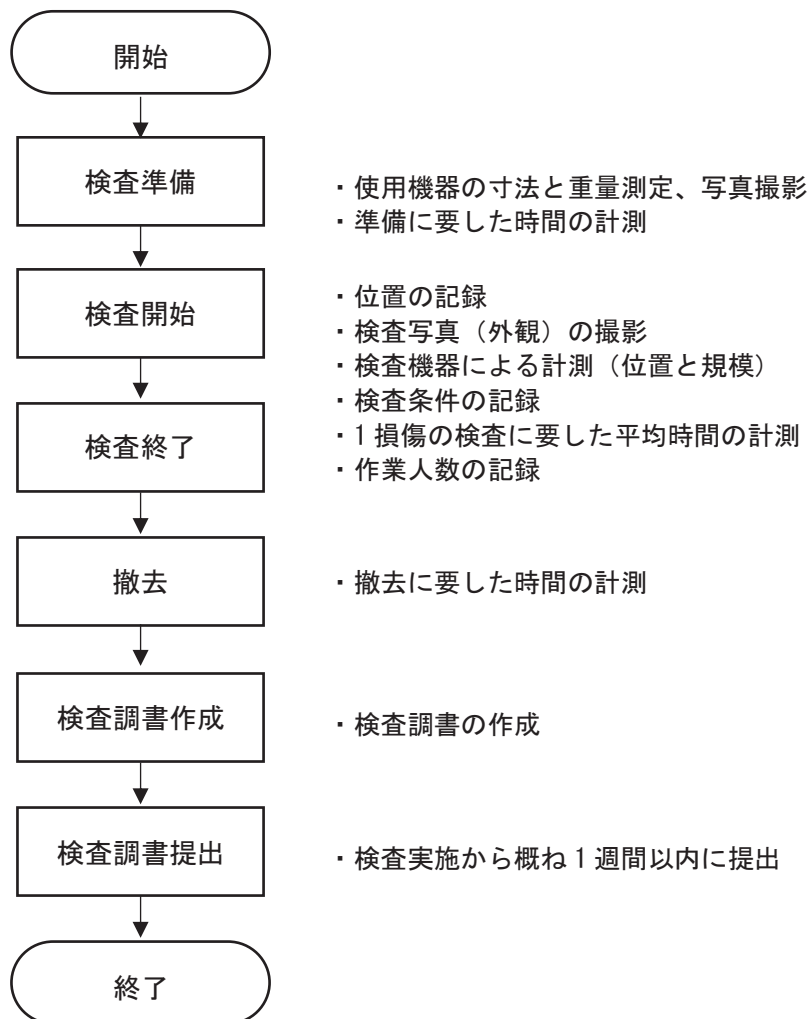


図-3.1.14 検査手順

(2) 確認項目

表-3.1.4 で整理した調査項目について根拠となるデータが得られるように表-3.1.5 の通り確認項目を設定した。

非破壊検査技術のほとんどは、様々なセンサー等で取得した計測データを様々なアルゴリズムのプログラムソフトで処理して異常の有無や変状の内容などの評価結果を出力するものである。しかし、その処理過程が適正なものであるかどうかを検査時に確認することは極めて困難であり、ブラックボックスとなるデータ処理段階を経て実際と乖離した不適切な評価結果が誤って出力されても、それを認識できないままとなる危険性も危惧される。そこで調査では、検査結果に加えて、検査条件や検査結果の根拠等も併せて確認するものとした。

表-3.1.5 検査要領書の確認項目

確認項目	内容
1) 鋼材配置・寸法	①PC鋼線の位置 ②PC鋼線（より線）の径 ③PC鋼線（より線）の本数 ④PC鋼線（素線）の径 ⑤PC鋼線（素線）の本数 ⑥鉄筋の位置 ⑦鉄筋の径
2) 鋼材の健全性	①PC鋼線の位置 ②PC鋼線の腐食状況 ③PC鋼線の断面欠損率 ④鉄筋の位置 ⑤鉄筋の腐食状況 ⑥鉄筋の断面欠損率
3) グラウト充填状態	①グラウト未充填（空洞）の位置 ②グラウト未充填（空洞）の寸法（縦、横、奥行き）
4) プレストレス量	①プレストレス量の位置 ②プレストレス量
5) コンクリートの充填不良	①コンクリート充填不良（空洞）の検査位置 ②コンクリート充填不良（空洞）の寸法（縦、横、奥行き）
6) コンクリートのうき、剥離、ひび割れ分布と深さ	①うき・剥離の位置 ②うき・剥離の寸法（縦、横、奥行き） ③ひび割れの延長 ④ひび割れの最大幅の検査位置 ⑤ひび割れの最大幅 ⑥ひび割れの最大深さの検査位置 ⑦ひび割れの最大深さ
7) 検査条件	①検査の条件を詳細に記載（様式自由） ②測点ごとに検査条件が異なる場合は、測点ごとに条件を記載 ③機器性能等の性能により測定が不可能な場合、その理由 ④計測結果のとりまとめに要した時間
8) 検査精度の評価	①検査の推定精度（誤差）についての自社評価と根拠について記載
9) 使用機器及び作業性	①使用機器の諸元 ②使用機器の写真 ③作業性のうち、準備、検査、撤去に要したおおよその平均時間

(3) 検査調書

検査調書は下記の 1)～6)について作成するものとした。

- 1)内部損傷位置図
- 2)検査写真
- 3)検査結果
 - a. 鋼材配置・寸法
 - b. 鉄筋配置図及び PC 鋼材配置図
 - c. 鋼材の健全性
 - d. プレストレス量
 - e. グラウト充填状況
 - f. コンクリート充填不良
 - g. コンクリートのうき、はくり、ひびわれ分布と深さ
- 4)検査条件
- 5)検査精度の評価
- 6)使用機器及び作業性

1)では、検査対象供試体の展開図を示し、検査によって内部損傷が確認された位置を図示することを求めた。2)では、データの改ざんや不正に対する一定の予防となることも期待し、また、データの保存も兼ねて測点毎の計測状況と計測結果の写真（機器の計測画面または計測後解析した結果のスクリーンショット等）を一組として掲載することを求めた。3)では、表-3.1.5 で定めた確認項目のうち、各非破壊検査技術が検査の対象とする内部損傷について検査結果の報告を求めた。4)では、検査を実施した時の検査条件（使用機器の設定値等）を具体的に示すことを求めた。5)では、検査結果に対して、使用した検査機器の計測原理等を根拠とした検査精度の自己評価を実施することを求めた。6)では、検査に使用した検査機器、使用機器の準備、撤去に要した時間、1 損傷あたりの検査に要した平均時間、作業人員等について報告することを求めた。

(4) 結果の報告

結果の報告は検査調書の提出をもって行うこととし、検査終了後概ね 1 週間以内に提出を求めた。

3.1.7 解体調査による桁内部損傷の確認

実損傷供試体は撤去桁から作製したものであるため、実際のどのような内部損傷が生じているのか不明である。そこで、共同研究者による検査結果と比較するため、非破壊検査終了後に実損傷供試体の解体調査を実施した。解体調査はコア採取(φ50mm 程度)や横断方向への桁断面切断(約 1~3m)によって行った。なお、回答のあったすべての位置に対してコア採取や断面切断を行うことは難しいため、解体調査を実施する前に外観調査の結果、共同研究者による非破壊検査結果及び第三者による非破壊検査も踏まえ具体的な解体位置を決定した。

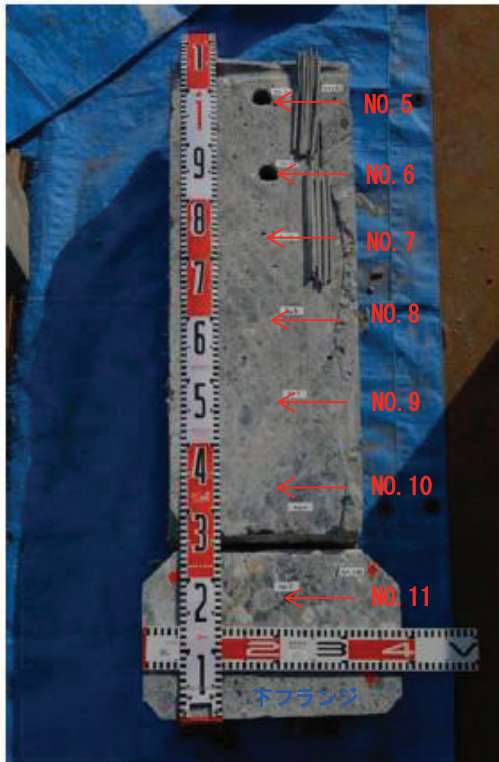
検査は実損傷供試体 9 体に対して行ったが、外観調査及び非破壊検査結果からグラウト充填不良や空隙等の内部損傷が多くあると推定される C-4、C-6 について解体調査を実施することとした。C-1~C-3、C-5、A 橋、B 橋、D 橋については、今後も検査対象として活用することを想定し本調査で解体調査による結果の照合は行わなかった。

C-6 の解体調査結果について変状を確認した箇所の例を写真-3.1.5~3.1.8 に示す。写真-3.1.7 は写真-3.1.5 中に示したコア⑤の外観を示したものであり、写真-3.1.8 はそのコアを解体し、ケーブル NO.4 について取り出したものである。

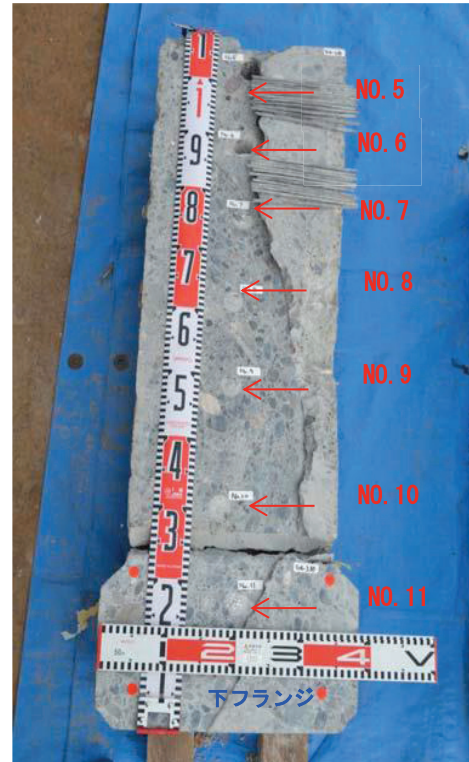


写真-3.1.5 解体調査状況 (C-6)

起 点



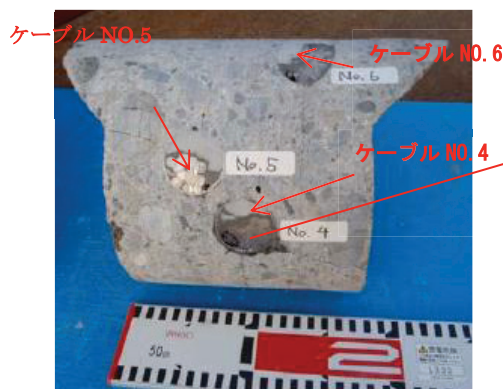
終 点



グラウト : PC ケーブル NO. 5, 6 は充填不足でその他は健全
P C 鋼材 : PC ケーブル NO. 5, 6 は発錆があるが断面欠損なく、その他は健全
鉄筋 : 確認できた鉄筋は全て健全

グラウト : PC ケーブル NO. 5, 6 は充填不足でその他は健全
P C 鋼材 : PC ケーブル NO. 5, 6 は発錆があるが断面欠損なく、その他は健全
鉄筋 : 確認できた鉄筋は全て健全

写真-3.1.6 切断後の桁断面 (C-6)



ケーブル NO. 4 (終点側) はグラウト充填不足があるが、その他は小さい気泡はあるものの健全

写真-3.1.7 コア外観 (コア⑤)



シース管 : 腐食の穴有り (直径約 8mm)
グラウト : 未充填
P C 鋼材 : 切断時に桁側シースに落ち込み一部のみ回収、表面錆のみ

写真-3.1.8 シース管取り出し状況 (ケーブル NO. 4)

※グラウト充填不足は一部充填されているものの空洞部分があるもの、グラウト未充填は、グラウトを行ったが何らかの理由でグラウトがまったく入っていなかったものを示す。

3.1.8 検査結果の整理

(1) 検査結果の評価方法

1) 用語の定義

- ①「検知対象」とは、検査機器の原理や仕様から検知できる（または検知できると想定される）内部損傷とした。
- ②「一致」とは、推定された内部損傷の種類と、解体調査結果によって得られた内部損傷の種類が一致した場合とした。
- ③「不一致」とは、推定された内部損傷の種類と、解体調査結果によって得られた内部損傷の種類が一致しなかった場合とした。
- ④「空振」とは、推定された位置に内部損傷が存在しなかった場合とした。
- ⑤「検知不可」とは、検知対象を推定できなかった場合とした。
- ⑥「正答率」とは、検査技術の内部損傷の検知性能を表す指標として、内部損傷の種類ごとに下式のように定義した。

正答率（損傷の種類ごと）

$$= \text{一致 (2)} / (\text{一致 (2)} + \text{不一致 (3)} + \text{空振数 (4)})$$

2) 計測誤差の評価

計測誤差は、損傷位置に関する誤差と損傷形状に関する誤差で評価した。

損傷位置の誤差は、内部損傷の判定が「一致」であった計測結果について算出した。実際の内部損傷の内部に、検査により推定された内部損傷の座標（X、Y、Z）（共同研究者が任意で設定した中心座標）が位置していた場合は誤差を（0、0、0）とした。ずれがあった座標においては、実際の内部損傷の中心座標と推定した内部損傷の座標から誤差を算出した。損傷位置の計測誤差算出方法を図-3.1.15 に示す。

損傷形状の誤差は、内部損傷の判定が「一致」であった計測結果について算出した。推定された内部損傷の形状寸法（x、y、z）と実際の内部損傷の形状寸法の差を誤差とした。

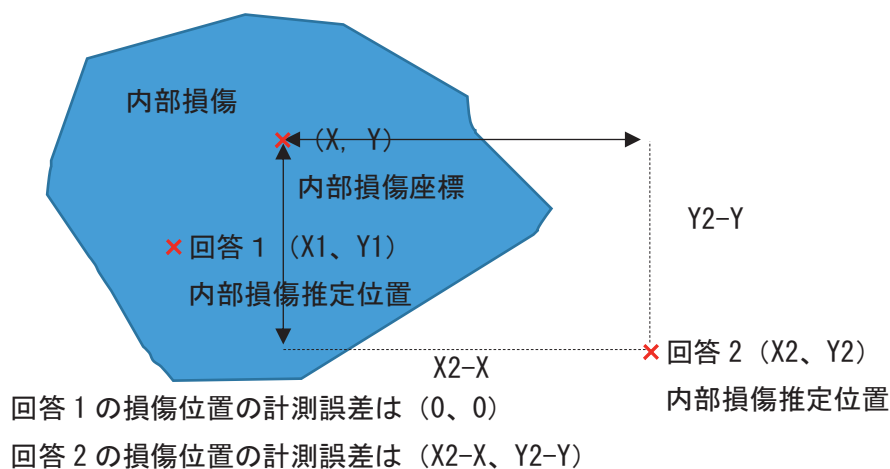


図-3.1.15 損傷位置の計測誤差算出方法の方法

3)作業性の評価

予備情報（図面）や内部損傷の種類等の予備情報がない状態で検査を行った場合の作業時間への影響、さらに作業時間が正答率に及ぼす影響について評価した。

4)作業要領の妥当性の評価

全ての検査終了後、共同研究者にアンケートとヒアリングを行い、本調査で用いた供試体、検査時間、検査手順、試験条件、結果の報告方法等について意見を収集し、作業要領の妥当性について評価した。なお、アンケートとヒアリングは、3.2 の検証で合わせて実施したため、作業要領の妥当性の評価は 3.2.7（6）に示す。

(2)内部損傷の推定結果

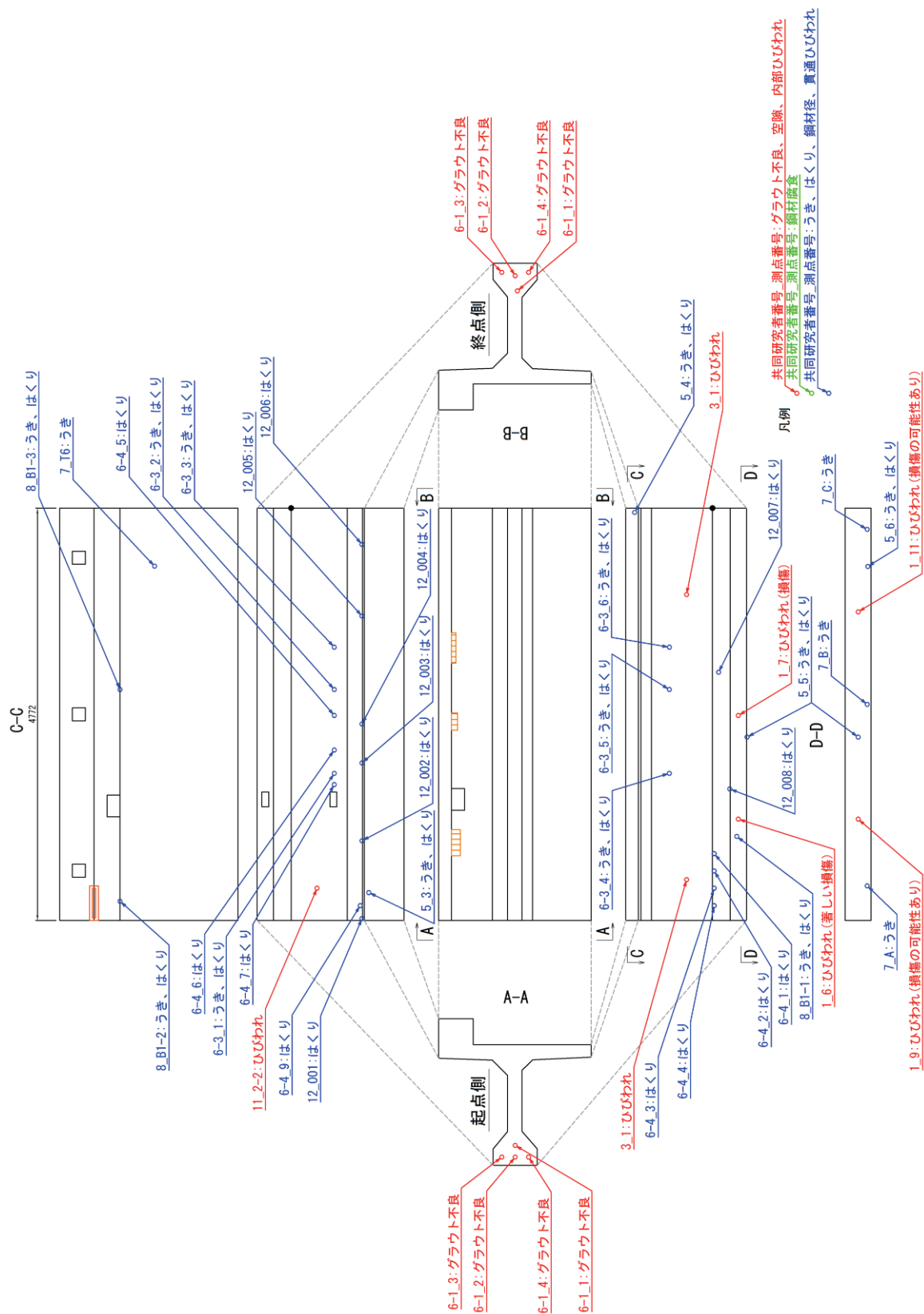
本調査で対象とした 9 体の実損傷供試体に対する内部損傷の推定箇所数を表-3.1.6、それらを展開図に図示したものを図-3.1.16～3.1.24 に示す。なお、図中の共同研究者番号は共同研究者が検査を実施した時に設定したものであり、本整理における検査ケースの番号とは一致していない。

- ・本調査では「PC 鋼材健全性（腐食、断面欠損、破断）」が推定された検査ケースはない。
- ・推定箇所数については検査ケースによって偏りがある。
- ・内部損傷が推定された検査ケースが多かったは、「うき」、「ひび割れ」、「グラウト充填不良」である。

表-3.1.6 検査ケース別の内部損傷の推定箇所数（全実損傷供試体）

内部損傷 検査ケース	空洞	うき	ひび割れ	グラウト 充填不良	PC鋼材健全性 (腐食、断面欠 損、破断)	鉄筋健全性 (腐食、断面欠 損、破断)	残存 プレスト レス量	内部欠陥 又は不明
①			18	1				
②								
③			20					
④								
⑤		10						
⑥				44				
⑦								
⑧			1	6		13		
⑨		8						
⑩		18						
⑪		5						
⑫		3	2	7				
⑬	4	12						
⑭								
⑮				2				
⑯								
⑰								
⑱	2			1				5
⑲			4	6				
⑳			1					
㉑		125						
㉒								

単位：箇所



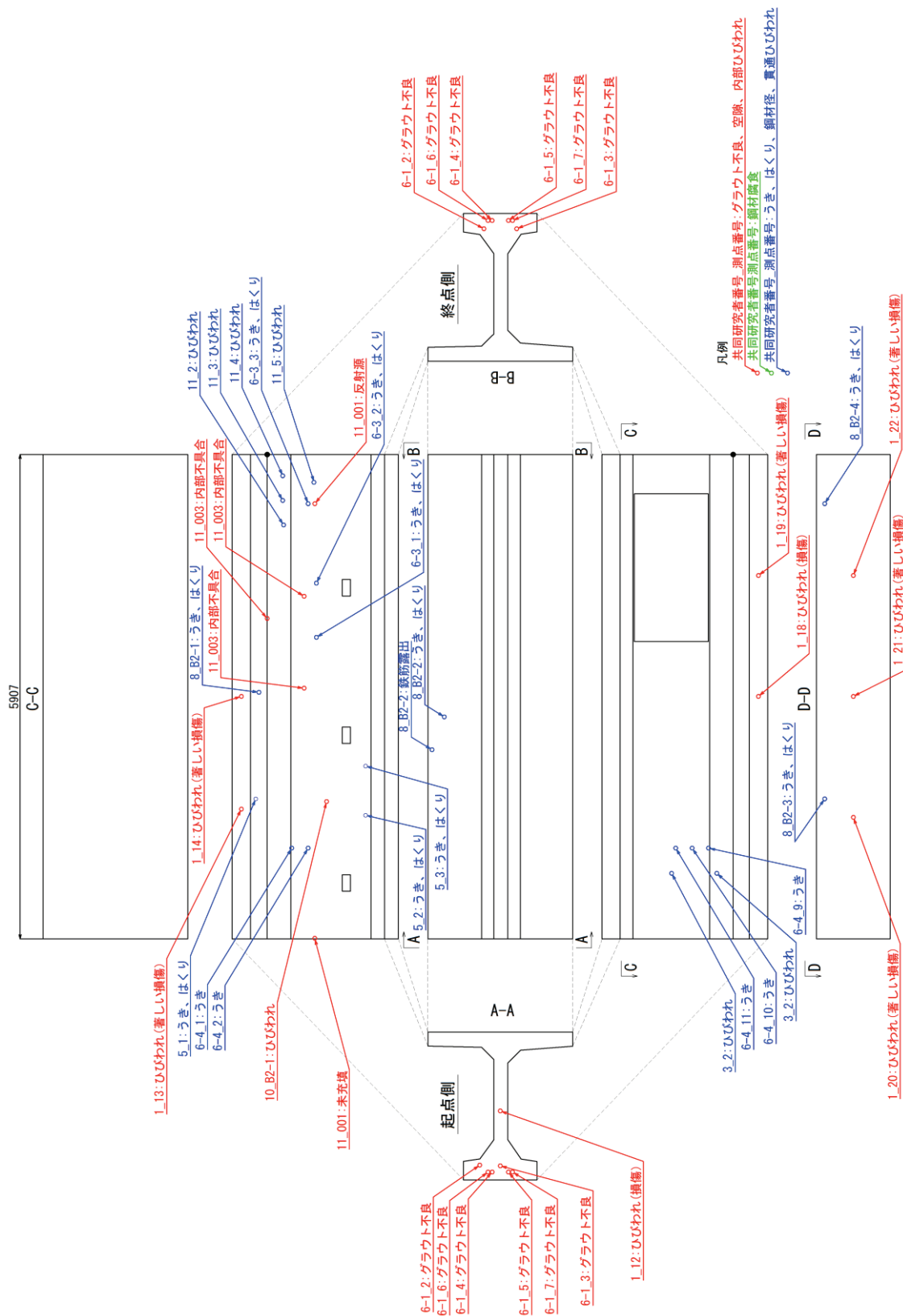
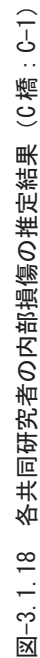


図-3.1.17 各共同研究者の内部損傷の推定結果 (B 橋)



G - G

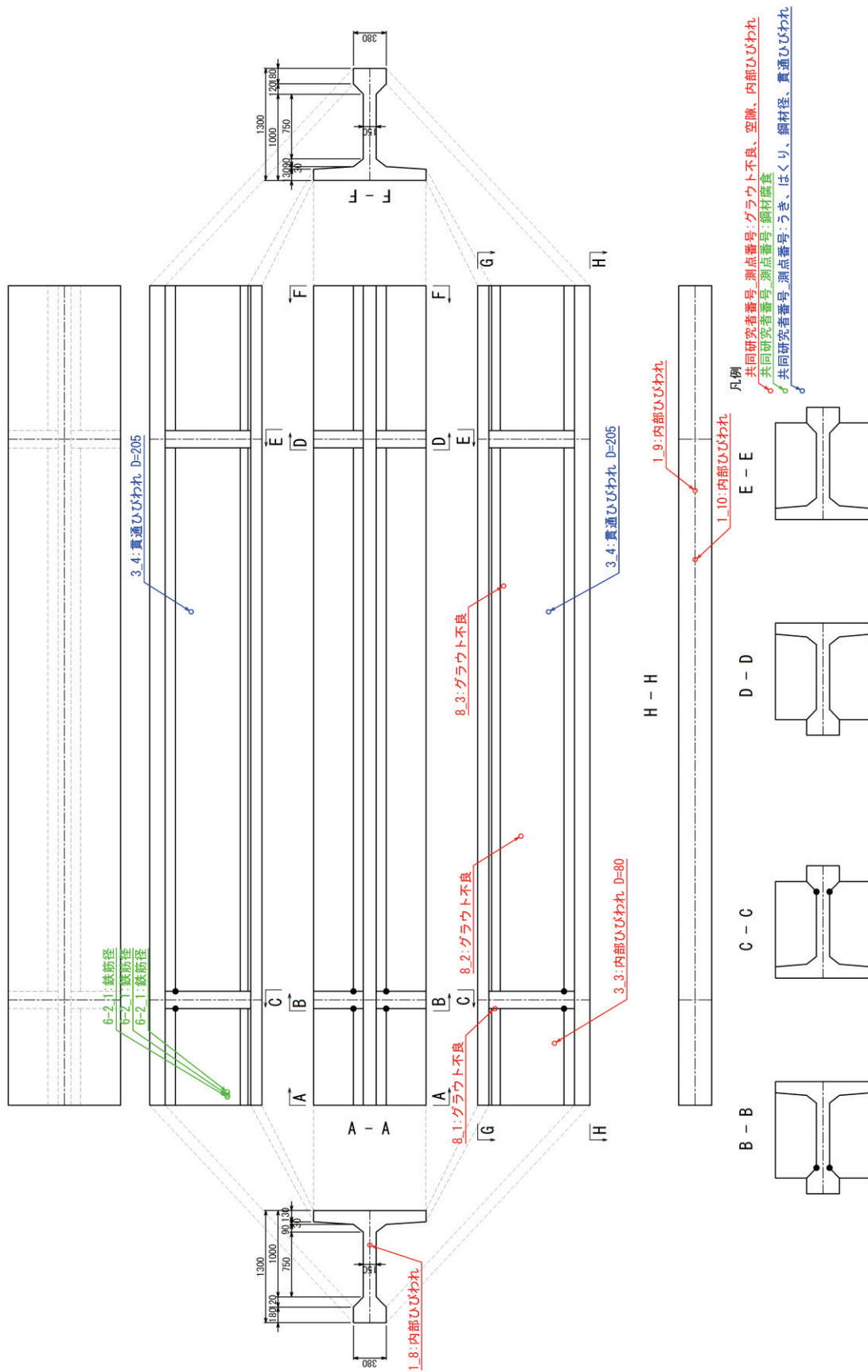


図-3.1.19 各共同研究者の内部損傷の推定結果 (C橋: C-2)

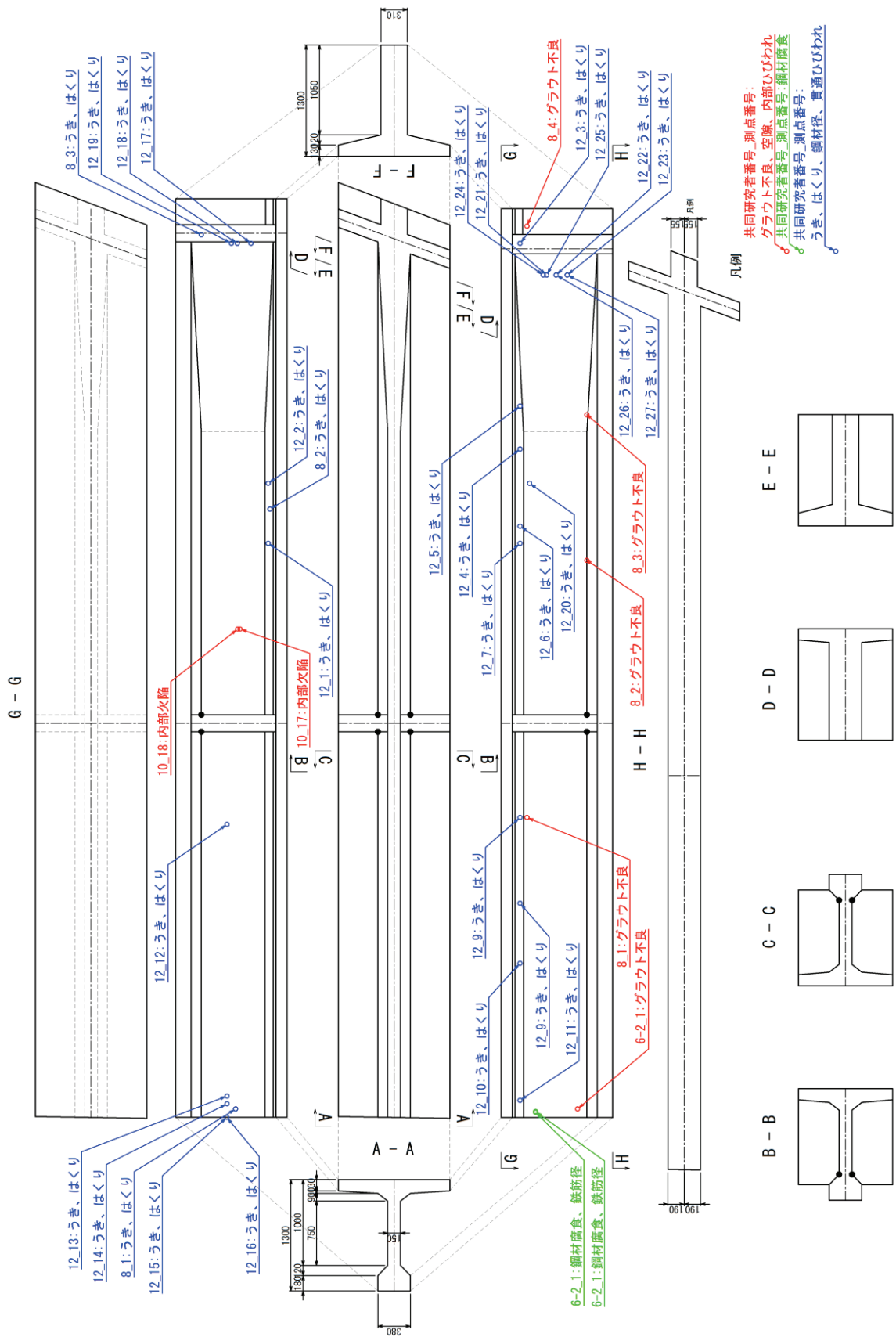
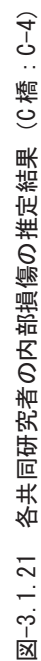
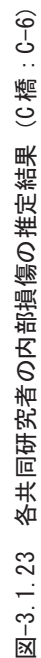


図-3.1.20 各共同研究者の内部損傷の推定結果 (C 橋 : C-3)







(3) 検知可能な内部損傷

検査技術によっては、複数の変状を検知することが可能であるが、構造物の診断のための調査に用いる場合、どの種類の損傷をどの程度の正答率や空振り率で推定することができるのかについて予め明確にしておくことが、適切な使用機器の選択や、検査結果の評価を行うためには重要である。そこで、各検査ケースと C-4、C-6 の解体調査結果を照合し、検知可能な内部損傷および正答率について整理した。まず、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。対比結果を表-3.1.7 に示す。次に、C-4、C-6 に対する内部損傷の正答率について整理した。正答率の整理結果を表-3.1.8、図-3.1.25 に示す。

1) 検知可能な内部損傷

- ・表 3.1.7 の通り、本調査で検査を実施した検査技術において、事前申告で検知可能とされた通りに内部損傷が検知されたのは 4 ケースである。
- ・事前申告通りに回答された内部損傷は「ひび割れ」と「グラウト充填不良」のみであり、「ひび割れ」は 1 ケース、「グラウト充填不良」は 3 ケースである。
- ・「PC 鋼材の健全性(腐食、断面欠損、破断)」はいずれの検査技術でも推定できておらず、「空洞」を推定した検査技術はあるものの、結果の評価は不一致である。

表-3.1.7 検査ケース別の検知可能な内部損傷の整理

内部損傷 検査ケース		空洞		うき		ひび割れ		グラウト 充填状態		PC鋼材の 健全性 (腐食、断面欠 損、破断)		鉄筋の 健全性 (腐食、断面欠 損、破断)		残存プレス トレス量		損傷なし 検査結果
		事前申告	検査結果	事前申告	検査結果	事前申告	検査結果	事前申告	検査結果	事前申告	検査結果	事前申告	検査結果	事前申告	検査結果	
①		○	×	○	×	○	×									
②		○	×	○	×	○	×									
③		○	△	○	×	○	◎									◇
④										○		○				
⑤		○	×	○	×											
⑥								○	×							
⑦														○	×	
⑧								○	◎			◎				◇
⑨		○		○		○		○								
⑩																
⑪		○	△	○	×			○	×			○	×			
⑫																
⑬																
⑭		○	×													
⑮								○	◎							
⑯								○								
⑰								○								
⑱		○	×	○	×											◇
⑲		○	×					○	◎							
⑳		○	×													
㉑		○	×	○	×											
㉒		○		○												

○：検知対象 ◎：一致 △：不一致
◇：空振 ×：検知不可
空欄：不参加または計測データなし

2)内部損傷の正答率

- ・表-3.1.8、図-3.1.25 に示す通り、内部損傷の種類の子答率は一子の場合で正答率が高い内部損傷があるものの、全体的内部損傷の種類の子答率は 25%であり、低い結果であった。
- ・ただし、「空洞」については、今回解体調査をした範囲では、最大約 15mm 程度の気泡が数箇所に確認されたのみであり、空洞と認められるほど大きなものは存在していない。
- ・「ひび割れ」について「一致」したのは 1 ケースであり、その 1 ケースにおける正答率は 57%である。
- ・「グラウト充填不良」について「一致」したのは 3 ケースであり、正答率は 75～100%である。対象橋梁の C 橋は古い PC 橋で PC 上縁定着部の構造のため、解体調査結果からもグラウト不良箇所が多く、確認した箇所によっては、全くグラウトが充填されていない箇所も存在していたため、検査が比較的容易であったと考えられる。
- ・「PC 鋼材健全性(腐食、断面欠損、破断)」について推定された検査ケースはない。その理由としては、PC 鋼材に大きな断面欠損を伴う腐食が発生していない可能性が挙げられる。解体調査において、実際にグラウト充填不良やシース管が腐食している箇所について PC 鋼線の断面減少率を測定した結果を表-3.1.9、写真-3.1.9 に示す。断面減少率が最も大きい PC 鋼材でも 1 本当たりの平均が 23%程度であり、断面減少と判定できずに「健全」と判定している可能性がある。
- ・「鉄筋健全性(腐食、断面欠損、破断)」については「一致」したのは 1 ケースであり、正答率は 75%である。ただし、表-3.1.9、写真-3.1.10 に示すように、解体調査で確認した箇所での鉄筋の断面減少率は最大で 7%程度とわずかであった。このような場合、検査結果が使用機器の計測原理や計測結果の処理方法に基づき正しく導き出された結果であることを確認する必要がある。そのため、測点毎の結果の記録(状況写真と結果の写真)を残すことは重要と言える。

以上の通り、実損傷供試体を用いた検査では、自己申告通りの内部損傷が推定されたのは 4 ケースと少なく、全体的内部損傷の種類の子答率も 25%と低かった。これは解体調査を行った範囲では「空洞」や「うき」がほとんど存在していなかったことが要因の一つと考えられるが、その他にも、予備情報(図面)がないことで鉄筋や PC 鋼材の配置状況がわからず、適切な検査位置を特定できなかつたり、鉄筋や PC 鋼材の影響を適切に考慮できなかつたりしたために、検査結果を正しく評価できなかつたり可能性も考えられる。

表-3.1.8 検査ケースの内部損傷正答率

内部損傷 検査ケース	空洞	うき	ひび割れ	グラウト 充填不良	PC鋼材の 健全性 (腐食、断面欠 損、破断)	鉄筋 健全性 (腐食、断面欠 損、破断)	残存プレスト レス量	全体
①								
②								
③			57% (4/7)					57% (4/7)
④								
⑤								
⑥				0% (0/12)				0% (0/12)
⑦								
⑧				75% (3/4)		75% (3/4)		75% (6/8)
⑨								
⑩		0% (0/3)						0% (0/3)
⑪		0% (0/1)						0% (0/1)
⑫								
⑬		0% (0/2)						0% (0/2)
⑭								
⑮				100% (1/1)				100% (1/1)
⑯								
⑰								
⑱	0% (0/2)							0% (0/2)
⑲				100% (6/6)				100% (6/6)
⑳								
㉑		0% (0/27)						0% (0/27)
㉒								
合計	25% (17/69)							

※カッコ内：内部損傷一致数/回答数

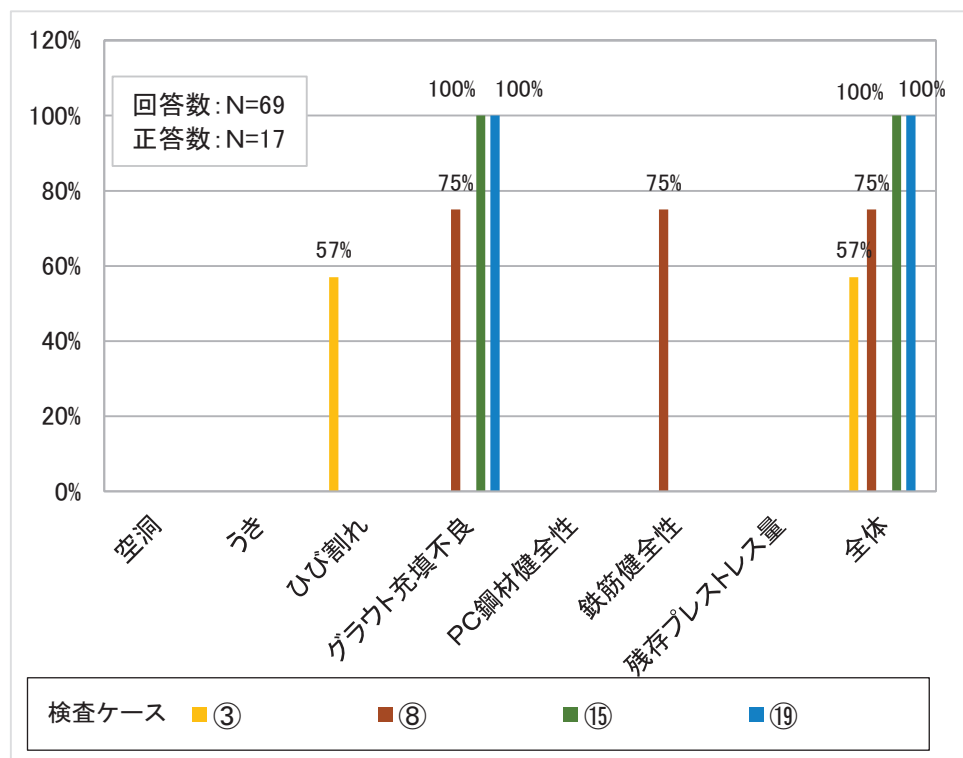


図-3.1.25 内部損傷の正答率

表-3.1.9 PC 鋼材及び鉄筋の断面減少率

桁番号	ケーブル No.	グラウト 充填の 有無	試料 No.	断面減少率(%)									
				1	2	3	4	5	6	7	最大値	最小値	平均
C-4 PC 鋼線	11 (コア⑥)	有	1	0.00	0.00	0.20	0.00	-	-	-	0.20	0.00	0.05
			2	0.00	0.20	0.00	0.20	-	-	-	0.20	0.00	0.10
			3	0.00	0.00	0.20	0.00	-	-	-	0.20	0.00	0.05
			4	0.00	0.20	0.00	0.00	-	-	-	0.20	0.00	0.05
			5	0.20	0.00	0.41	0.20	-	-	-	0.41	0.00	0.20
			6	0.00	0.00	0.41	0.00	-	-	-	0.41	0.00	0.10
			7	0.20	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.20	0.00	0.05
			8	0.61	0.20	0.20	0.00	-	-	-	0.61	0.00	0.25
			9	0.41	0.61	0.20	0.00	-	-	-	0.61	0.00	0.31
			10	0.20	0.00	0.41	0.00	-	-	-	0.41	0.00	0.15
			11	0.41	0.41	0.20	0.00	-	-	-	0.41	0.00	0.26
			12	0.41	0.20	0.61	0.00	-	-	-	0.61	0.00	0.31
C-6 PC 鋼線	4 (コア③)	有	1	0.20	0.41	0.20	0.00	-	-	-	0.41	0.00	0.20
			2	0.00	0.00	0.41	0.20	-	-	-	0.41	0.00	0.15
			3	0.00	0.41	0.41	0.00	-	-	-	0.41	0.00	0.21
			4	0.41	0.20	0.41	0.00	-	-	-	0.41	0.00	0.26
			5	0.41	0.00	0.41	0.00	-	-	-	0.41	0.00	0.21
			6	0.20	0.41	0.00	0.20	-	-	-	0.41	0.00	0.20
			7	0.00	0.00	0.00	0.20	-	-	-	0.20	0.00	0.05
			8	0.61	0.20	0.20	0.00	-	-	-	0.61	0.00	0.25
			9	0.00	0.00	0.20	0.00	-	-	-	0.20	0.00	0.05
			10	0.00	0.20	0.41	0.20	-	-	-	0.41	0.00	0.20
			11	0.61	0.41	0.61	0.20	-	-	-	0.61	0.20	0.46
			12	0.61	0.20	0.61	0.00	-	-	-	0.61	0.00	0.36
	4 (コア⑤)	無	1	0.00	0.20	0.20	0.00	-	-	-	0.20	0.00	0.10
			2	0.20	0.20	0.20	0.00	1.63	-	-	1.63	0.00	0.45
			3	0.61	0.00	0.00	0.81	0.81	1.83	-	1.83	0.00	0.68
			4	0.00	0.20	0.20	0.20	-	-	-	0.20	0.00	0.15
			5	0.00	2.39	0.20	0.00	1.83	-	-	2.39	0.00	0.88
			6	0.41	0.41	0.00	0.00	3.00	1.22	-	3.00	0.00	0.84
			7	0.61	1.02	0.41	0.41	1.63	0.61	2.04	2.04	0.41	0.96
			8	0.00	0.41	0.00	0.41	1.22	3.00	0.20	3.00	0.00	0.75
			9	0.00	0.20	0.00	0.00	-	-	-	0.20	0.00	0.05
			10	0.00	0.00	0.20	0.00	-	-	-	0.20	0.00	0.05
			11	0.20	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.20	0.00	0.05
			12	0.00	0.00	0.20	0.00	-	-	-	0.20	0.00	0.05
C-4 (主鉄筋)	-	-	1	3.06	2.48	2.25	2.59	-	-	-	3.06	2.25	2.60
			2	7.00	4.93	5.04	-	-	-	-	7.00	4.93	5.66
C-6 PC 鋼線	4	追加 試料	1	0.00	10.54	58.55	-	-	-	-	58.55	0.00	23.03
			2	5.96	6.31	4.18	3.97	0.00	-	-	6.31	0.00	4.08
			3	0.00	3.77	3.97	0.61	6.31	-	-	6.31	0.00	2.93



写真-3.1.9 C-6 供試体
PC 鋼線 (ケーブル NO. 4 試料 NO. 1)



写真-3.1.10 C-4 供試体
主鉄筋 (試料 NO. 2)

(4) 内部損傷の位置

非破壊検査では検査技術によって位置の特定が可能なもの、他の損傷の情報との相对比较によって定性的な評価を行うために正確な位置や範囲の推定が難しいものなど評価方法が様々である。そこで、内部損傷の位置に関する検査ケースを座標値（X、Y、Z）で整理し、解体調査で確認された内部損傷位置の座標と照合することで、検査精度について整理した。座標（X、Y、Z）は検査面に対して（横方向、縦方向、深さ方向）を意味する。内部損傷の判定が「一致」であった検査ケースの計測誤差について整理した。各検査ケースの計測誤差度数分布を表-3.1.10～3.1.12、図-3.1.26～3.1.28、計測誤差分布を図-3.1.29～3.1.32 に示す。なお、平面（XY）の計測誤差分布については、X 座標と Y 座標の両方の結果が得られているもののみ図示している。

- ・「ひび割れ」の計測誤差は X、Y 方向ともに誤差 0mm であり、Z 方向（深さ方向の中心位置）ではばらつきが大きい傾向である。
- ・「グラウト充填不良」の計測誤差は X、Y 方向ともに比較的ばらつきは小さい傾向であるが、Z 方向については検知できていない。
- ・「鉄筋健全性」の計測誤差は Y 方向で誤差は 0mm であり、X 方向ではばらつきが見られた。Z 方向については検知できていない。

表-3.1.10 ひび割れ位置の計測誤差度数分布

計測誤差(mm)	X	Y	Z
-100~-81	0	0	0
-80~-61	0	0	0
-60~-41	0	0	0
-40~-21	0	0	2
-20~-1	0	0	0
0	4	4	0
1~20	0	0	0
21~40	0	0	0
41~60	0	0	1
61~80	0	0	0
81~100	0	0	1

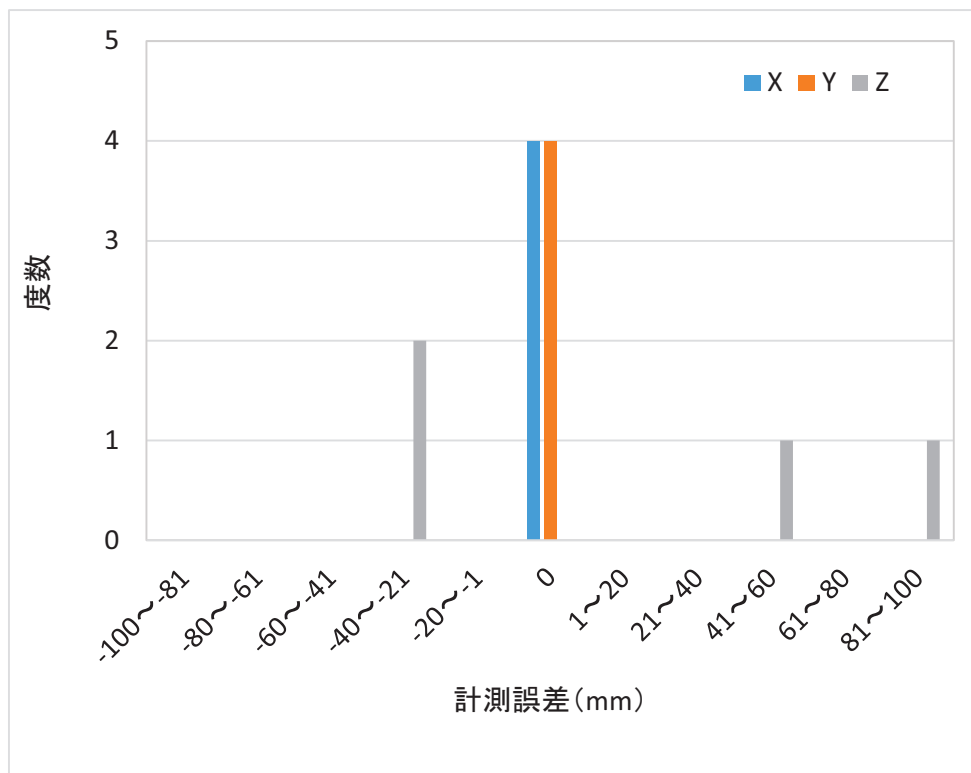


図-3.1.26 ひび割れ位置の計測誤差度数分布

表-3. 1. 11 グラウト充填不良位置の計測誤差度数分布

計測誤差(mm)	X	Y
-100~-81	0	0
-80~-61	0	0
-60~-41	0	1
-40~-21	0	1
-20~-1	1	1
0	9	5
1~20	0	0
21~40	0	0
41~60	0	0
61~80	0	1
81~100	0	1

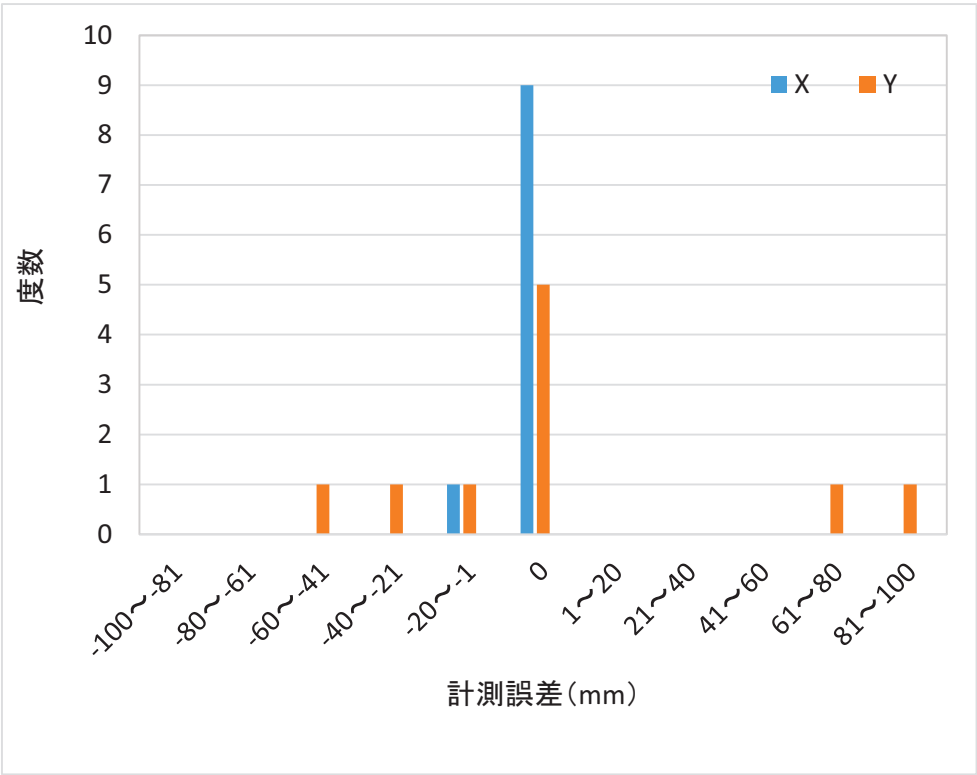


図-3. 1. 27 グラウト充填不良位置の計測誤差度数分布

表-3.1.12 鉄筋健全性(腐食、断面欠損、破断)位置の計測誤差度数分布

計測誤差(mm)	X	Y
-100~-81	0	0
-80~-61	2	0
-60~-41	2	0
-40~-21	0	0
-20~-1	0	0
0	2	6
1~20	0	0
21~40	0	0
41~60	0	0
61~80	0	0
81~100	0	0

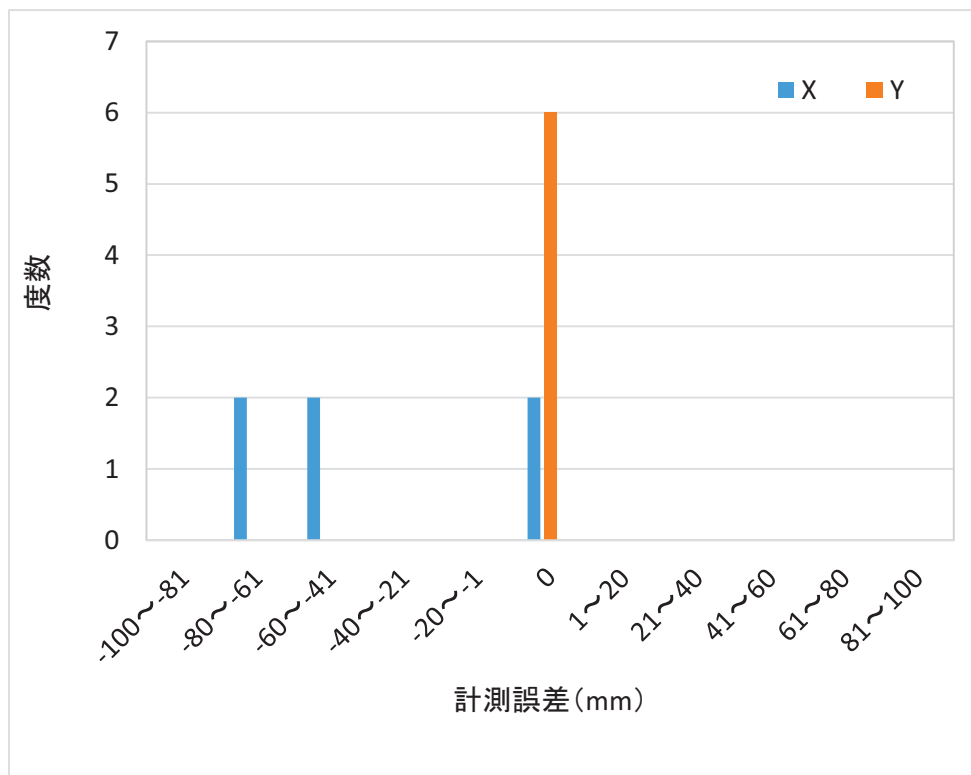


図-3.1.28 鉄筋健全性(腐食、断面欠損、破断)位置の計測誤差度数分布

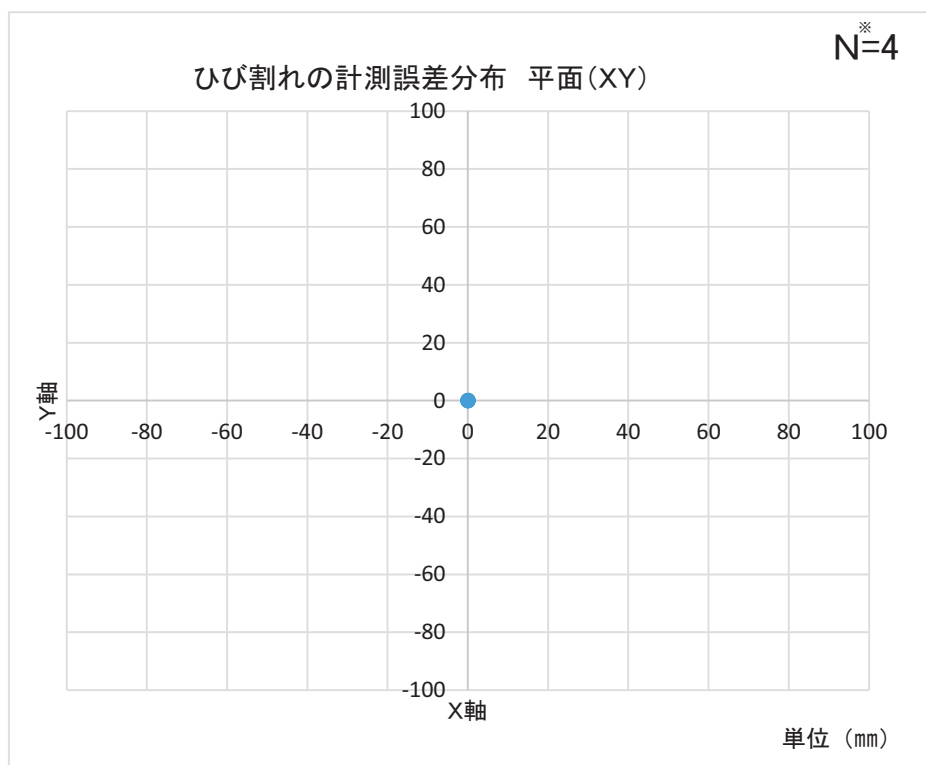


図-3. 1. 29 ひび割れ位置 計測誤差分布 平面 (XY)

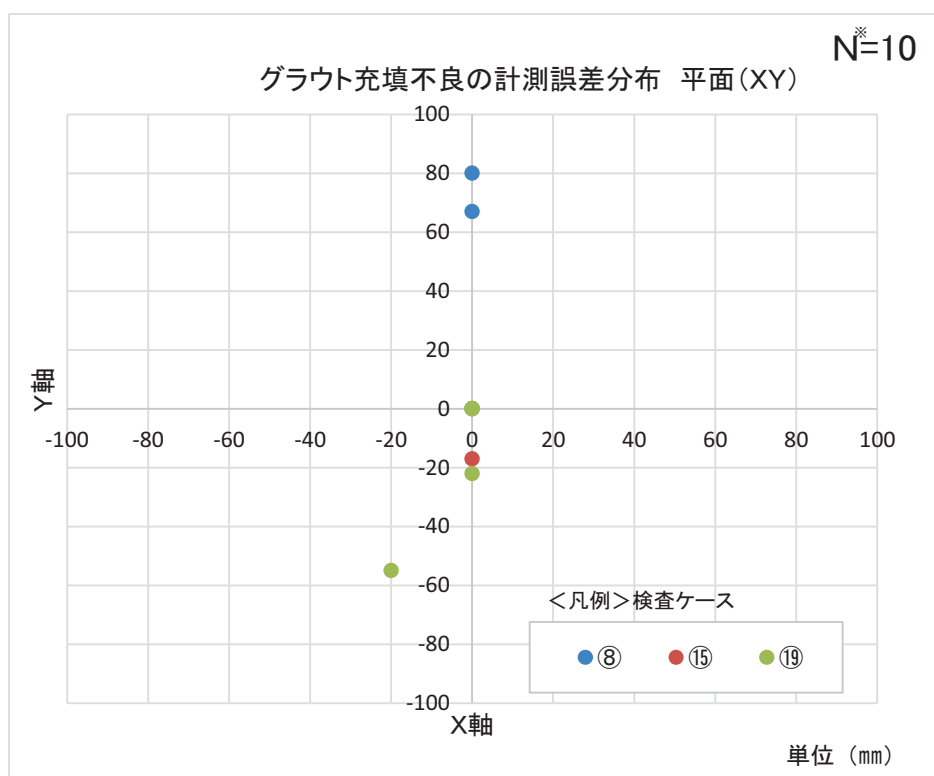


図-3. 1. 30 グラウト充填不良位置 計測誤差分布 平面 (XY)

※N はサンプル数（点が重なっている場合あり）

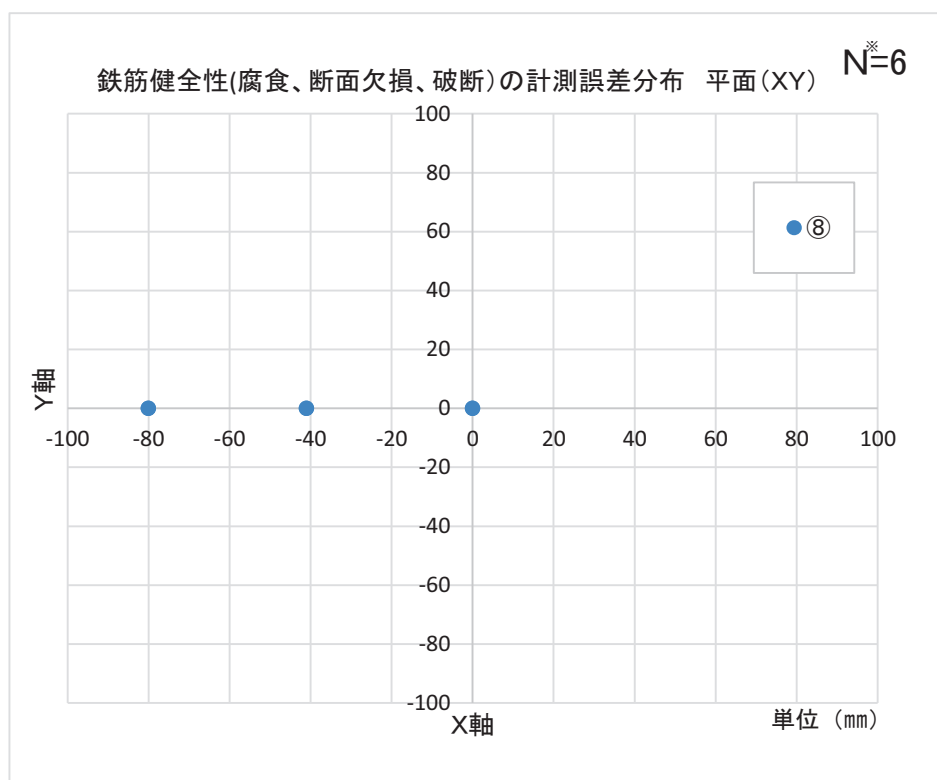


図-3.1.31 鉄筋健全性(腐食、断面欠損、破断)位置 計測誤差分布 平面(XY)

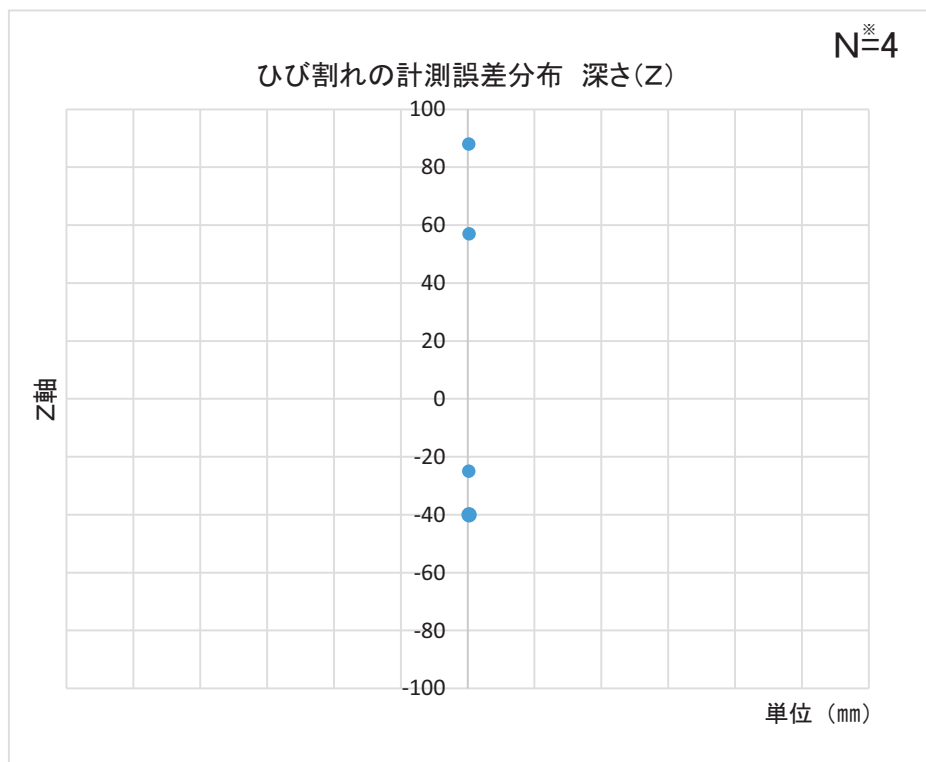


図-3.1.32 ひび割れ位置 計測誤差分布 深さ(Z)

※Nはサンプル数(点が重なっている場合あり)

(5) 内部損傷の形状

内部損傷の形状に関する検査ケースを寸法値（x、y、z）で整理し、解体調査で確認された内部損傷形状の座標と照合することで、検査精度について整理した。寸法値（x、y、z）は検査面に対して（横方向、縦方向、深さ方向）を意味する。内部損傷の判定が「一致」であった検査ケースの計測誤差について整理した。計測誤差度数分布を表-3.1.13、図-3.1.33、計測誤差分布を図-3.1.34 に示す。

- ・「グラウト充填不良」の y 方向の計測誤差は-20～40mm の範囲にありばらつきは小さい傾向である。

表-3.1.13 グラウト充填不良形状の計測誤差度数分布（y）

計測誤差(mm)	y
-100～-81	0
-80～-61	0
-60～-41	0
-40～-21	0
-20～-1	2
0	0
1～20	2
21～40	1
41～60	0
61～80	0
81～100	0

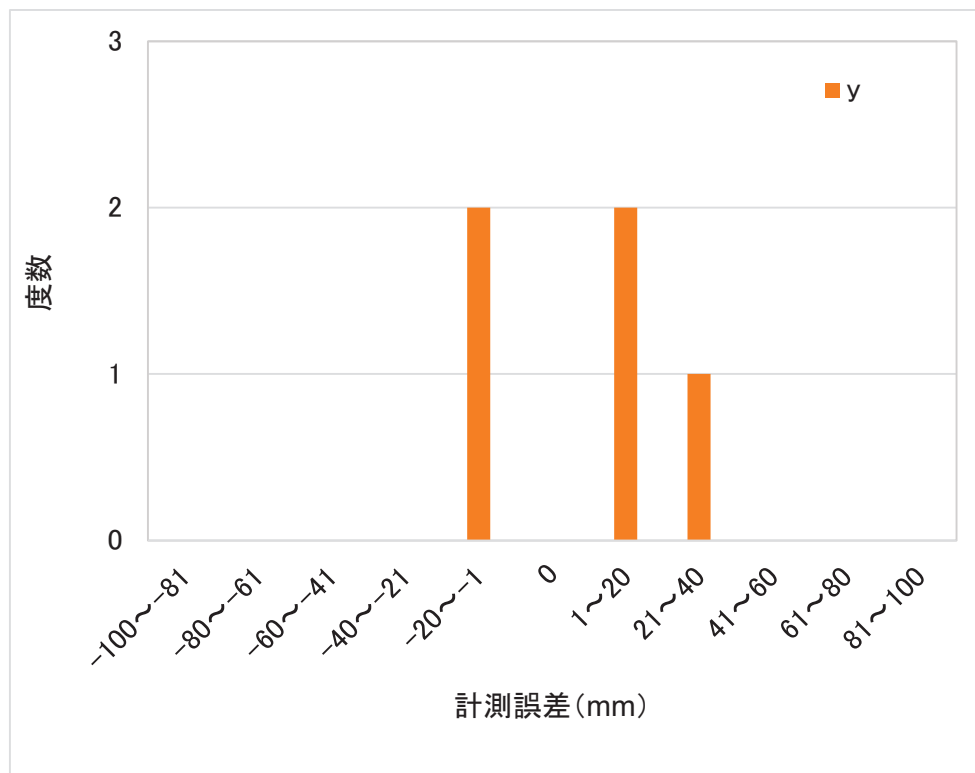


図-3.1.33 グラウト充填不良形状の計測誤差度数分布

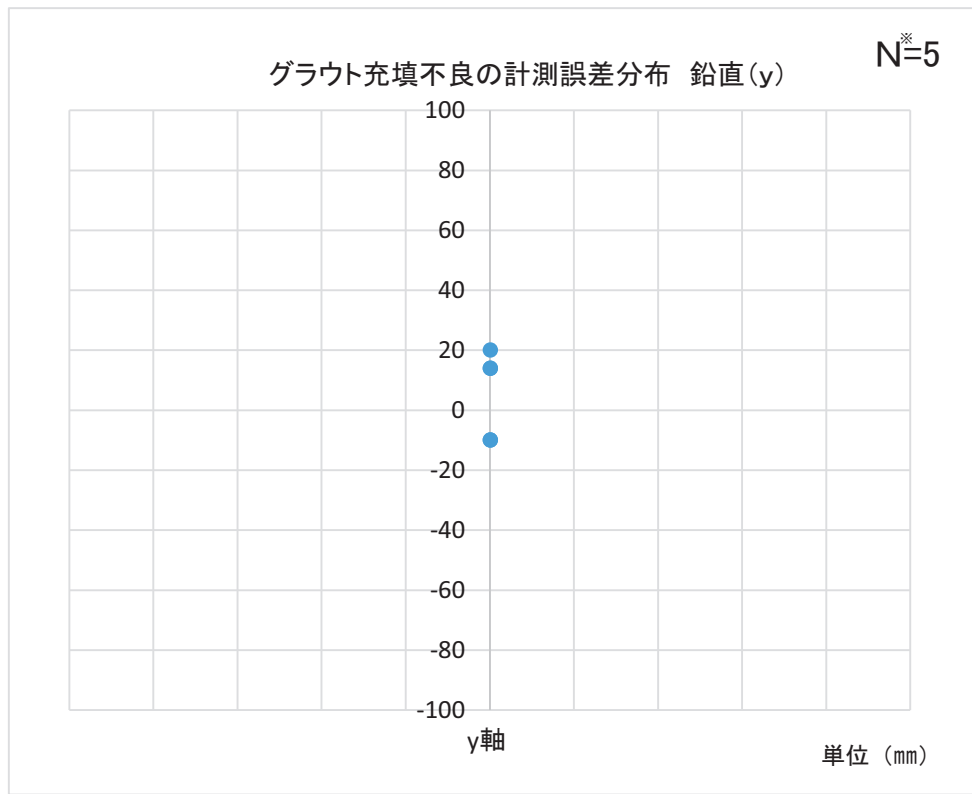


図-3.1.34 グラウト充填不良形状 計測誤差分布 縦方向 (y)

※N はサンプル数 (点が重なっている場合あり)

(6) 各検査技術の作業性能の把握

非破壊検査を活用する場合、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現地での調査計画を立てるうえで重要な要素である。そこで、各検査ケースの検査機器の情報（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-3.1.14、図-3.1.35 の通り整理した。また、各検査ケースの作業時間と内部損傷の正答率の関係について、図-3.1.36 の通り整理した。

1) 検査機器

- ・ 各検査ケースの検査機器の寸法と重量は、最大値は総重量：約 210kg で寸法：約 400×700×500mm である。最小値は総重量：約 1.5kg で寸法：約 70×70×180mm である。

2) 作業性

① キャリブレーションの有無と必要な時間

- ・ キャリブレーションを必要としない検査ケースは 8 ケースである。キャリブレーションに長い時間を要する検査ケースは 30～60 分である。それ以外は約 1 分～10 分と比較的短時間である。

② 検査以外に要した時間（準備＋撤去）

- ・ 準備の時間が 30 分以上の検査ケースは 7 ケースあり、最も長いもので 90 分である。準備の時間が最も短いものは 6 分である。
- ・ 撤去の時間が 30 分以上の検査ケースは 7 ケースあり、いずれも 30 分である。撤去の時間が短いものは 6 分である。

③ 作業人数

- ・ 作業人数が多かった検査ケースは 4 人であり、少ないものは 1 人である。

④ 作業時間

- ・ 検査ケース全体での 1m² 当たりの作業時間は平均で約 27 分/ m² である。
- ・ 1m² 当たりの作業時間が短かった検査ケースは 4 分/ m² であり、最も長かったのは 68 分/ m² で平均値を大きく上回る結果である。

⑤ 作業時間とキャリブレーションの有無の関係

- ・ 図-3.1.35 の通り、各検査ケースにおいてキャリブレーションの有無と作業時間に相関は見られない。

⑥ 作業時間及びキャリブレーションの有無と内部損傷正答率の関係

- ・ 図-3.1.36 の通り、キャリブレーション有の検査ケースにおいて、作業時間が短く内部損傷正答率が高くなる傾向である。

表-3.1.14 使用検査機器及び作業性

評価項目		検査ケース																				
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	平均
検査機器	寸法(mm)	高さ×幅×奥行き	不明	300×200×180	400×700×500	400×700×500	775×295×295	不明	70×70×180	318×143×100	90×280×100	110×110×210	不明	175×154×232	約55	68×260×190	286×286×995	235×435×146	110×110×210	不明		
	検査機器本体重量(kg)	不明	80	2.3	2.2	5.8	33	不明	3.7	2.45	0.5	1.5	不明	1.5	不明	2.3	32	4.5	1.7	不明		
	総重量(kg)	不明	210	2.3	14	16.5	44.3	不明	5.7	2.45	1.7	1.5	不明	1.5	不明	2.3	50	15	4	不明		
	キャリブレーションの有無	無	有	有	有	有	有	有	無	有	有	無	無	有	有	有	有	有	有	有	有	
作業性	キャリブレーションに必要な時間(min)	—	約55	—	数分	—	約10	約10	不明	—	30~60	瞬時	—	—	約55	約55	—	30~60	5	1	3~5	
	検査機器の準備時間(min)	30	90	60	—	6	24	24	—	60	60	30	15	—	12	—	10	6	30	20	—	32
	検査時間(1損傷当たり平均)(min)	9	—	60	—	30	—	—	—	30	—	20	20	—	12	—	18	—	—	—	25	
	検査時間(1供試品当たり平均)(min)	—	90	—	—	—	18	18	70	—	180	—	—	—	—	—	50	—	210	90	91	
	検査機器の撤去時間(min)	30	30	30	6	30	30	—	30	30	15	5	5	6	—	5	6	15	20	19	19	
	作業人数(人)	3	2	3	2	3	3	4	1	2	4	1	2	2	—	2	2	2	1	2	2	
	推定振動数(検査対象のみ)	5	—	13	1	—	—	—	1	—	9	2	1	1	—	—	6	—	—	—	5	
	延べ作業面積(延べ作業面積)	1215	420	3960	204	216	216	280	120	540	1800	80	240	240	130	360	510	130	130	651	651	
	検査面積(m ²)	58	10	58	58	10	10	10	10	58	20	58	40	40	2.1	20	20	10	10	25	25	
	1m ² 当たり作業時間(min/m ²)	21	42	68	—	4	22	28	—	12	54	31	6	6	62	18	26	13	13	27	27	
損傷矯正率(%)	0%	0%	57%	0%	0%	0%	75%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	25%	

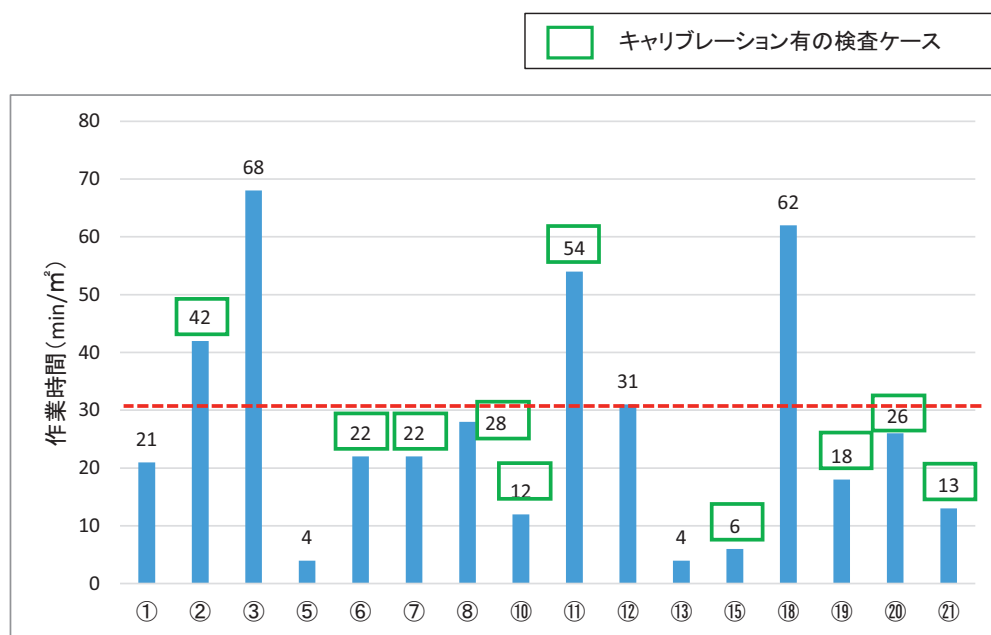


図-3.1.35 作業時間とキャリブレーションの有無の関係

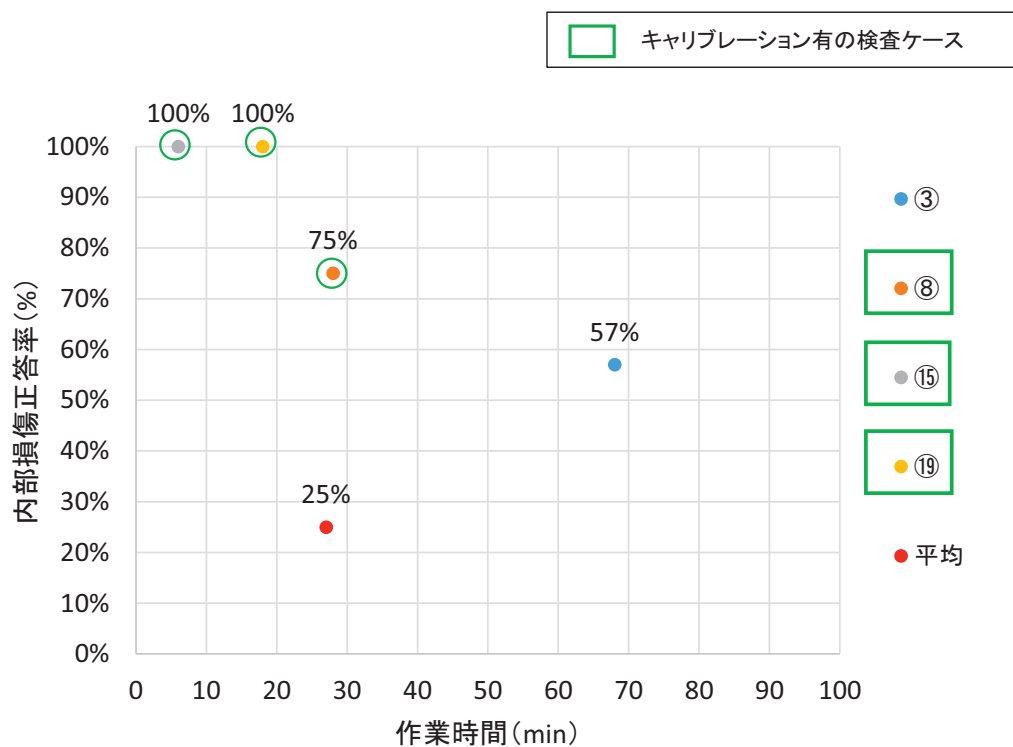


図-3.1.36 各検査ケースの作業時間と内部損傷正答率の関係

(7) 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。アンケート及びヒアリングは 3.2 模擬損傷供試体を用いた基礎的調査後に行ったため、検査要領書の妥当性については 3.2 で考察する。

3.1.9 まとめ

実橋レベルでの基礎的調査では、撤去桁から作製した実損傷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実橋を想定した検査における各検査技術の基本的な検査性能（検知可能な内部損傷の種類、検査精度、作業性能）について確認した。本調査から得られた結果は以下の通りである。

- ・実損傷供試体の内部損傷に対する検査結果について損傷の種類が「一致」したのは、検査を行った 20 技術のうち 4 技術である。
- ・実損傷供試体の内部損傷に対する検査結果について「一致」した項目は「ひび割れ」、「グラウト充填不良」、「鉄筋の健全性（腐食、断面欠損、破断）」であり、事前申告された各検査技術の検知可能な損傷通りに回答された項目は「ひび割れ」、「グラウト充填不良」である。
- ・事前に検知対象と申告した通りに内部損傷を回答した検査技術は少なく、全体の内部損傷の種類の正答率は 25%と低い。
- ・実損傷供試体の内部損傷に対する検査結果が「一致」した検査技術では、損傷位置や形状の計測誤差は比較的小さい。
- ・キャリブレーション有の検査技術において、作業時間が短く内部損傷正答率が高くなる傾向である。

しかし、実損傷供試体の解体調査の結果から、本調査で確認項目として設定した「空洞」や「うき」、「ひび割れ」等が実損傷供試体にほとんど存在していなかったことや、経年によって供試体表面に生じているコンクリートの劣化等が検査結果に影響を及ぼしていることから、これらの要因を除いて性能を測ることも必要と考えられる。供試体に生じている内部損傷の種別や位置・形状について事前に把握することが困難な実損傷供試体を用いて初めから検査を実施した場合と何らかの事前情報がある場合で、調査の結果が変わることも想定される。そのため、検査性能を適切に把握するためには、条件を単純化した模擬供試体を用いて検証を行うことも必要と考えられる。

3.2 模擬損傷供試体を用いた基礎的調査

3.2.1 概要

人工的にコンクリート中に内部損傷を模擬した模擬損傷供試体を国総研が作製し、それに対して共同研究者が非破壊検査を実施する。そして、国総研は共同研究者より提供された検査結果を整理する。検査結果の整理では、共同研究者から提供された検査結果と模擬損傷供試体の内部損傷の正解値（内部損傷の種類、損傷位置、損傷形状）を比較する。模擬損傷供試体における各検査技術の性能（検知可能な内部損傷の種類、検査精度、作業性能）を把握する。また、実損傷供試体に対する検査結果と比較することで、検査面のコンクリートの状態や人工的な損傷と実損傷との違いが検査性能に与える影響について把握する。

3.2.2 調査対象とした検査ケース

模擬損傷供試体を用いた基礎的調査では4体の模擬損傷供試体に対して非破壊検査を実施した。各検査技術によって得られた結果は「検査ケース」と呼ぶこととし、①～⑫の番号を付して整理した。検査対象毎の検査ケース数を表-3.2.1に示す。各検査技術によって検知対象とする損傷の種別や適用範囲等（部材寸法や作業時間等）が異なるため、すべての供試体に対して検査することを求めている。22技術中、模擬損傷供試体を用いた基礎的調査を実施した技術は20技術である。検査は共同研究者がそれぞれ行った。

表-3.2.1 模擬損傷供試体の基礎的調査の検査ケース数

検査対象	D-1	D-2	D-3	E-1
検査ケース数	19	20	17	13

3.2.3 検査に用いる供試体

(1) 模擬損傷供試体の作製

模擬損傷供試体を用いた基礎的調査では、供試体の図面や内部損傷の種類等の予備情報を与えない状態で検査を実施する。模擬損傷供試体は今回の共同研究での非破壊検査技術の調査の他に、今後の点検等で非破壊検査を使用する場合の検査機器の精度や作業性能等を検証していくための性能評価試験用の供試体としても使用することを想定している。そのため、作製した模擬損傷供試体の内部損傷の模擬方法および配筋状態等の詳細については本報告書では明記しない。

作製した模擬損傷供試体の種類は、ポストテンション方式 PC 桁を模擬した供試体（D-1、D-2）、ポストテンション方式 PC 中空床版を模擬した供試体（D-3）、ボックス

カルバートを模擬した供試体（E-1）の３種類、合計４体である。模擬損傷供試体の諸元を表-3.2.2、形状を図-3.2.1～図-3.2.3、全景を写真 3.2.1～写真-3.2.3 に示す。

表-3.2.2 模擬損傷供試体の諸元

橋梁名称	模擬する構造物の形式	供試体長さ	供試体幅	供試体高さ	作製数
D-1	ポストテンション方式PCT桁	7.6m	0.7m	0.5m	1体
D-2	ポストテンション方式PCT桁	7.6m	0.7m	0.5m	1体
D-3	ポストテンション方式PC中空床版	7.6m	1.0m	0.4m	1体
E-1	ボックスカルバート	2.55m	1.2m	2.55m	1体

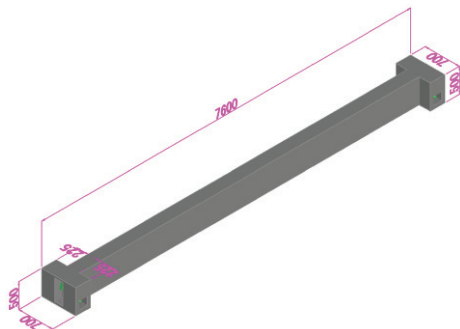


図-3.2.1 供試体の形状（D-1、D-2）



写真-3.2.1 模擬損傷供試体（D-1、D-2）

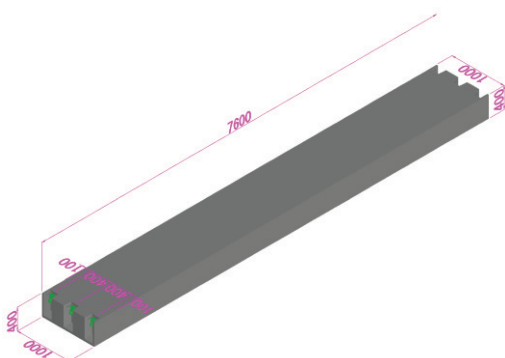


図-3.2.2 供試体の形状（D-3）



写真-3.2.2 模擬損傷供試体（D-3）

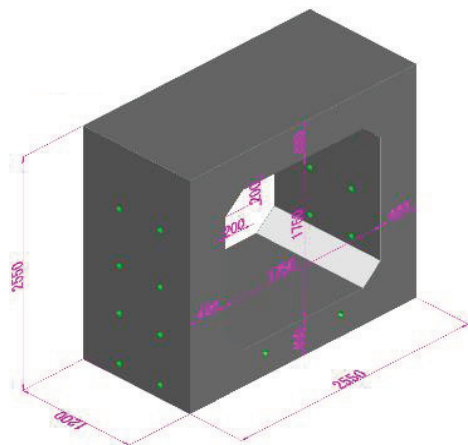


図-3.2.3 供試体の形状（E-1）



写真-3.2.3 模擬損傷供試体（E-1）

(2) 模擬した内部損傷の種類

模擬損傷供試体に模擬した内部不具合の種別と損傷数を表-3.2.3 に示す。なお、模擬損傷供試体に模擬されている内部損傷の種類と損傷数の特定を避けるため、ここでは、D-1、D-2、D-3、E-1 それぞれの模擬損傷供試体にどの種別の内部損傷が模擬されているかについては明記せず、損傷数については4体の合計を示す。また、模擬した内部損傷のうち、「PC 鋼材健全性(腐食、断面欠損、破断)」を模擬した箇所では、PC 鋼材の腐食や破断、シースの損傷、定着具の損傷のうちいずれかの損傷を模擬している。同様に、「鉄筋健全性(腐食、断面欠損、破断)」は鉄筋腐食や鉄筋破断のいずれかの損傷を模擬している。

表-3.2.3 模擬損傷供試体に模擬した内部損傷種別及び損傷数

内部損傷	損傷数(箇所)
空洞	68
うき	20
ひび割れ	5
グラウト充填不良	16
PC 鋼材健全性 (腐食、断面欠損、破断)	6
鉄筋健全性 (腐食、断面欠損、破断)	29

3.2.4 調査項目と着目点

調査項目と着目点は表-3.2.4 の通りである。各非破壊検査技術のコンクリート構造物の詳細調査への適用性を評価するためには、評価に必要なデータが得られ、検査精度や作業性等が把握できるように適切な検査要領が用意される必要がある。本研究では、検査要領の確立も着目の一つとし検討を行った。

表-3.2.4 調査項目と着目点

調査項目	着目点
検知可能な内部損傷の種類に関する性能評価方法	模擬損傷供試体に模擬された内部損傷の正解値と検査結果を照合し、検知可能な内部損傷の種類について把握する。また、模擬損傷供試体と実損傷供試体の検査結果を比較・整理して供試体の違いによる影響を把握する。
内部損傷の位置の検査精度に関する性能評価方法	内部損傷の推定位置 (X、Y、Z) を整理し、検知可能な方向や深さについての推定精度について把握する。
内部損傷の形状の検査精度に関する性能評価方法	内部損傷の推定形状 (x、y、z) を整理し、検知可能な形状（平面的 or 立体的）についての推定精度について把握する。
各検査技術の作業性能に関する性能評価方法	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。
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する。

3.2.5 試験実施条件

本調査では、実橋レベルでの基礎的調査と同様に、完成図等がない場合の橋梁を想定して、予備情報（図面）のない条件で検査を実施した。供試体設置場所は屋外とした。検査時間は D-1、D-2、D-3 の 3 体に対して 3.5 時間（0.5 日）、E-1 の 1 体に対して 3.5 時間（0.5 日）を見込み、複数の共同研究者が同時に検査を行わないようにした。また、供試体に跡が残るようなマーキングは禁止とした。検査対象面はすべての面とした。また、試験の公平性及び客観性を確保するため、試験開始時から終了時まで立会者を配置した。

3.2.6 検査要領

検査に参加した共同研究者には、検査要領書を事前に配布し、検査手順や検査項目、結果の報告について通知した。この検査要領に従って各共同研究者が非破壊検査を実施した。以下に検査要領書の内容を示す。

(1) 検査手順

検査手順は実橋レベルでの基礎的調査（図-3.1.14）と同様とし、検査は検査機器の準備から検査調書の提出までを一連の手順で行うこととした。

(2) 確認項目

確認項目は実橋レベルでの基礎的調査（表-3.1.5）と同様とした。

(3) 検査調書

検査調書は 3.1.6 (3) と同様とした。

(4) 結果の報告

結果の報告は検査調書の提出をもって行うこととし、検査終了後概ね 1 週間以内に提出を求めた。

3.2.7 検査結果の整理

(1) 検査結果の評価方法

1) 用語の定義

- ①「検知対象」とは、検査機器の原理や仕様から検知できる（または検知できると想定される）内部損傷とした。
- ②「一致」とは、推定された内部損傷の種類と、解体調査結果によって得られた内部損傷の種類が一致した場合とした。
- ③「不一致」とは、推定された内部損傷の種類と、解体調査結果によって得られた内部損傷の種類が一致しなかった場合とした。
- ④「空振」とは、推定された位置に内部損傷が存在しなかった場合とした。
- ⑤「検知不可」とは、検知対象を推定できなかった場合とした。
- ⑥「正答率」とは、検査技術の内部損傷の検知性能を表す指標として、下式のように定義した。

正答率（内部損傷の種類毎）

$$= \text{一致 (②)} / (\text{一致 (②)} + \text{不一致 (③)} + \text{空振 (④)})$$

2) 計測誤差の評価

計測誤差は、損傷位置に関する誤差と損傷形状に関する誤差で評価した。

損傷位置の誤差は、内部損傷の判定が「一致」であった計測結果について算出した。推定された内部損傷の座標（X、Y、Z）と供試体に模擬された内部損傷の座標との差から誤差を算出した。損傷位置の計測誤差算出イメージを図-3.2.4 に示す。

損傷形状の誤差は、内部損傷の判定が「一致」であった計測結果について算出した。

推定された内部損傷の形状寸法（ x 、 y 、 z ）と実際の内部損傷の形状寸法の差を誤差とした。

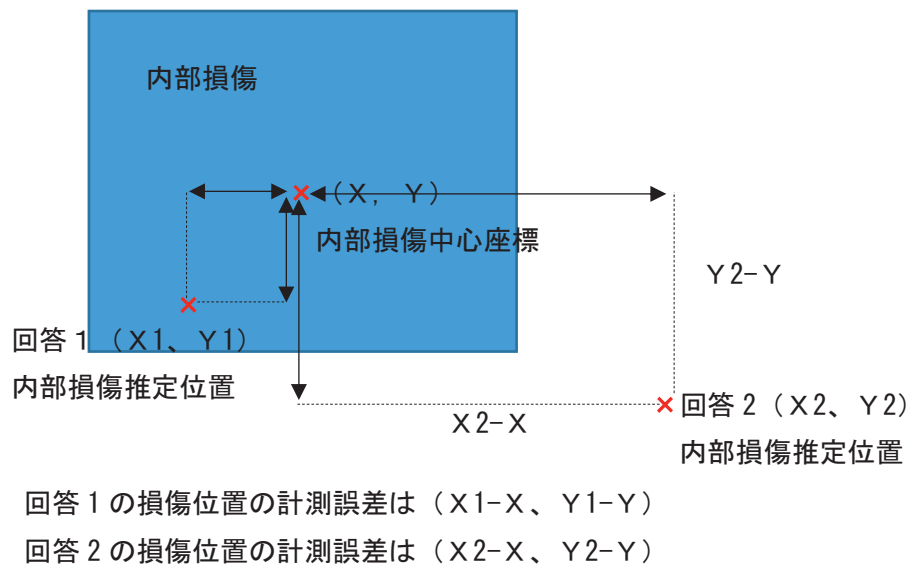


図-3.2.4 損傷位置の計測誤差算出方法

3)作業性の評価

予備情報（図面）や内部損傷の種類等の予備情報がない状態で検査を行った場合の作業時間への影響、さらに作業時間が正答率に及ぼす影響について評価した。

4)作業要領の妥当性の評価

全ての検査終了後、共同研究者にアンケートとヒアリングを行い、本調査で用いた供試体、検査時間、検査手順、試験条件、結果の報告方法等について意見を収集し、作業要領の妥当性について評価した。

(2) 内部損傷の推定結果

本調査で対象とした 4 体の模擬損傷供試体に対する内部損傷の推定箇所数を表-3.2.5 に示す。

- ・本調査では「PC 鋼材健全性(腐食、断面欠損、破断)」、「鉄筋健全性(腐食、断面欠損、破断)」が推定された検査ケースはない。
- ・「ひび割れ」と「残存プレストレス量」が推定されたのはそれぞれ 1 ケースのみである。
- ・内部損傷が推定された検査ケースが多かったは、「空洞」、「グラウト充填不良」である。

表-3.2.5 検査ケース別の内部損傷の推定箇所数（全模擬損傷供試体）

内部損傷 検査ケース	空洞	うき	ひび割れ	グラウト 充填不足	PC鋼材健全性 （腐食、断面欠損、破断）	鉄筋健全性 （腐食、断面欠損、破断）	残存 プレスト レス量	異物	内部欠陥 又は不明
①									5
②									
③			3						
④									
⑤									25
⑥				5					
⑦							18		
⑧	10								
⑨	16								4
⑩		3							
⑪	26								2
⑫				1					15
⑬									
⑭	5			1					
⑮				13					
⑯									
⑰									
⑱									11
⑲	12			6					
⑳	21			19					
㉑		3							
㉒									

単位：箇所

(3) 検知可能な内部損傷

各検査ケースと模擬損傷供試体の内部損傷を照合し、検知可能な内部損傷および正答率について整理した。まず、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。対比結果を表-3.2.6 に示す。次に、模擬損傷供試体を用いた場合の内部損傷の正答率について整理した。正答率の整理結果を表-3.2.7、図-3.2.5 に示す。さらに実損傷供試体の検査結果と模擬損傷供試体の検査結果を比較することで、検査面のコンクリートの状態や人工的な損傷と実損傷との違いが検査性能に与える影響について確認した。比較結果を表-3.2.8 に示す。

1) 検知可能な内部損傷

- ・表 3.2.6 の通り、本調査で検査を実施した検査技術において、内部損傷の判定が「一致」したのは「空洞」、「うき」、「グラウト充填不良」である。
- ・自己申告通りに回答された内部損傷は「空洞」、「うき」、「グラウト充填不良」であり、「空洞」は 4 ケース、「うき」は 1 ケース、「グラウト充填不良」は 2 ケースである。
- ・それ以外の内部損傷については、「不一致」または「検知不可」である。
- ・自己申告では検知対象としていないが、「空洞」で 1 ケース、「グラウト充填不良」で 2 ケースの判定が「一致」している。

表-3.2.6 検査ケース別の検知可能な内部損傷の整理

○：検知対象 ◎：一致 △：不一致
◇：未特定 ×：検知不可
空欄：不参加または計測データなし

内部損傷 検査ケース	空洞		うき		ひび割れ		グラウト 充填状態		PC鋼材の 健全性 (腐食、断面 欠損、破断)		鉄筋の 健全性 (腐食、断面 欠損、破断)		残存プレ ストレス量		その他	
	事前申告	検査結果	事前申告	検査結果	事前申告	検査結果	事前申告	検査結果	事前申告	検査結果	事前申告	検査結果	事前申告	検査結果	事前申告	検査結果
①	○	×	○	×	○	×										
②	○	×	○	×	○	×										
③	○	×	○	△	○	×										
④									○		○					
⑤	○	△	○	△												
⑥							○	×								
⑦													○	×		
⑧		◎					○	×								
⑨	○	◎	○	△	○	△	○	◇								
⑩			○	×												
⑪	○	◎	○	△			○	×			○	×				
⑫																
⑬																
⑭	○	◎		△				◎		△						
⑮							○	◎		△		△				
⑯							○									
⑰							○									
⑱	○	×	○	×												
⑲	○	◎					○	◎								
⑳	○	△		△				◎		△						
㉑	○	×	○	◎												
㉒	○	×	○	×												

2)内部損傷の正答率

- ・表-3.2.7、図-3.2.5 に示す通り、内部損傷の正答率は「空洞」と「グラウト充填不良」で高く、全体の内部損傷正答率は56%であり、実橋レベルでの基礎的調査での正答率25%と比較して高い結果である。
- ・「空洞」について「一致」したのは5ケースであり、正答率は40～100%である。実損傷供試体はわずかに小さな気泡が生じているだけだったため、「空洞」を推定した検査技術はなかったが、模擬損傷供試体では比較的大きな空洞を模擬しているため、検知し易かったと考えられる。
- ・「うき」について「一致」したのは1ケースであり、正答率は100%である。
- ・「ひび割れ」について「一致」した検査ケースはない。
- ・「グラウト充填不良」について「一致」したのは5ケースであり、正答率は53～100%である。
- ・「PC 鋼材健全性(腐食、断面欠損、破断)」と「鉄筋健全性(腐食、断面欠損、破断)」、「残存プレストレス量」について「一致」した検査ケースはない。「PC 鋼材健全性(腐食、断面欠損、破断)」と「鉄筋健全性(腐食、断面欠損、破断)」については、

腐食や破断など模擬している内部損傷の範囲や形状が「空洞」や「グラウト充填不良」等と比較して小さいために、推定できなかった可能性が考えられる。

表-3.2.7 検査ケースの内部損傷正答率

内部損傷 検査ケース	空洞	うき	ひび割れ	グラウト 充填不良	PC鋼材 健全性 (腐食、断面 欠損、破断)	鉄筋 健全性 (腐食、断面 欠損、破断)	残存プレスト レス量	全体
①								
②								
③			0% (0/3)					0% (0/3)
④								
⑤								
⑥				0% (0/5)				0% (0/5)
⑦							0% (0/18)	0% (0/18)
⑧	100% (10/10)							100% (10/10)
⑨	69% (11/16)							69% (11/16)
⑩		0% (0/3)						0% (0/3)
⑪	92% (24/26)							92% (24/26)
⑫				0% (0/1)				0% (0/1)
⑬								
⑭	40% (2/5)			100% (1/1)				50% (3/6)
⑮				85% (11/13)				85% (11/13)
⑯								
⑰								
⑱	100% (12/12)			100% (6/6)				100% (18/18)
⑲	0% (0/21)			53% (10/19)				25% (10/40)
㉑		100% (3/3)						100% (3/3)
㉒								
合計	56% (90/162)							

※カッコ内：内部損傷一致数/回答数

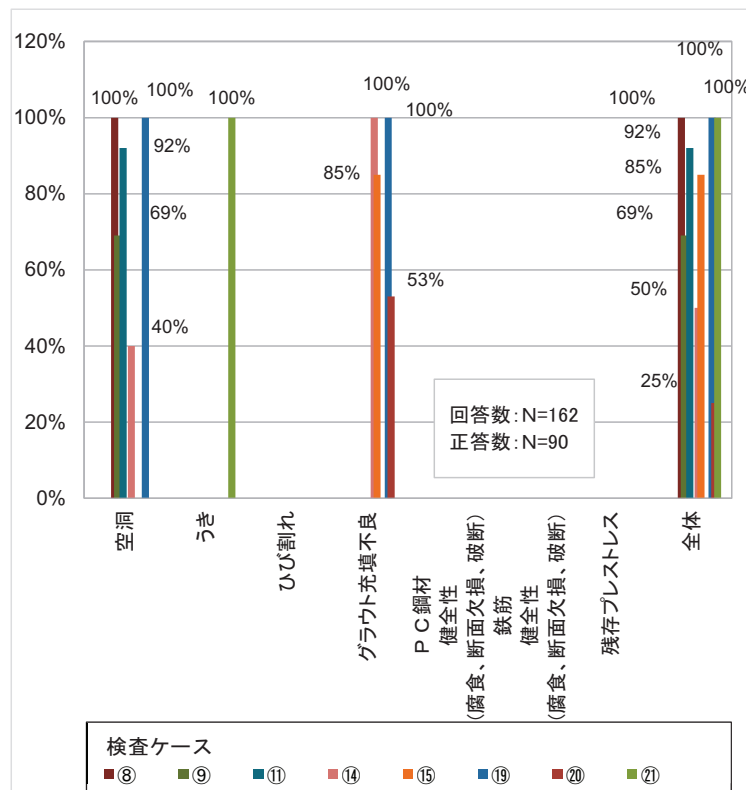


図-3.2.5 内部損傷の正答率

3)実損傷供試体の検査結果との比較

- ・表-3.2.8 のとおり、実損傷供試体の検査結果と模擬損傷供試体の検査結果を比較すると、7 ケースで検知性能が向上している。
- ・反対に、2 ケースで検知性能が低下している。

表-3.2.8 実損傷供試体と模擬損傷供試体の検知可能な損傷の整理

損傷 検査技術		空洞		うき		ひび割れ		グラウト 充填状態		PC鋼材の 健全性 (腐食、断面 欠損、破断)		鉄筋の 健全性(腐 食、断面欠 損、破断)		残存プレ ストレス量	
		実損傷	模擬	実損傷	模擬	実損傷	模擬	実損傷	模擬	実損傷	模擬	実損傷	模擬	実損傷	模擬
①		×	×	×	×	×	×								
②		×	×	×	×	×	×								
③		△	×	×	△	◎	×								
④															
⑤		×	△	×	△										
⑥								×	×						
⑦														×	×
⑧			◎					◎	×			◎			
⑨			◎		△		△		◇						
⑩					×										
⑪		△	◎	×	△			×	×			×	×		
⑫															
⑬															
⑭		×	◎		△				◎		△				
⑮								◎	◎		△		△		
⑯															
⑰															
⑱		×	×	×	×										
⑲		×	◎					◎	◎						
⑳		×	△		△				◎		△				
㉑		×	×	×	◎										
㉒			×		×										

○：検知対象 ◎：一致 △：不一致
◇：未特定 ×：検知不可
空欄：不参加または計測データなし

以上の通り、模擬損傷供試体を用いた検査では、自己申告通りの内部損傷が推定されたのは8 ケースで、全体の内部損傷正答率は 56%であった。これは、実損傷供試体を用いた検査よりも、内部損傷の判定が「一致」であった検査ケース数並びに内部損傷正答率ともに増加している。この要因として、模擬損傷供試体には撤去桁から作製した実損傷供試体に見られるようなコンクリート表面の劣化（凹凸等）が存在しないため、検査機器の操作や入出力に影響を及ぼしにくいこと等が考えられる。一方で、内部損傷を検出できなくなった検査技術も存在した。これは、実損傷供試体と比較して供試体の寸法が小さくなったことで、検査原理によっては反射波などの影響を受けたり、隣接する損傷や鉄筋などの影響を受けたりすることで正確な判定ができなくなる等が要因とな

っている可能性が考えられる。

(4) 内部損傷の位置 (X、Y、Z)

内部損傷の位置に関する検査ケースを座標値 (X、Y、Z) で整理し、模擬損傷供試体の内部損傷位置の座標と照合することで、検査精度について整理した。座標 (X、Y、Z) は検査面に対して (横方向、縦方向、深さ方向) を意味する。内部損傷の判定が「一致」であった検査ケースの計測誤差について整理した。計測誤差度数分布を表-3.2.9～3.2.11、図-3.2.6～3.2.8、計測誤差分布を図-3.2.9～3.2.13 に示す。なお、平面 (XY) の計測誤差分布については、X 座標と Y 座標の両方の結果が得られているもののみ図示している。

- ・「空洞」の計測誤差は X、Y、Z いずれの方向においても、誤差-50～50 mmを中心に概ね山なりの分布となっており、誤差が大きくなるほど度数は小さくなる傾向である。
- ・「うき」については、内部損傷の判定が「一致」であった検査ケースが少なかったため明確な傾向は見られない。
- ・「グラウト充填不良」については、Y 方向と Z 方向で誤差が小さく、X 方向でばらつきが大きい傾向である。
- ・「空洞」の計測誤差分布は、検査ケースによって分布に偏りが見られる。

表-3.2.9 空洞位置の計測誤差度数分布

計測誤差(mm)	X	Y	Z
~-301	0	1	0
-300~-251	0	1	0
-250~-201	0	5	1
-200~-151	0	5	0
-150~-101	2	4	0
-100~-51	8	6	5
-50~-1	16	11	7
0	7	4	5
1~50	12	12	7
51~100	8	6	5
101~150	1	2	13
151~200	2	0	4
201~250	2	1	0
251~300	0	1	0
301~	1	0	0

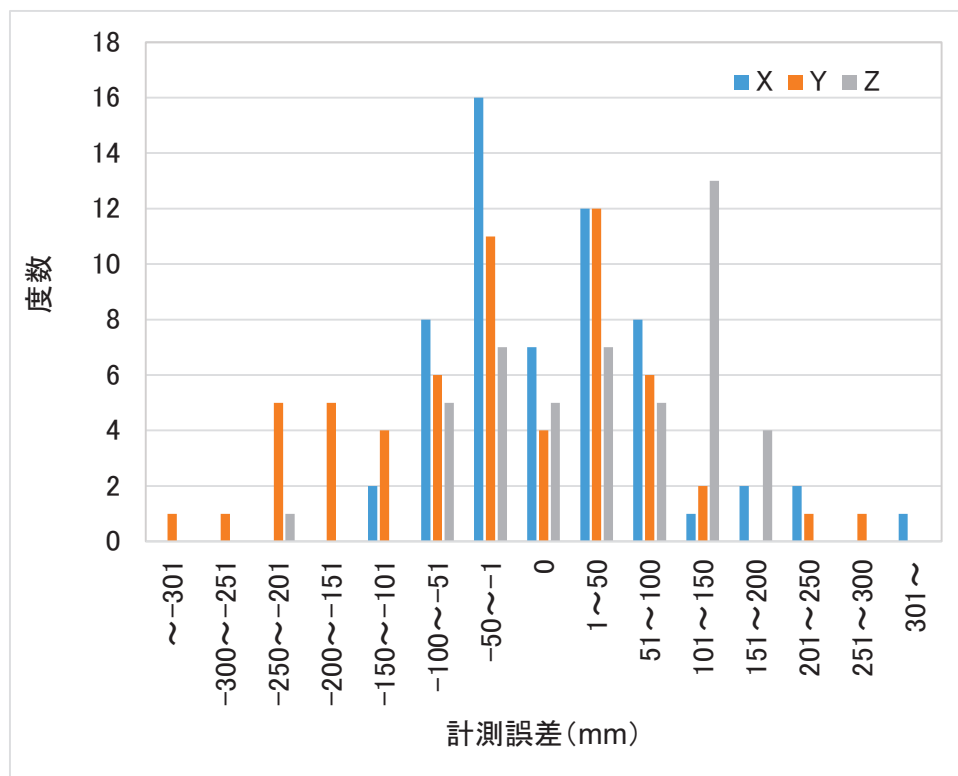


図-3.2.6 空洞位置の計測誤差度数分布

表-3.2.10 うき位置の計測誤差度数分布

計測誤差(mm)	X	Y
~-301	0	0
-300~-251	0	0
-250~-201	0	0
-200~-151	0	1
-150~-101	0	0
-100~-51	0	0
-50~-1	1	0
0	1	1
1~50	0	0
51~100	0	1
101~150	0	0
151~200	0	0
201~250	0	0
251~300	1	0
301~	0	0

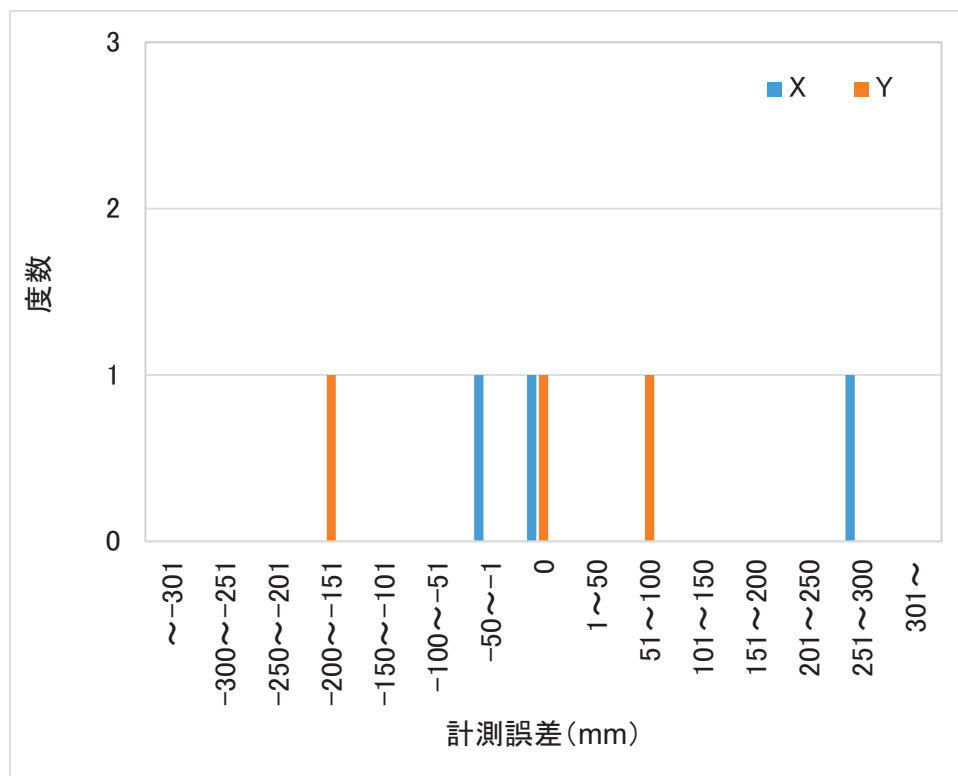


図-3.2.7 うき位置の計測誤差度数分布

表-3.2.11 グラウト充填不良位置の計測誤差度数分布

計測誤差(mm)	X	Y	Z
~-301	1	0	0
-300~-251	0	0	0
-250~-201	0	0	0
-200~-151	0	0	0
-150~-101	1	2	0
-100~-51	0	2	1
-50~-1	2	2	0
0	0	0	0
1~50	0	2	3
51~100	1	0	0
101~150	0	0	0
151~200	1	0	0
201~250	0	0	0
251~300	0	0	0
301~	2	0	0

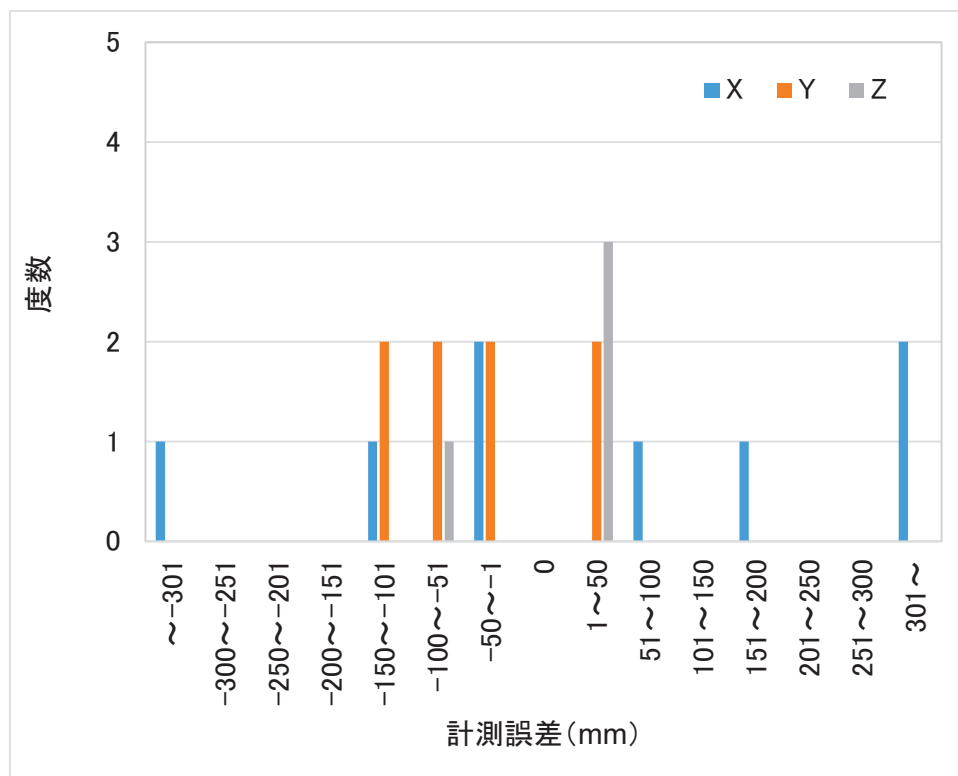


図-3.2.8 グラウト充填不良位置の計測誤差度数分布

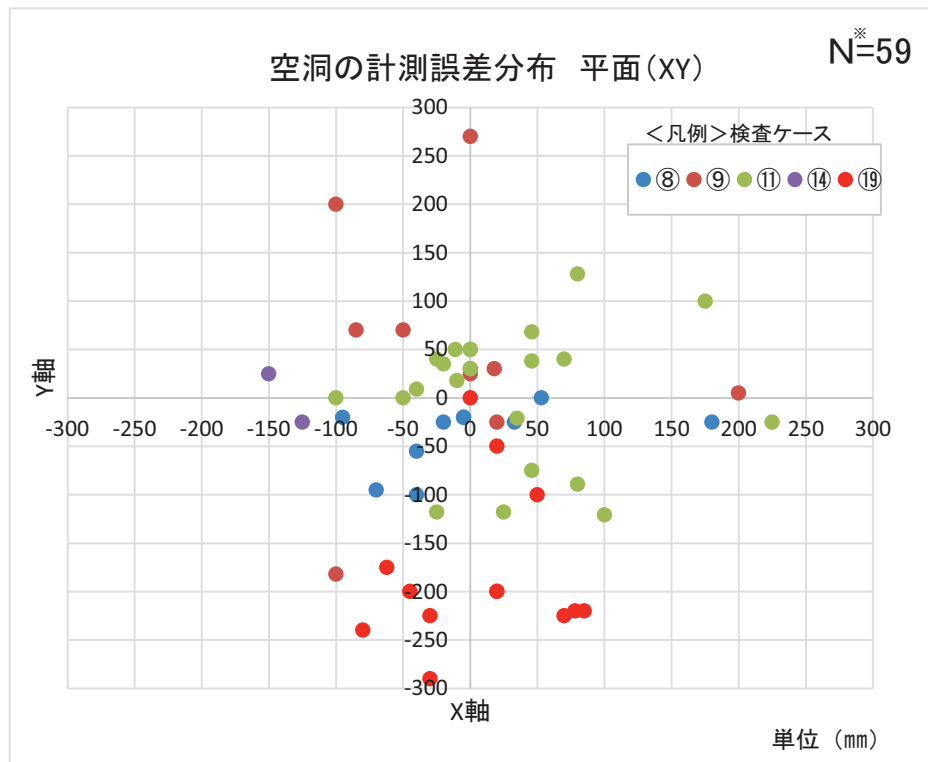


図-3.2.9 空洞位置 計測誤差分布 平面 (XY)

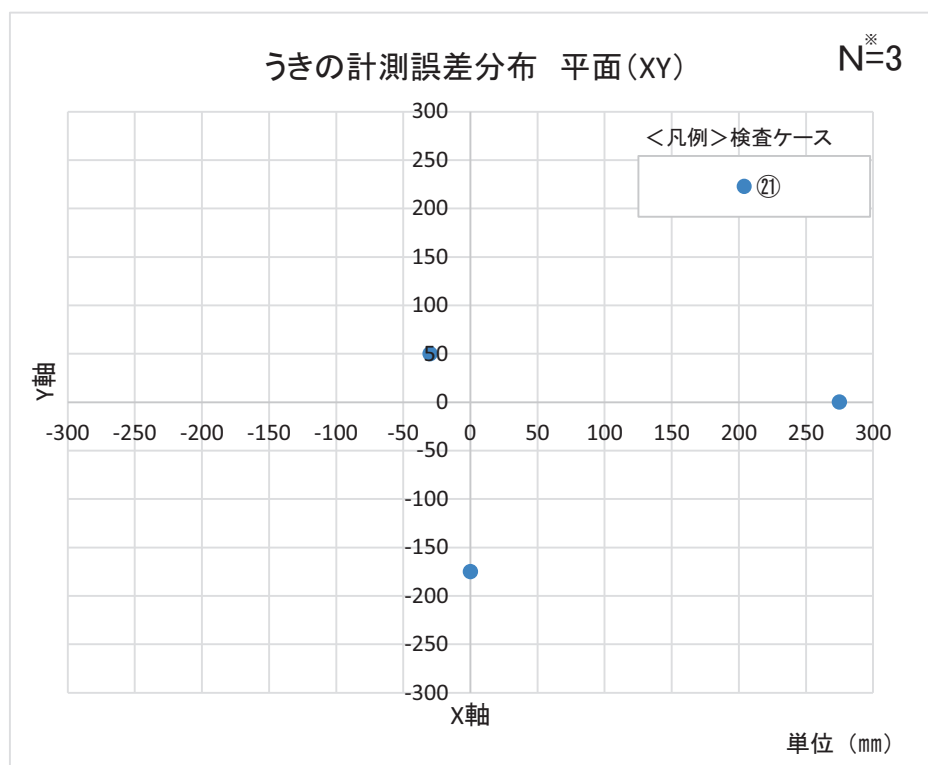


図-3.2.10 うき位置 計測誤差分布 平面 (XY)

※Nはサンプル数（点が重なっている場合あり）

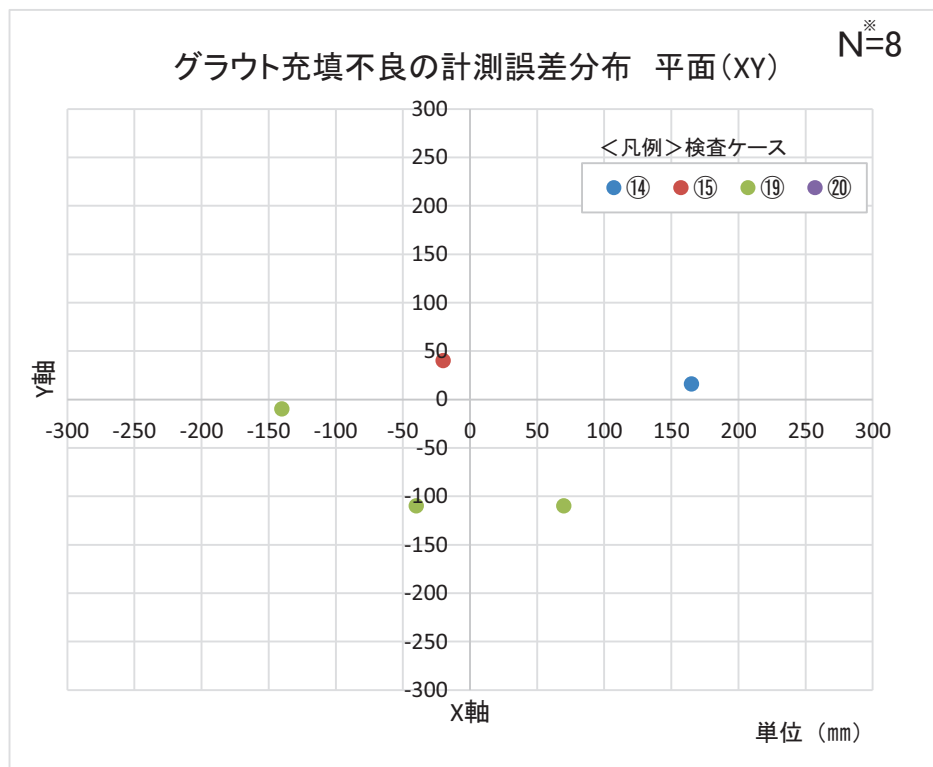


図-3.2.11 グラウト充填不良位置 計測誤差分布 平面 (XY)

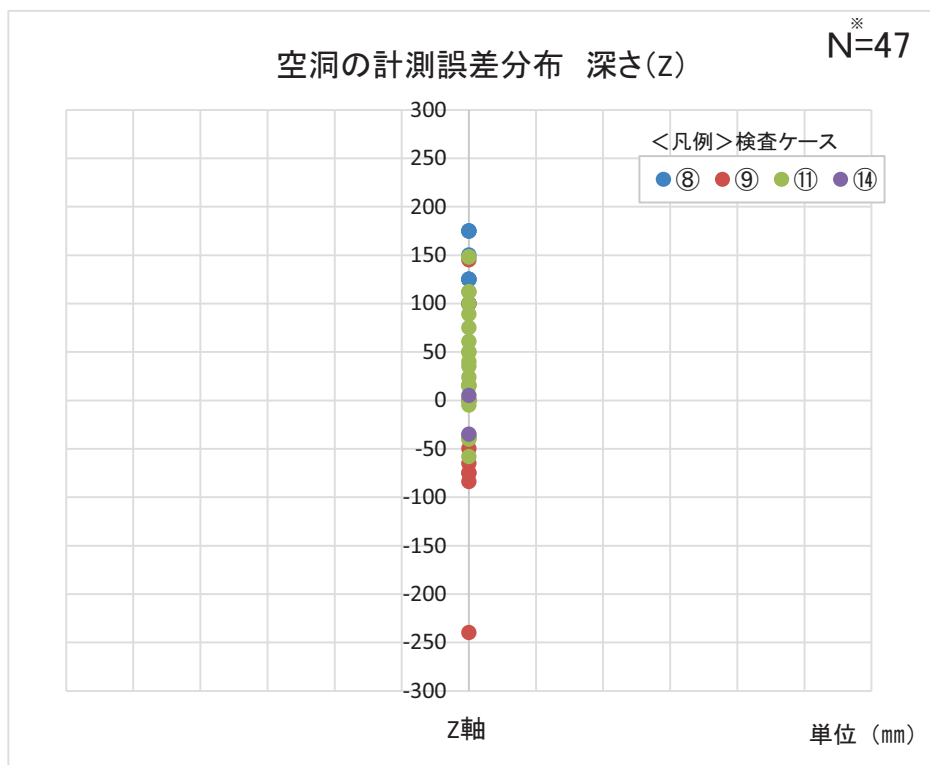


図-3.2.12 空洞位置 計測誤差分布 深さ (Z)

※N はサンプル数 (点が重なっている場合あり)

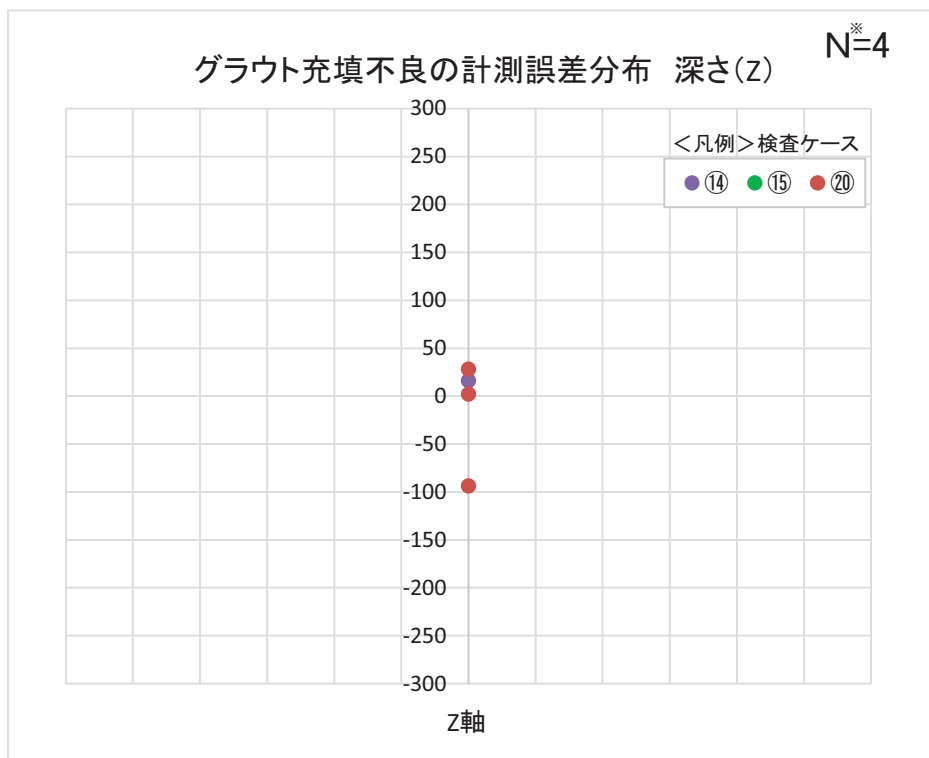


図-3. 2. 13 グラウト充填不良位置 計測誤差分布 深さ (Z)

※N はサンプル数 (点が重なっている場合あり)

(5) 内部損傷の形状誤差 (x、y、z)

内部損傷の形状に関する検査ケースを寸法値 (x、y、z) で整理し、模擬損傷供試体の内部損傷位置の座標と照合することで、検査精度について整理した。寸法値 (x、y、z) はそれぞれ横方向、縦方向、深さ方向を意味する。内部損傷の判定が「一致」であった検査ケースの計測誤差について整理した。計測誤差度数分布を表-3.2.12～3.2.13、図-3.2.14～3.2.15、計測誤差分布を図-3.1.16～3.2.17 に示す。

- ・「空洞」の計測誤差は x 方向（横方向）、y 方向（縦方向）ともに、約 80%が-50～50 mmの誤差範囲に収まっており、ばらつきは小さい傾向である。z 方向（深さ方向）については検知できていない。
- ・「うき」については、内部損傷の判定が「一致」であった検査ケースが少なかったため明確な傾向は見られない。

表-3.2.12 空洞形状の計測誤差度数分布

計測誤差(mm)	x	y
~-301	0	0
-300~-251	0	0
-250~-201	0	0
-200~-151	0	0
-150~-101	0	0
-100~-51	0	0
-50~-1	11	13
0	33	31
1~50	1	1
51~100	5	6
101~150	4	3
151~200	0	0
201~250	0	0
251~300	0	0
301~	0	0

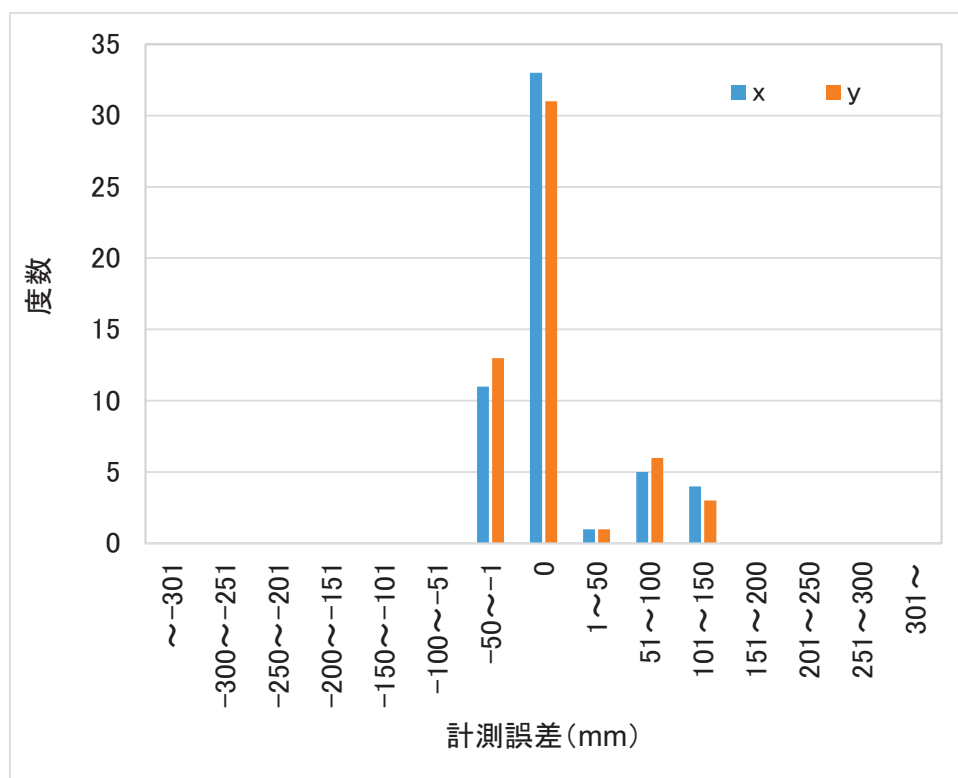


図-3.2.14 空洞形状の計測誤差度数分布

表-3.2.13 うき形状の計測誤差度数分布

計測誤差(mm)	x	y
~-301	0	0
-300~-251	0	0
-250~-201	0	0
-200~-151	0	0
-150~-101	0	0
-100~-51	1	1
-50~-1	0	0
0	2	2
1~50	0	0
51~100	0	0
101~150	0	0
151~200	0	0
201~250	0	0
251~300	0	0
301~	0	0

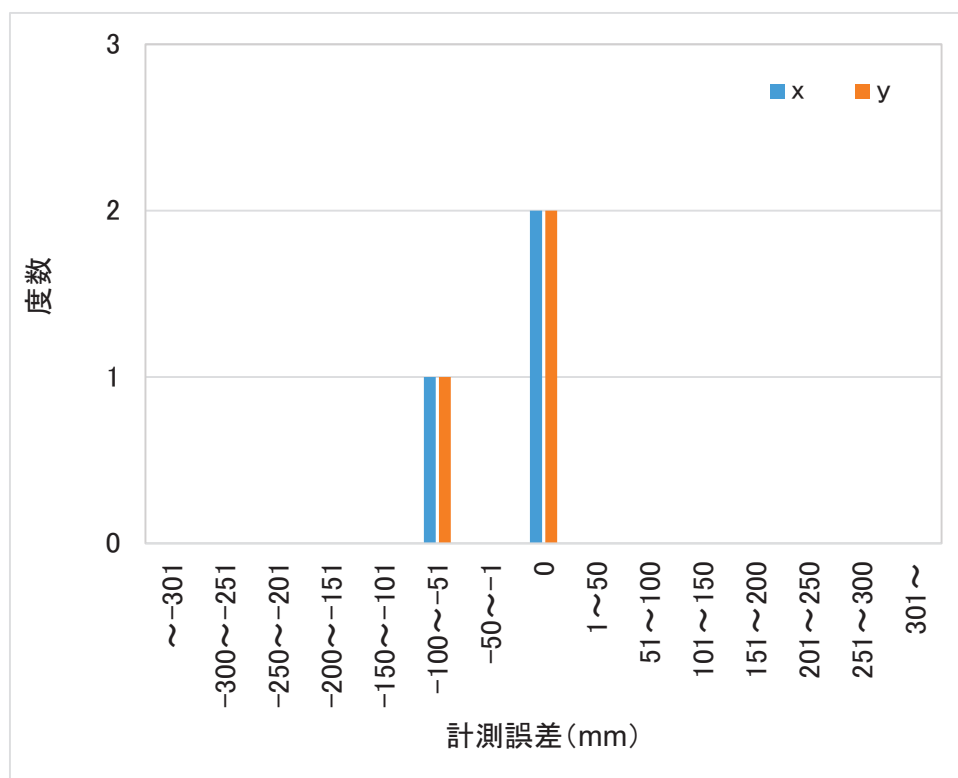


図-3.2.15 うき形状の計測誤差度数分布

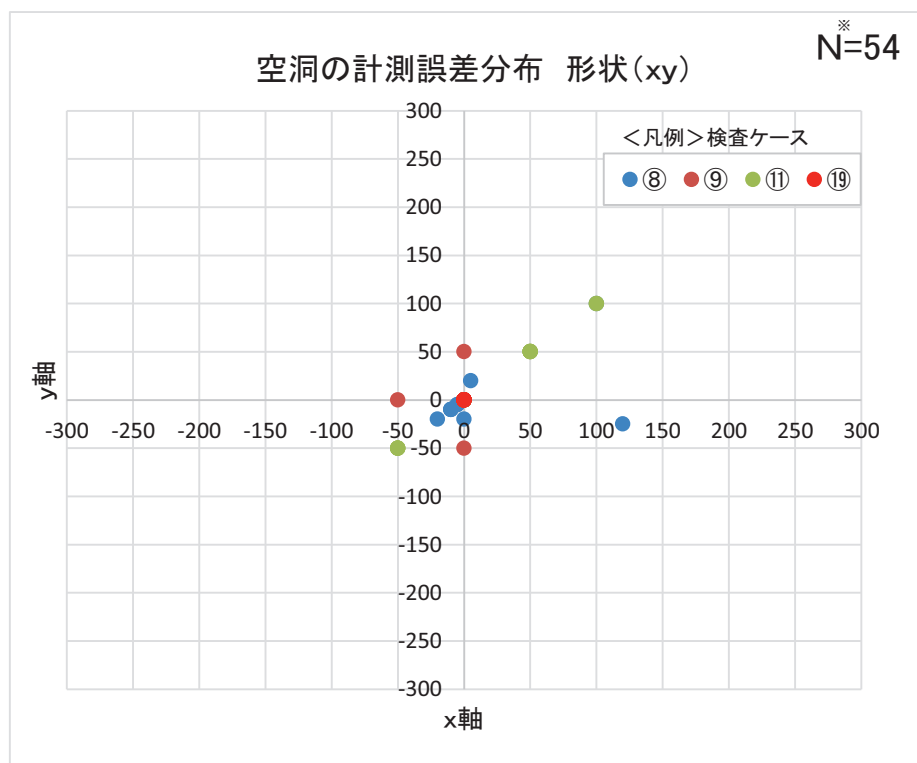


図-3.2.16 空洞形状 計測誤差分布 平面 (XY)

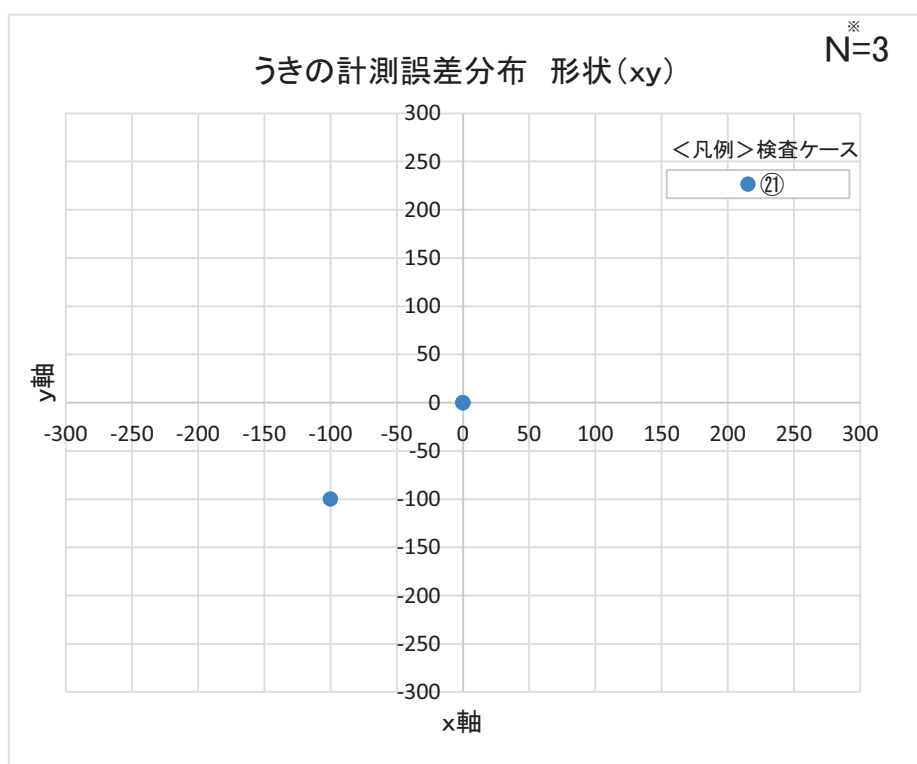


図-3.2.17 うき形状 計測誤差分布 平面 (XY)

※N はサンプル数 (点が重なっている場合あり)

(6) 各検査技術の作業性能

各検査ケースの検査機器の情報（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-3.2.14 のとおり整理した。なお、各検査機器の情報（形状寸法、重量等）については、実橋レベルでの基礎的調査と同様のため省略し、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）のみ整理した。また、各検査ケースの作業時間と内部損傷の正答率の関係について図-3.2.19 のとおり整理した。

1) 検査機器

- ・ 3.1.8(6)の表-3.1.14 を参照のこと。

2) 作業性

① キャリブレーションの有無と必要な時間

- ・ 3.1.8(6)の 2)①を参照のこと。

② 検査以外に要した時間（準備＋撤去）

- ・ 準備の時間が 30 分以上の検査ケースは 7 ケースあり、最も長いもので 90 分である。
準備の時間が短いものは 6 分である。
- ・ 撤去の時間が 30 分以上の検査技術は 7 ケースあり、いずれも 30 分である。撤去の時間が短いものは 6 分である。

③ 作業人数

- ・ 作業人数が多かった検査ケースは 4 人であり、少ないものは 1 人である。

④ 作業時間

- ・ 検査ケース全体での 1m² 当たりの作業時間は平均で約 30 分/ m² である。
- ・ 1m² 当たりの作業時間が短かった検査ケースは 2 分/ m² であり、最も長かったのは 111 分/ m² で平均値を大きく上回る結果である。

⑤ 作業時間とキャリブレーションの有無の関係

- ・ 図-3.2.18 の通り、各検査ケースにおいてキャリブレーションの有無と作業時間に相関は見られない。

⑥ 作業時間及びキャリブレーションの有無と内部損傷正答率の関係

- ・ 図-3.2.19 の通り、キャリブレーション有の検査ケースにおいて、キャリブレーション有の方が正答率は高くなる傾向である、作業時間と内部損傷正答率に相関は見られない。

以上のとおり、撤去桁と模擬供試体の違いによる作業時間への影響は確認されなかった。また、撤去桁の場合と同様に、作業時間が長く、キャリブレーションを必要とする検査技術の方が正答率は高くなる結果であった。以上を踏まえると、非破壊検査

技術の作業性能については、模擬供試体を用いる場合でも適切に評価可能であると考えられる。

表-3.2.14 各検査技術の使用検査機器及び作業性

検査ケース		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑳	㉑	㉒	平均
評価項目																							
作業性	キャリブレーションの有無	無	有	無	有	無	有	有	有	無	有	有	無	無	無	無	有	有	有	有	有	有	有
	キャリブレーションに必要な時間 (min)	—	約5	—	約10	—	約10	約10	不明	—	30~60	瞬時	—	—	—	約5	約5	約5	約5	5	1	3~5	—
	検査機器の準備時間 (min)	30	90	—	6	24	24	24	60	12	90	30	30	6	6	12	12	12	6	30	20	—	29
	検査時間 (1損傷当たり平均) (min)	1	—	—	30	—	—	—	4	60	25	60	15	6	12	12	12	—	18	9	—	—	20
	検査時間 (1試験体当たり平均) (min)	—	90	—	—	18	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	90	—	54
	検査機器の撤去時間 (min)	30	30	—	6	30	30	30	60	12	60	30	12	6	6	6	6	6	6	15	20	—	21
	作業人数 (人)	3	1.3	—	2	4	4	4	4	2	2	3	3	1	2	2	2	—	2	2	1	—	2
	推定損傷数 (検査対象のみ)	5	—	—	42	—	—	—	22	38	3	40	14	15	19	7	7	6	16	5	—	—	18
	延べ作業時間 (min × 人)	735	273	—	2616	288	288	288	1312	4752	750	7920	1134	138	552	276	216	216	624	360	130	—	1316
	検査面積 (㎡)	81.06	20	—	81.06	11.29	11.29	11.29	11.78	81.06	53.09	81.06	81.06	81.06	81.06	33.86	11.78	11.78	11.78	33.86	10	—	46
	1㎡当たり作業時間 (min/㎡)	9	14	—	32	26	26	26	111	59	14	98	14	2	7	8	18	—	53	11	13	—	30
	内部損傷正答率 (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	69%	0%	92%	0%	0%	50%	85%	0%	0%	100%	25%	100%	0%	56%

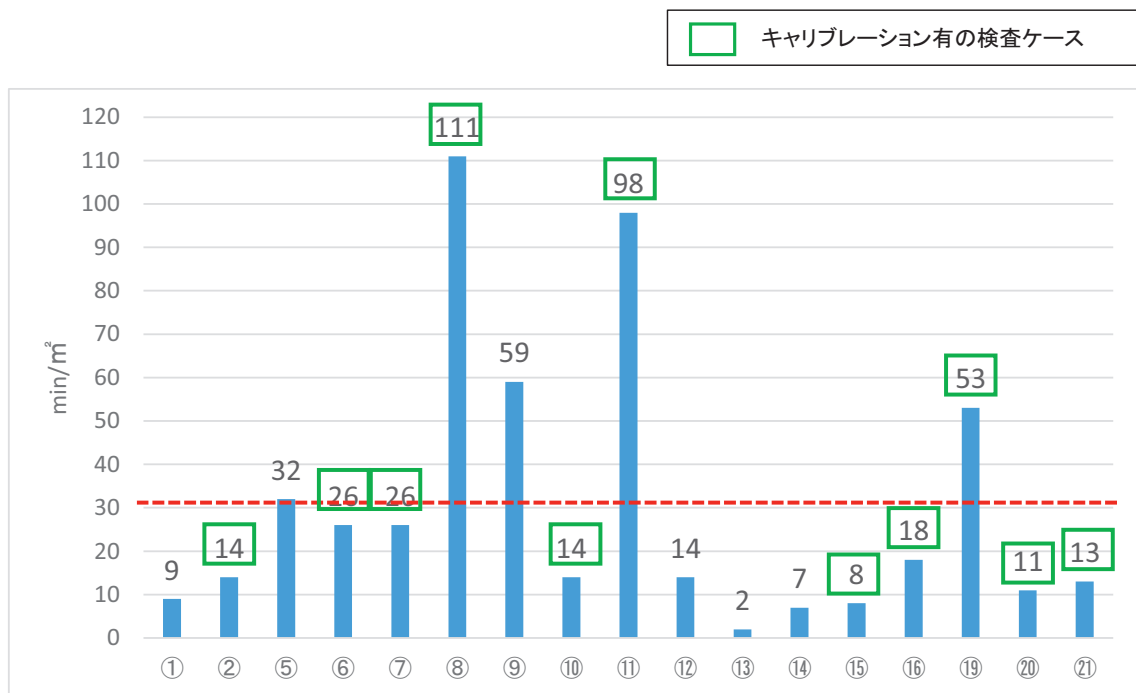


図-3.2.18 作業時間とキャリブレーションの有無の関係

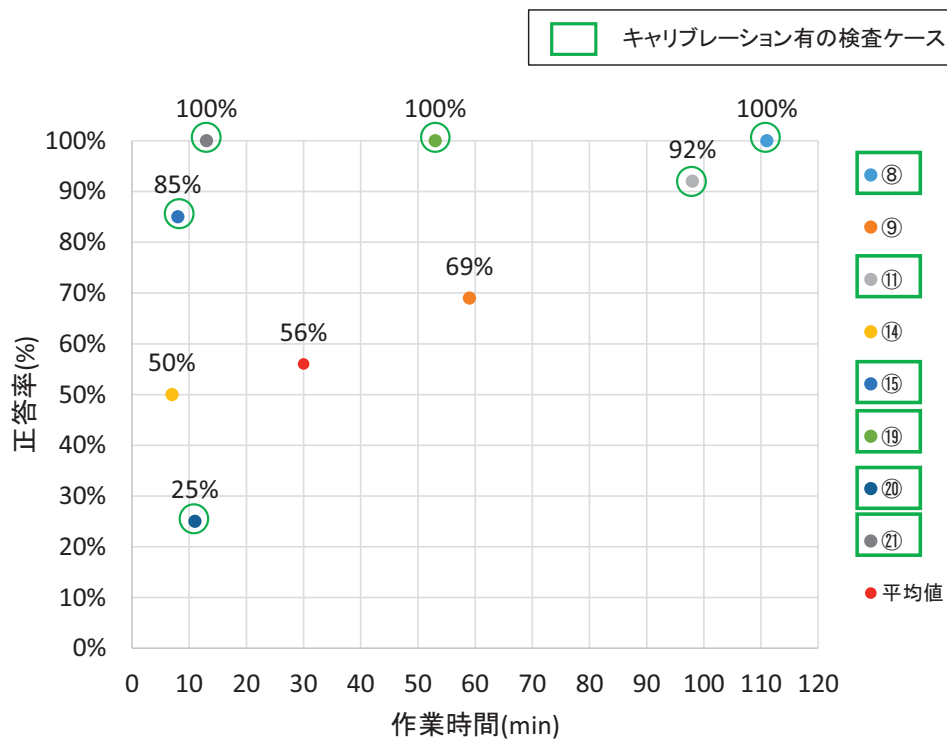


図-3.2.19 各検査ケースの作業時間と内部損傷正答率の関係

(7) 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、検査調書の様式や検査方法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。本検証で用いた検査調書と結果報告様式は巻末の付属資料3に示す。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-3.2.15に示す。整理した結果から抽出した検査調書に関する課題と検査方法や供試体に関する課題を以下に示す。また、アンケート及びヒアリング結果を踏まえて、性能評価手法に活用するために修正を加えた検査調書と結果報告様式を巻末の付属資料2に示す。

1) 検査調書に関する課題

- ・ 内部損傷を記入するための図面（展開図）の表示方法がわかりにくく、原点と座標の取り方に関する説明が不十分であった。
- ・ 検査項目に対して検査技術の検知の対象外なのか、供試体の条件や検査条件等によって検知することが不可能なのか明確でない回答があった。
- ・ 検査対象とする供試体の配置や検査条件等が試験当日まで明示されなかったため、適切な準備や判定ができず、検査時間が不足している場合が見受けられた。

2) 検査方法や供試体に関する課題

- ・ 他の内部損傷が検査結果に及ぼす影響が大きく、目的とする内部損傷を検知できない場合があるため、隣接する内部損傷が検査結果に及ぼす影響を確認する必要がある。
- ・ 実橋の調査では、構造物の形状寸法、配筋状況、ケーブル位置、使用材料などの情報を事前に入手するのが一般的であるが、それらを事前に入手できなかった場合の検査結果への影響を確認する必要がある。
- ・ 1種類の検査技術で橋梁全体を調査することは稀であり、調査範囲や検査対象とする損傷種類を限定した検査も実施する必要がある。
- ・ 検査技術によっては、検査空間が狭小で適切な検査ができなかったものもあるため、検査空間が検査精度に及ぼす影響を確認する必要がある。
- ・ 供試体の形状や部材厚さ、配筋状態、コンクリート補修・補強（表面塗装や鋼板接着等）の有無が検査結果に及ぼす影響を確認する必要がある。
- ・ 検知対象とする内部損傷に対する検知性能をより明確にするために、検査結果に影響を及ぼす要因をできるだけ取り除いた単純な供試体での確認が必要である。

表-3.2.15 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
1) 計測結果の通知を受けての反省点や課題	・主旨と異なる測定を行っていた可能性がある。測定方法を含めた変更が必要。 ・他の内部損傷が検査結果に与える影響が大きき、目的とする内部損傷を検知できない場合がある。 ・予備調査として鉄筋位置、PC鋼材の位置を電磁波レーダ法等により事前調査を行い、その結果をふまえて本調査を実施したほうが効率的である。 ・事前情報がなく比較対象とする指標が未定であったため、解析条件を決定する時間が足りなかった。 ・検査対象や検査条件等が試験当日まで明示されないため、使用する検査機器の適用範囲外の検査を実施して検査精度が低くなったケースがあった。 ・供試体の間隔が狭かったため、検査機器の適切な方法で検査できなかった。 ・要求された検査項目と使用した検査機器の検知可能対象物が異なっていた。 ・検査の対象となる変状がどの部分のどのようなもの、どれくらいの規模であるかを十分に把握していなかったため、計測方法が目的に合致していなかった恐れがある。 ・検査技術によって対象の向き・不向き、適用の限界が異なる。精度があまり高くなりなくとも安価・簡易で実施できる手法は、概況把握やスクリーニングに使える。また、全体で評価する手法と局部を評価する手法がある。何でもかんでも同列(局部的な精査等)で評価するのは適切でないと思われる。 ・シースの設計位置などの情報があれば、より精度の高い判断が出来る可能性がある。
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	・損傷位置を示す図面や、空隙やひび割れはどのようなようにして模擬したかなどの情報開示を望む。 ・健全な部分と変状が生じている部分を限定して検査を実施して、キャリブレーションが必要。 ・図面がわかりにくく、理解しにくかった。 ・対象とする内部損傷の大きさ(規模)の目安を事前に知りたい。 ・検査対象物の情報が少ないため、適用範囲や限界を適切に判断できなかった。適用範囲外で検査を行っても精度が下がり評価を落とすだけである。 ・実橋での調査でも、構造物の形状寸法、配筋状況、ケーブル位置、使用材料などの情報を事前に入手するため、本検査でも事前情報を提供してほしい。 ・計測結果の計測精度比率は母集団に測定を行っていない箇所も入っているため、測定を行った箇所を母集団にするべき。
3) 次回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)	・雨天影響を受けない場所で検査をしてほしい。 ・使用する検査機器が適用可能な寸法や形状の供試体としてほしい。 ・構造図と内部損傷の種類を事前に明示してほしい。 ・最初からブラインド検査をするのではなく、被検出物の既知なものから検査を行い、基本的な性能を確認してから次のステップに進むべき。
4) 計測不可になる構造上の問題点は何か(部材厚など)	・部材が厚くなると計測不可となる場合がある。 ・計測ピッチが広いと損傷を見落とす可能性があり、精度も落ちる。 ・コンクリート表面塗装やその種類によって計測不可になる場合がある。 ・天候やコンクリートの状態によって計測不可になる場合がある。 ・測定面がアスファルトに覆われている場合、計測結果に影響が出る。 ・測定面が鋼材であると計測不可になる場合がある。 ・測定面が曲面であると機器を走査できない場合がある。 ・入り隅部は、93mmの範囲は測定不可。 ・直視できない箇所。5cmより深い位置にある損傷の検知。 ・隅角部は弾性波がうまく反射しないので計測が難しい。
5) 今回設定した計測時間が適正かどうか	・図面等の情報がないため時間が足りなかった。

3.2.8 まとめ

模擬損傷供試体を用いた基礎的調査では、人工的にコンクリート中に内部損傷を模擬した模擬損傷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模擬損傷供試体を用いた検査における各検査技術の検査性能（検知可能な内部損傷の種類、検査精度、作業性能）について確認した。本調査から得られた結果は以下の通りである。

- ・ 模擬損傷供試体の内部損傷に対する検査結果について「一致」したのは、検査を行った 20 技術のうち 8 技術である。
- ・ 模擬損傷供試体の内部損傷に対する検査結果について「一致」したのは「空洞」、「うき」、「グラウト充填不良」であり、事前申告された各検査技術の検知可能な損傷通りに回答された項目も同様である。
- ・ 事前に検知対象と申告した内部損傷を実際に検知できた検査技術は 6 技術であり、全体の内部損傷正答率は 56% である。
- ・ 模擬損傷供試体の内部損傷の位置や形状に対する計測誤差は、実損傷供試体の場合と比べて大きい。これは、実損傷供試体では推定位置に内部損傷が生じている場合は誤差を 0mm としているのに対し、模擬損傷供試体は、推定位置の座標と内部損傷の中心位置の座標から誤差を算出していることが影響していると考えられる。
- ・ キャリブレーション有の検査技術において、内部損傷正答率は高くなる傾向であるが、作業時間と内部損傷正答率の関係には明確な傾向は見られない。

表-3.2.8 に示したように、実損傷供試体と比べて、内部損傷の形状や大きさが検査結果に影響を及ぼしにくかったことやコンクリート表面の劣化（凹凸等）の影響を受けにくいことで、検査結果を適切に評価可能となった検査技術がみられた。その一方で、正答率が低くなったり、計測誤差が大きくなったりする検査技術があることも確認された。検査技術によっては、実損傷供試体に比べて模擬損傷供試体のように供試体の大きさが小さくなることで、供試体寸法や配筋状態、隣接する内部損傷等が検査結果に影響を及ぼす可能性が考えられる。実構造物における検査では、様々な形状や配筋状態の部位を検査することが想定されるため、検査対象の大きさや形状、配筋状態が検査結果に及ぼす影響についても事前に評価できるような検証を行うことも必要と考えられる。

3.3 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3章では、実損傷供試体を用いた実橋レベルでの基礎的調査及び模擬損傷供試体を用いた基礎的調査において、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（検知可能な内部損傷の種類、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内部損傷の種類や程度は異なる。また、検査精度や誤差特性（誤差の範囲や偏り）も検査技術によって異なる。
- ・一部の検査技術においては検知対象とする内部損傷や検知性能、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が、非破壊検査技術によって原理や仕様、作業条件などで検査性能に大きな差があり、実損傷供試体のみの検証では正確な検査性能の把握が困難であることが確認された。
- ・表面の劣化がない模擬損傷供試体を用いた検査においても、内部損傷の正答率や検査精度が低下する検査技術があることが確認された。これは、検査原理や検査機器に固有の特性に加えて、検査技術が想定していない内部損傷が模擬されている場合等において、検査結果を適切に評価できなかったり、供試体の形状や寸法の影響、隣接する内部損傷の存在によって検査精度が影響を受けたりすることも要因となっていると考えられる。
- ・事前に検査対象の形状寸法や、配筋状態、ケーブル位置、使用材料等の情報を入手することを前提としている検査技術もあり、これらが無い場合は検査精度が低下する可能性が考えられる。
- ・検査調書において、検査項目に対して検査技術の検知の対象外なのか、供試体の条件や検査条件等によって検知することが不可能なのか明確な回答が得られない場合があるため、検査調書では内部損傷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。

(2) 性能評価手法策定のために検討すべき課題

- ・実損傷供試体と模擬損傷供試体を用いた基礎的調査で、一部の非破壊検査技術の基本的な検査性能を概ね把握することが可能であることが確認されたが、半数以上の検査技術で本来想定している検査性能を確認できていない。これは、様々な損傷が複数存在する実損傷供試体や模擬損傷供試体では、検査対象とする内部損傷以外の他の内部損傷の存在や検査対象の部材厚さや配筋状態等が検査性能へ影響を及ぼしていることが要因と考えられる。そのため、非破壊検査技術の基本的な検査性能を適切に把握するためには、実損傷供試体や模擬損傷供試体のように大型の供試体

による検証の前に、単純な検査条件で一定の予備情報（内部損傷の種類や供試体の配筋状態）を与えた上で検証を行うことも必要と考えられる。さらに、そのような条件で検査を行うことで、内部損傷を検知可能な部材厚さや内部損傷のかぶり等の限界値について把握することも必要である。そして、模擬損傷供試体、実部材供試体と段階的に非破壊検査を実施することで、非破壊検査技術の検査性能についてきめ細やかに評価可能になるものと考えられる。

- ・検査技術によっては局所的な検査を対象としているものも存在する。そのような検査技術に対して、供試体全体の検査を求めても、非破壊検査技術の検査性能について適正な評価をできない可能性がある。検査技術の検査性能を適切に把握するためには、検査する内部損傷の種類や検査範囲を限定した検査を実施することで、検査技術が対象としている適用範囲での検証も必要と考えられる。
- ・非破壊検査技術の基礎的調査では、供試体に補修や補強等（表面塗装や鋼板接着等）が実施されている場合の検査性能への影響を検証していない。非破壊検査を点検等に活用するような場合には、検査区間全体にわたって表面被覆等が施工されている場合も想定されるため、これらの影響についても確認する必要がある。

第4章 非破壊検査技術の性能評価手法の検証（提案と試行）

4.1 非破壊検査技術の基本性能の検証試験

4.1.1 概要

第3章までに実施した非破壊検査技術の基礎的調査では、検査機器固有の特性に加えて、検知対象とする内部損傷の種類や検査を実施するコンクリート構造物の形状・配筋状態等の影響によって、実損傷供試体や模擬損傷供試体を用いた検証のみでは、非破壊検査技術の基本的な性能を十分に把握できない可能性があることが確認された。そこで、本検証では、比較的供試体形状や配筋状態が単純で、内部損傷の種類を限定した要素供試体を作製する。そして、作製した要素供試体に対して、一定の予備情報や検査条件を与えた状態で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、検査性能に影響を及ぼす要因が少ない要素供試体を用いた検査における各検査技術の検査性能（検知可能な内部損傷の種類、部材厚さやかぶりの影響、検査精度、検出限界等）について把握する。検査結果の整理では、共同研究者から提供された検査結果と要素供試体の内部損傷の正解値（内部損傷の種類、損傷位置、損傷形状）を比較する。

4.1.2 検証対象とした検査ケース

非破壊検査技術の基本性能の検証試験では8体の要素供試体に対して非破壊検査を実施した。各検査技術によって得られた結果は「検査ケース」と呼ぶこととし、①～②の番号を付して整理した。検査対象毎の検査ケース数を表-4.1.1に示す。各検査技術が検知対象とする内部損傷が異なるため、検査対象によって検査ケース数が異なっている。22技術中、非破壊検査技術の基本性能の検証試験を実施した技術は17技術である。検査は共同研究者がそれぞれ行った。

表-4.1.1 非破壊検査技術の基本性能検証試験の検査ケース数

検査対象	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8
検査ケース数	16	16	16	13	13	12	12	15

4.1.3 検査に用いる供試体

非破壊検査技術の基本性能の検証試験では、供試体形状（部材厚さ）や内部損傷の位置（内部損傷のかぶり）が検査結果に及ぼす影響を把握するために要素供試体を作製した。要素供試体は今回の共同研究での非破壊検査技術の検証の他に、今後の点検等で非破壊検査を使用する場合の検査機器の精度や作業性能等を検証していくための性能評価試験用の供試体としても使用することを想定している。そのため、作製した要素供試体の内部損傷の模擬方法および配筋状態等の詳細については本報告書では明記しない。

作製した要素供試体は、空洞を模擬した供試体2体、うきを模擬した供試体1体、グ

ラウト充填状態、PC 鋼材健全性を模擬した供試体 2 体、鉄筋の健全性を模擬した供試体 2 体、ひび割れを模擬した供試体 1 体の合計 8 体である。供試体は、検査面を指定することで供試体厚さの影響や、内部損傷のかぶりの影響などを把握できるよう供試体形状や内部損傷を模擬する深さ等を工夫した。また、隣接する内部損傷等の影響をできる限り排除するため、供試体 1 体あたりに模擬する内部損傷の種類を限定し、また、配筋構造を単純にして配筋状態の影響を受けにくいようにした。要素供試体の諸元を表-4.1.2、形状を図-4.1.1～図-4.1.3、供試体全景を写真-4.1.1～写真-4.1.3 に示す。

表-4.1.2 要素供試体の諸元

供試体名	内部損傷種類	要素供試体形状
F-1	空洞	外形:0.35m×0.40m×0.5m
F-2		外形:0.35m×0.40m×0.5m
F-3	うき	外形:0.35m×0.40m×0.5m
F-4	グラウト充填状態 PC鋼材健全性	外形:0.35m×0.40m×0.5m
F-5		外形:0.35m×0.40m×0.5m
F-6	鉄筋健全性	外形:0.35m×0.40m×0.5m
F-7		外形:0.35m×0.40m×0.5m
F-8	ひび割れ	外形:0.20m×0.25m×0.8m

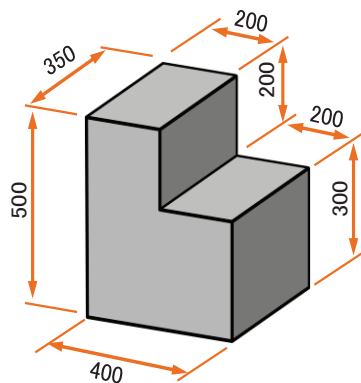


図-4.1.1 供試体の形状 (F-1～3、F-6～7)



写真-4.1.1 要素供試体 (F-1～3、F-6～7)

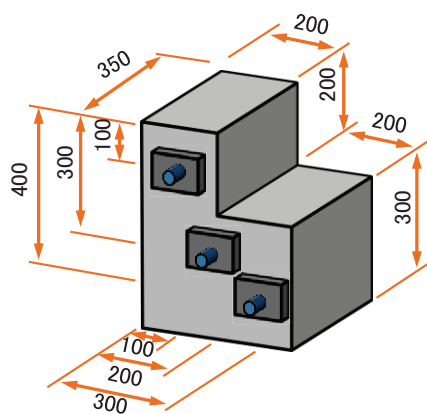


図-4.1.2 供試体の形状 (F-4~5)



写真-4.1.2 要素供試体 (F-4~5)

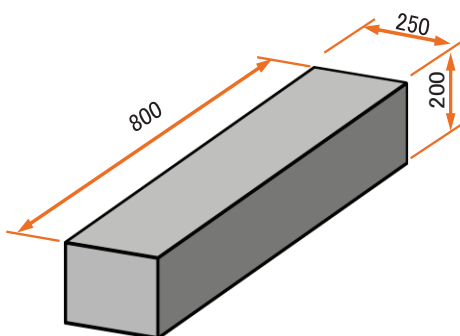


図-4.1.3 供試体の形状 (F-8)



写真-4.1.3 要素供試体 (F-8)

4.1.4 調査項目と着目点

調査項目と着目点は表-4.1.3 の通りである。

表-4.1.3 調査項目と着目点

調査項目	着目点
検知可能な内部損傷の種類に関する性能評価項目	要素供試体に模擬された内部損傷の正解値と検査結果を照合し、検知可能な内部損傷の種類について把握する。また、模擬損傷供試体と実損傷供試体の検査結果と比較・整理して供試体の違いによる影響を把握する。
検知可能な内部損傷の種類に関する詳細項目	検知できた内部損傷についてより具体的な詳細項目について把握する。
内部損傷の位置の検査精度に関する性能評価項目	内部損傷の推定位置（X、Y、Z）を整理し、検知可能な方向や深さについての推定精度について把握する。
内部損傷の形状の検査精度に関する性能評価項目	内部損傷の推定形状（x、y、z）を整理し、検知可能な形状（平面的 or 立体的）についての推定精度について把握する。
検査性能に影響する条件	内部損傷の検査性能に及ぼす条件（かぶり、部材厚さ、損傷規模）について把握する。
計測限界値	内部損傷を検知可能なかぶり厚さや部材厚さの限界値を把握する。
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する。

4.1.5 試験実施条件

本検証では、予備情報として要素供試体に模擬している内部損傷の種類と検知すべき損傷数を事前に検査者に周知した条件で検査を実施した。供試体設置場所は屋外とし、検査時間は 2 日以内（7h×2 日）とし、複数の共同研究者が同時に検査を行わないようにした。また、供試体に跡が残るようなマーキングは禁止とした。

要素供試体毎に検査対象面を指定し、検知可能な内部損傷、計測限界値（内部損傷を検知可能な内部損傷のかぶり、部材厚さ）、対象損傷の計測不可の要因等を把握するために、各内部損傷のパラメータ（内部損傷のかぶりや部材厚さ）が異なる箇所では検査面を指定し、検査面毎に検査結果の報告を求めた。各供試体の検査面を図-4.1.4～図-4.1.7 に示す。また、検査面毎に原点を指定し、共同研究者から得られる検査結果が同一の座標軸で得られるようにした。なお、試験の公平性及び客観性を確保するため、試験開始時から終了時まで立会者を配置した。

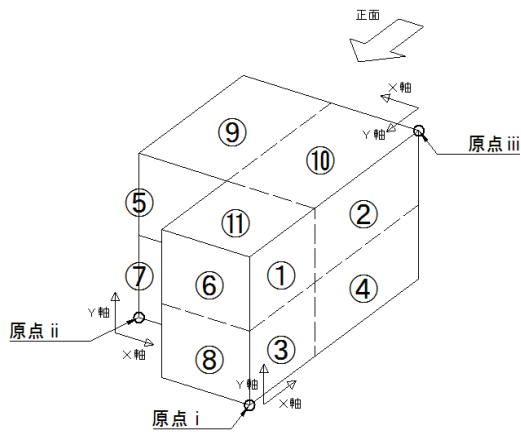


図-4.1.4 F-1～2の検査面番号
(今回の検査対象面は①②④⑤⑧⑩)

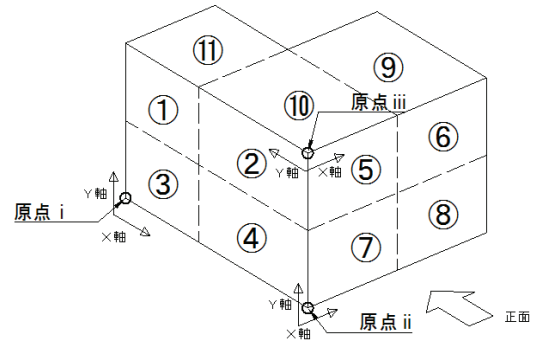


図-4.1.5 F-3の検査面番号
(今回の検査対象面は①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪)

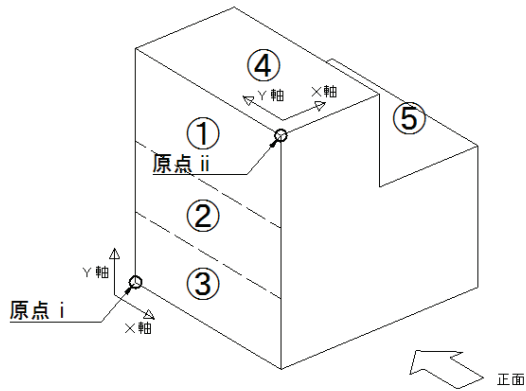


図-4.1.6 F-4～7の検査面番号
(今回の検査対象面は①②③④⑤)

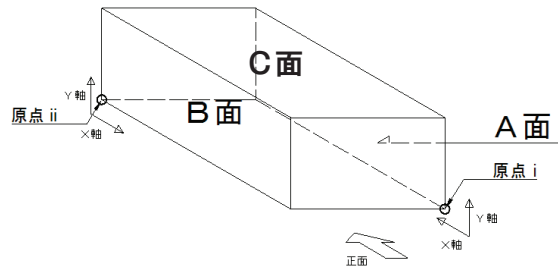


図-4.1.7 F-8の検査面記号
(A面、B面、C面)

4.1.6 検査要領

検査に参加した共同研究者には、検査要領書を事前に配布し、検査手順や検査項目、結果の報告について通知した。この検査要領に従って各共同研究者が非破壊検査を実施した。以下に検査要領書の内容を示す。

(1) 検査手順

検査手順を図-4.1.8 に示す。検査は検査機器の準備から検査調書の提出までを一連の手順で行うこととした。

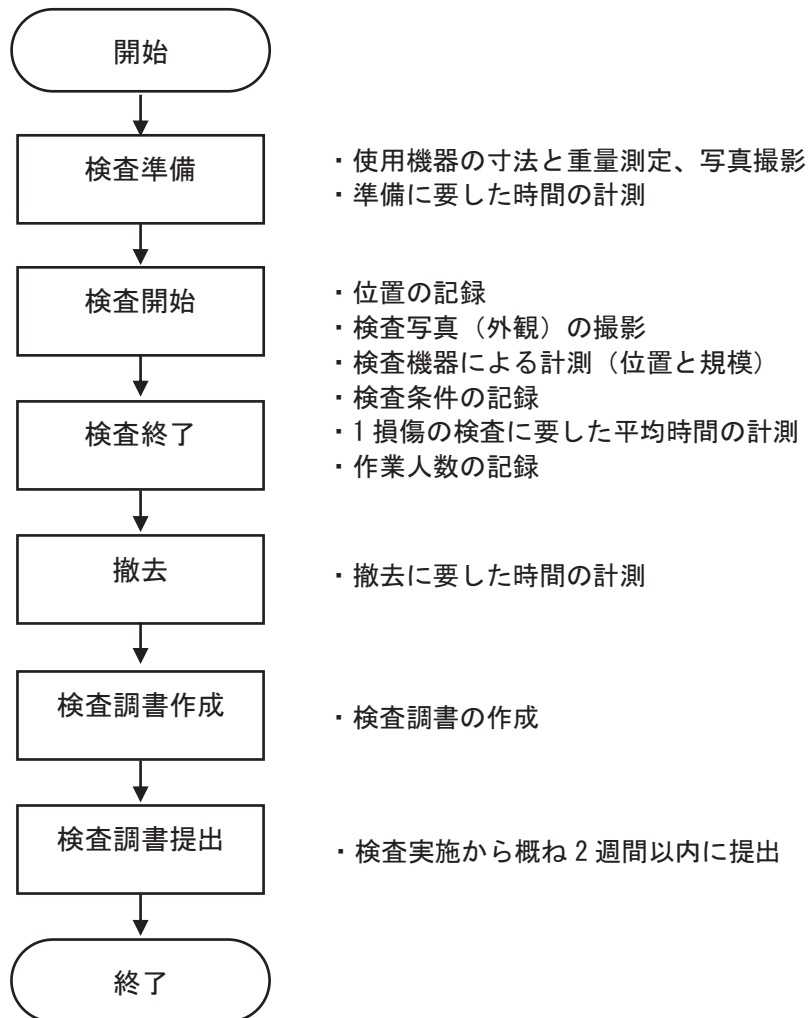


図-4.1.8 検査手順

(2) 確認項目

表-4.1.3 で整理した評価項目が把握できるように表-4.1.4 の通り確認項目を設定した。

表-4.1.4 検査要領書の確認項目

確認項目	内容
1) コンクリート内部の空洞	①空洞の位置 (X、Y、Z) ②空洞の形状寸法 (x、y、z)
2) コンクリート内部のうき	①うきの位置 (X、Y、Z) ②うきの形状寸法 (x、y、z)
3) コンクリート内部のひび割れ	1. 測定面Cから測定 ①ひび割れの検査位置 (X、Y、Z) ②ひび割れの長さ (L) 2. 測定面A及びBから測定 ③ひび割れの深さ
4) グラウト充填状態及びPC鋼材の健全性	①グラウト未充填の位置 (X、Y、Z) ②グラウト未充填の形状寸法 (x、y、z) ③グラウト充填率 ④PC鋼材損傷 (腐食、破断) の位置 (X、Y、Z) ⑤PC鋼材損傷 (腐食、破断) の形状寸法 (x、y、z) ⑥PC鋼材の錆の有無 ⑦PC鋼材の径 ⑧PC鋼材の断面欠損率 (破断を含む)
5) 鉄筋の健全性	①鉄筋損傷 (腐食、破断) の位置 (X、Y、Z) ②鉄筋損傷 (腐食、破断) の形状寸法 (x、y、z) ③鉄筋の錆の有無 ④鉄筋の径 ⑤鉄筋の断面欠損率 (破断を含む)
6) 損傷判定方法	①代表的な検査箇所において、損傷判定方法について次の3項目から選択 1) 数値による判定 (健全と損傷の境界値) 2) 診断による判定 (診断の目安とする事象) 3) その他の方法による判定 ②判定の根拠となるデータを示し、判定手順の詳細を記載
7) 検査条件	①検査の条件を詳細に記載 (様式自由) ②測点ごとに検査条件が異なる場合は、測点ごとに条件を記載 ③検査調書に示す展開図で測定不可能な箇所がある場合、その理由 ④計測結果のとりまとめに要した時間
8) 検査精度の評価	①検査の推定精度 (誤差) についての自社評価と根拠について記載

(3) 検査調書

検査調書は下記の 1)～6) について作成するものとした。

- 1) 検査位置図
- 2) 検査写真
- 3) 検査結果
 - a. コンクリート内部の空洞

- b. コンクリート内部のうき
- c. コンクリート内部のひび割れ
- d. グラウト充填状態及び PC 鋼材の健全性
- e. 鉄筋の健全性
- 4) 損傷判定方法
- 5) 検査条件
- 6) 検査精度の評価

1)では、検査対象供試体の展開図を示し、検査によって内部損傷が確認された位置を図示することを求めた。2)では、測点毎の計測状況と計測結果の写真（機器の計測画面または計測後解析した結果のスクリーンショット等）を一組として掲載することを求めた。3)では、表-4.1.4 で定めた確認項目のうち、各非破壊検査技術が検査の対象とする内部損傷について検査結果の報告を求めた。4)では、代表的な検査箇所において、損傷判定方法について判定の根拠となるデータを示し、判定手順の詳細を具体的に記載するように求めた。5)では、検査を実施した時の検査条件（使用機器の設定値等）を具体的に示すことを求めた。6)では、検査結果に対して、使用した検査機器の計測原理等を根拠とした検査精度の自己評価を実施することを求めた。

(4) 結果の報告

結果の報告は検査調書の提出をもって行うこととし、検査終了後概ね 2 週間以内に提出を求めた。

4.1.7 検査結果の整理

(1) 検査結果の評価方法

1) 用語の定義

- ①「検知対象」とは、検査機器の原理や仕様から検知できる（または検知できると想定される）内部損傷とした。
- ②「一致」とは、着目面の検査において、推定された内部損傷種類と、模擬された内部損傷の種類が一致した場合とした。または、内部損傷を模擬していない検査面の検査において、損傷なしと判定した場合とした。
- ③「不一致」とは、着目面の検査において、推定された内部損傷の種類と、模擬された内部損傷の種類が一致しなかった場合とした。
- ④「未特定」とは、着目面の検査において、内部損傷の存在を推定しているが、その種類までは特定できていない場合とした。
- ⑤「空振り」とは、内部損傷を模擬していない供試体において、誤って内部損傷が推定された場合とした。

- ⑥「見逃し」とは、着目面の検査において、損傷なしと判定した場合とした。
- ⑦「検知不可」とは、検知対象の内部損傷の種類を推定できなかった場合とした。
- ⑧「正答率」とは、検査技術の内部損傷の検知性能を表す指標として、下式のように定義した。

正答率（内部損傷の種類毎）＝一致（②）／内部損傷数

- ⑨「見逃率」とは、検査技術の内部損傷の検知性能を表す指標として、下式のように定義した。

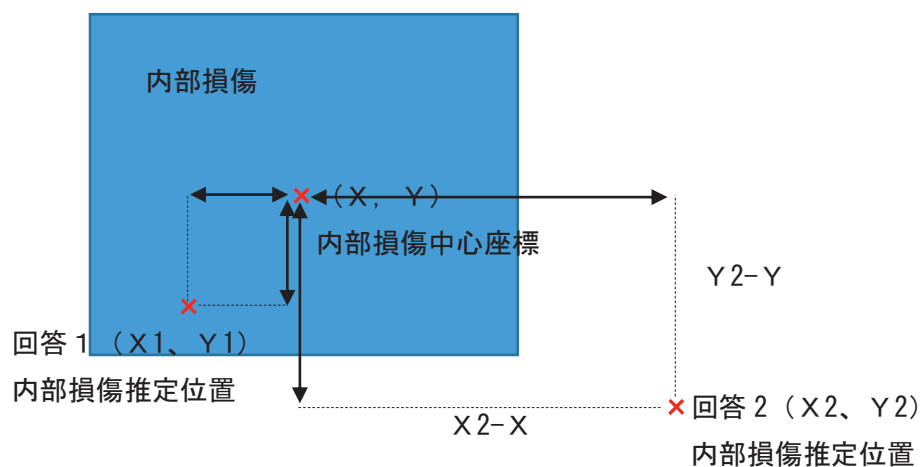
見逃率（内部損傷の種類毎）＝見逃し（⑥）／内部損傷数

2) 計測誤差の評価

計測誤差は、損傷位置に関する誤差と損傷形状に関する誤差で評価した。

損傷位置の誤差は、「正答」した内部損傷について算出した。推定された内部損傷の座標（X、Y、Z）と供試体に模擬された内部損傷の座標との差から誤差を算出した。損傷位置の計測誤差算出イメージを図-4.1.9に示す。Z方向（深さ方向）の誤差については、検査面からの純かぶりをを用いて算出した。

損傷形状の誤差は、「正答」した内部損傷について算出した。推定された内部損傷の形状寸法（x、y、z）と実際の内部損傷の形状寸法の差を誤差とした。



回答 1 の損傷位置の計測誤差は（X1-X、Y1-Y）

回答 2 の損傷位置の計測誤差は（X2-X、Y2-Y）

図-4.1.9 損傷位置の計測誤差算出方法

(2) 検知可能な内部損傷

各検査ケースと要素供試体の内部損傷を照合し、検知可能な内部損傷および正答率、見逃率について整理した。まず、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実施したアンケートによる事前申告結果との対比を行った。対比結果を表-4.1.5に示す。次に、要素供試体を用いた場合の内部損傷の正答率と見逃率について整理した。内部損傷の判定結果を表-4.1.6～表-4.1.11、正答率と見逃率を図-4.1.10～図-4.1.15に示す。さらに実損傷供試体と模擬損傷供試体の検査結果と比較することで、検査結果に影響を及ぼす要因をできるだけ排除することを目的として作製した要素供試体の妥当性について確認した。比較結果を表-4.1.12に示す。

1) 検知可能な内部損傷

- ・表-4.1.5の通り、すべての内部損傷の項目において、いずれかの検査技術によって内部損傷の判定が「一致」となっている。
- ・ほとんどのケースで事前申告通りに内部損傷が検知されている。
- ・内部損傷の種別が事前に明らかにされているため、検知対象でない内部損傷が検知されているケースがある。

表-4.1.5 検査ケース別の検知可能な内部損傷の整理

内部損傷 検査ケース		空洞		うき		ひび割れ		グラウト 充填状態		PC鋼材の 健全性 (腐食、断面欠 損、破断)		鉄筋の 健全性 (腐食、断面欠 損、破断)	
		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		○	◎	○	▲	○	◎						
②		○	×	○	×	○	×						
③		○	×	○	◎	○	◎		◎		◎		◎
④			◎		◎		◎		◎	○	◎	○	◎
⑤		○	◎	○	◎								
⑥							◎	○	◎		◎		
⑦													
⑧								○	◎		◎		
⑨		○	◎	○	◎	○		○					
⑩				○	◎								
⑪		○	◎	○	◎			○				○	
⑫			◎		◎								
⑬			◎		×		◎		◎				
⑭		○	◎		◎		◎		◎				
⑮								○					
⑯								○					
⑰								○					
⑱		○	◎	○	◎		◎						
⑲		○	◎					○	◎				◎
⑳		○	◎		◎		◎						
㉑		○		○									
㉒		○	◎	○	◎		◎						

※複数の検査面に対して、1箇所でも「一致」の判定がされた場合は「◎」としている

※灰色着色は要素供試体に対する検査不参加

2)内部損傷の正答率及び見逃率

- ・表 4.1.6、図-4.1.10 に示す通り、「空洞」を検知できたのは 13 ケースであり、正答率は 8～100%である。「空洞」を一部見逃していたのは 3 ケースであり、見逃率は 8～75%である。「空洞」を 1箇所も検知できなかったのは 2 ケースである。
- ・表 4.1.7、図-4.1.11 に示す通り、「うき」を検知できたのは 11 ケースであり、正答率は 8～83%である。「うき」を一部見逃していたのは 3 ケースであり、見逃率は 8～83%である。「うき」を検知できなかったのは 2 ケースである。
- ・表 4.1.8、図-4.1.12 に示す通り、「グラウト充填状態」について「一致」したのは 7 ケースであり、正答率は 8～42%である。「グラウト充填状態」を見逃していたケースはない。
- ・表 4.1.9、図-4.1.13 に示す通り、「PC 鋼材の健全性(腐食、断面欠損、破断)」について「一致」したのは 4 ケースであり、正答率は 8～25%である。「PC 鋼材の健全性(腐食、断面欠損、破断)」を一部見逃していたのは 1 ケースであり、見逃率は 25%である。「PC 鋼材の健全性(腐食、断面欠損、破断)」を 1箇所も検知できなかったのは 1 ケースである。
- ・表 4.1.10、図-4.1.14 に示す通り、「鉄筋の健全性(腐食、断面欠損、破断)」について「一致」したのは 1 ケースであり、正答率は 8～17%である。「鉄筋の健全性(腐食、断面欠損、破断)」を一部見逃していたのは 1 ケースであり、見逃率は 25%である。「鉄筋の健全性(腐食、断面欠損、破断)」を 1箇所も検知できなかったのは 1 ケースである。
- ・表 4.1.11、図-4.1.15 に示す通り、「ひび割れ」を検知できたのは 9 ケースであり、正答率は 8～50%である。「ひび割れ」を一部見逃していたのは 1 ケースであり、見逃率は 25%である。「ひび割れ」を 1箇所も検知できなかったのは 1 ケースである。

表-4.1.6 内部損傷の判定結果（空洞）

検査ケース	判定(箇所数)			正答率	見逃率
	一致	見逃し	検知不可		
①	3	9	0	25 %	75 %
②	0	0	12	0 %	0 %
③	0	0	12	0 %	0 %
④	4	0	8	33 %	0 %
⑤	2	0	10	17 %	0 %
⑨	10	0	2	83 %	0 %
⑩	1	0	11	8 %	0 %
⑪	5	0	7	42 %	0 %
⑫	3	0	9	25 %	0 %
⑬	1	0	11	8 %	0 %
⑭	7	0	5	58 %	0 %
⑱	11	1	0	92 %	8 %
⑲	6	0	6	50 %	0 %
⑳	11	1	0	92 %	8 %
㉔	12	0	0	100 %	0 %

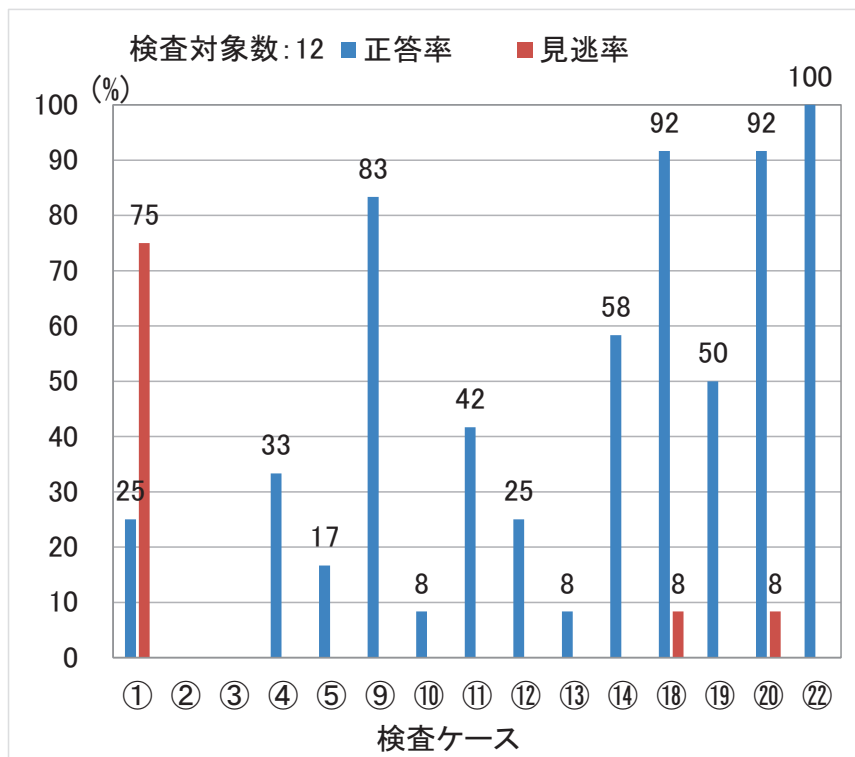


図-4.1.10 内部損傷の正答率及び見逃率（空洞）

表-4.1.7 内部損傷の判定結果（うき）

検査ケース	判定(箇所数)			正答率	見逃率
	一致	見逃し	検知不可		
①	0	10	0	0 %	83 %
②	0	0	10	0 %	0 %
③	1	0	9	8 %	0 %
④	5	0	5	42 %	0 %
⑤	1	0	9	8 %	0 %
⑨	10	0	0	83 %	0 %
⑩	6	0	4	50 %	0 %
⑪	6	0	4	50 %	0 %
⑫	3	0	7	25 %	0 %
⑬	0	0	10	0 %	0 %
⑭	3	0	7	25 %	0 %
⑱	9	1	0	75 %	8 %
⑳	9	1	0	75 %	8 %
㉒	7	0	3	58 %	0 %

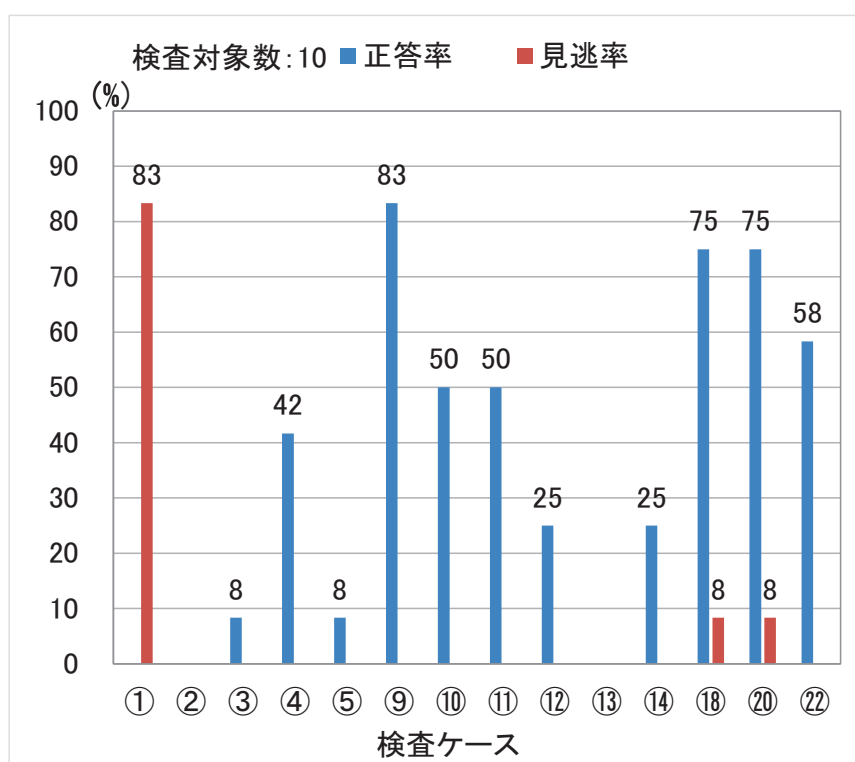


図-4.1.11 内部損傷の正答率及び見逃率（うき）

表-4.1.8 内部損傷の判定結果（グラウト充填状態）

検査 ケース	判定(箇所数)							正答率	見逃率
	一致	不一致	未特定	空振り	見逃し	検知不可	未計測又は 検知対象外		
③	5	0	0	0	0	0	5	42 %	0 %
④	4	0	0	3	0	0	3	33 %	0 %
⑥	3	0	0	3	0	0	4	25 %	0 %
⑧	1	0	0	0	0	4	5	8 %	0 %
⑬	3	0	0	1	0	6	0	25 %	0 %
⑭	2	0	0	1	0	7	0	17 %	0 %
⑲	2	0	0	0	0	0	8	17 %	0 %

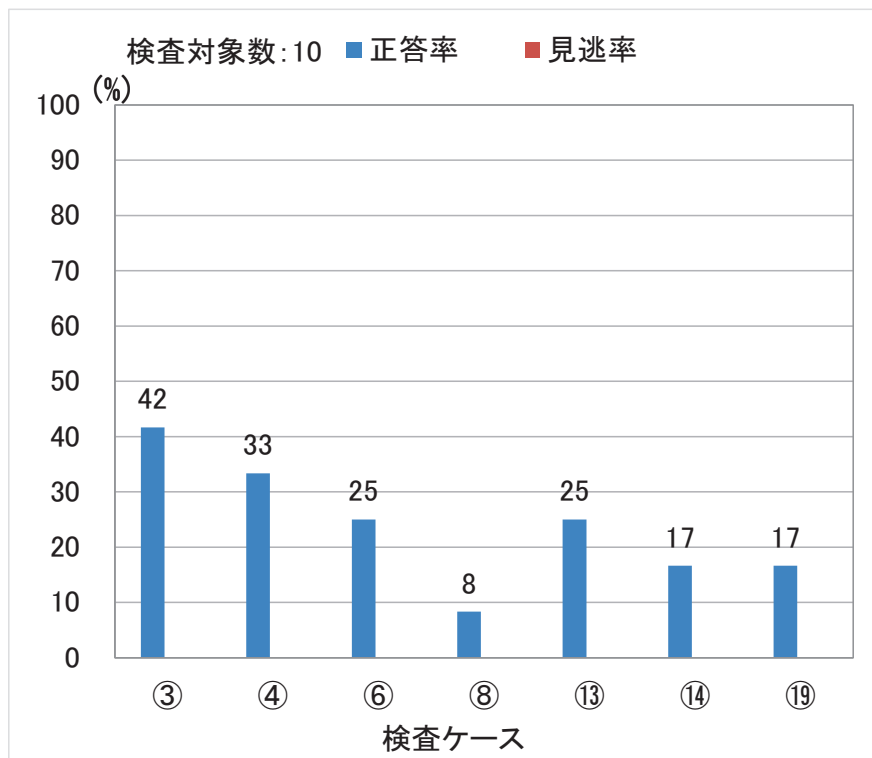


図-4.1.12 内部損傷の正答率及び見逃率（グラウト充填状態）

表-4.1.9 内部損傷の判定結果（PC 鋼材の健全性）

検査 ケース	判定（箇所数）							正答率	見逃率
	一致	不一致	未特定	空振り	見逃し	検知不可	未計測又は 検知対象外		
③	3	0	0	0	3	0	5	25 %	25 %
④	1	1	0	2	0	0	7	8 %	0 %
⑥	1	0	3	3	0	0	4	8 %	0 %
⑧	1	0	0	0	0	4	6	8 %	0 %
⑯	0	0	0	0	0	2	9	0 %	0 %

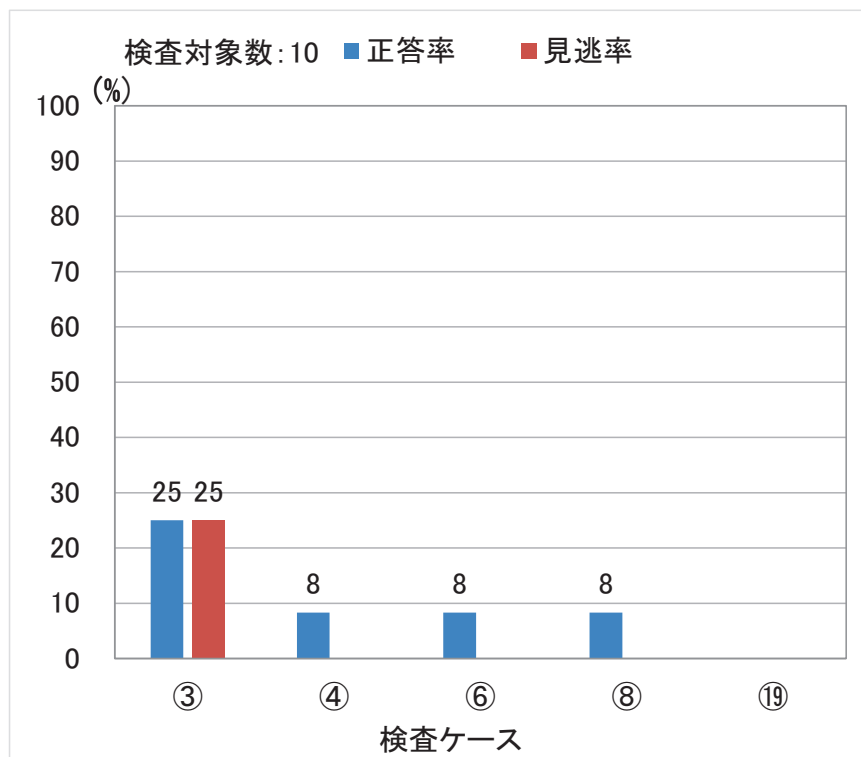


図-4.1.13 内部損傷の正答率及び見逃率（PC 鋼材の健全性）

表-4.1.10 内部損傷の判定結果（鉄筋の健全性）

検査 ケース	判定（箇所数）							正答率	見逃率
	一致	不一致	未特定	空振り	見逃し	検知不可	未計測又は 検知対象外		
③	1	0	0	0	3	0	6	8 %	25 %
④	1	2	1	2	0	0	4	8 %	0 %
⑱	2	0	0	0	0	8	0	17 %	0 %

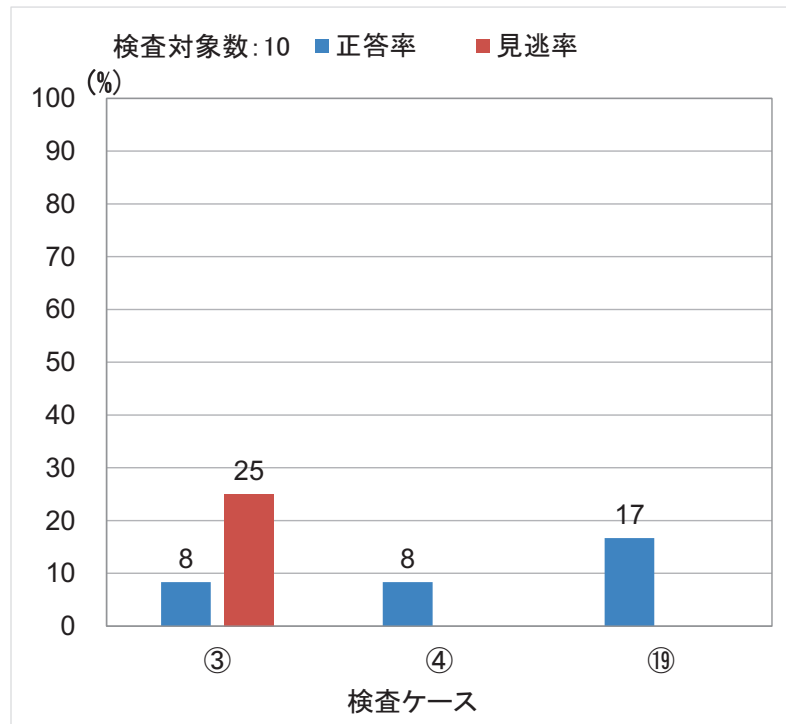


図-4.1.14 内部損傷の正答率及び見逃率（鉄筋の健全性）

表-4.1.11 内部損傷の判定結果（ひび割れ）

検査ケース	判定(箇所数)				正答率	見逃率
	一致	見逃し	検知不可	未計測又は 検知対象外		
①	3	3	0	6	25 %	25 %
②	0	0	12	0	0 %	0 %
③	6	0	6	0	50 %	0 %
④	2	0	0	10	17 %	0 %
⑥	6	0	0	6	50 %	0 %
⑬	5	0	7	0	42 %	0 %
⑭	1	0	11	0	8 %	0 %
⑱	6	0	0	6	50 %	0 %
⑳	6	0	0	6	50 %	0 %
㉒	6	0	6	0	50 %	0 %

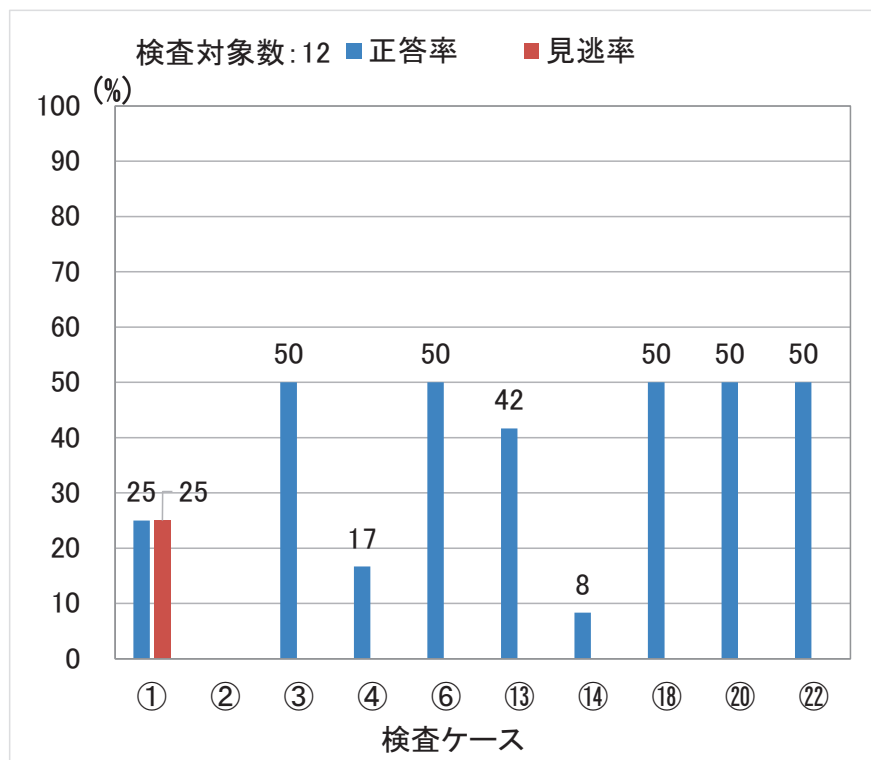


図-4.1.15 内部損傷の正答率及び見逃率（ひび割れ）

3)実損傷供試体と模擬損傷供試体の検査結果との比較

- ・表 4.1.12 の通り、実損傷供試体と模擬損傷供試体の検査結果と要素供試体の検査結果を比較すると、16 ケースで検知性能が向上している。
- ・「PC 鋼材の健全性」と「鉄筋の健全性」は、実損傷供試体、模擬損傷供試体に対する検査でほとんど検知できていなかったが、検査対象とする内部損傷が限定されたことで検知性能が向上したと考えられる。

表-4.1.12 検知可能な損傷の整理（実損傷供試体、模擬損傷供試体）

検査技術		空洞			うき			ひび割れ			グラウト 充填状態			PC鋼材の健全性 (腐食、断面欠損、破 断)			鉄筋の健全性 (腐食、断面欠損、破 断)		
		実損傷	模擬	要素	実損傷	模擬	要素	実損傷	模擬	要素	実損傷	模擬	要素	実損傷	模擬	要素	実損傷	模擬	要素
①	損傷	×	×	◎	×	×	▲	×	×	◎									
②		×	×	×	×	×	×	×	×	×									
③		△	×	×	×	△	◎	◎	×	◎			◎			◎			◎
④				◎			◎			◎			◎			◎			◎
⑤		×	△	◎	×	△	◎												
⑥										◎	×	×	◎			◎			
⑦																			
⑧			◎								◎	×	◎			◎	◎		
⑨			◎	◎		△	◎		△			◇							
⑩					×	◎													
⑪		△	◎	◎	×	△	◎				×	×					×	×	
⑫				◎			◎												
⑬				◎			×			◎			◎						
⑭		×	◎	◎		△	◎			◎		◎	◎		△				
⑮											◎	◎			△			△	
⑯																			
⑰																			
⑱		×	×	◎	×	×	◎			◎									
⑲		×	◎	◎							◎	◎	◎						◎
⑳		×	△	◎		△	◎			◎		◎			△				
㉑		×	×		×	◎													
㉒			×	◎		×	◎			◎									

※灰色着色は要素供試体に対する検査不参加

(3) 判別可能な内部損傷の詳細項目の把握

非破壊検査技術によって、検知可能な詳細の項目は異なる。そこで、要素供試体に模擬した内部損傷の詳細項目について整理した。項目毎に整理した結果を表-4.1.13～表-4.1.14 に示す。なお、複数の検査面に対して検査を実施しているため、検査結果が「一致」と判別されたもののうち、1箇所でも詳細の項目が検知されている場合は「◎」と評価している。

- ・「空洞」が検知された 13 ケースのうち、位置、形状寸法の両方が検知されているのは 11 ケースである。
- ・「うき」が検知された 11 ケースのうち、位置、形状寸法の両方が検知されているのは 8 ケースである。
- ・「ひび割れ」が検知された 9 ケースのうち、位置、長さ、深さのすべての項目が検知されているのは 2 ケースである。
- ・「グラウト充填状態」が検知された 5 ケースのうち、位置、形状寸法、充填率のすべての項目が検知されているのは 1 ケースである。
- ・「PC 鋼材の健全性(腐食、断面欠損、破断)」が検知された 4 ケースのうち、すべての項目が検知されている検査ケースはない。
- ・「鉄筋の健全性(腐食、断面欠損、破断)」が検知された 3 ケースのうち、すべての項目が検知されているのは 1 ケースである。

表-4.1.13 判別可能な内部損傷の詳細項目 (1/2)

◎：検知可能 ×：検知不可
空欄：計測データなしまたは対象外

内部損傷 検査ケース	空洞		うき		ひび割れ			グラウト充填状態		
	位置	形状寸法	位置	形状寸法	位置	長さ	深さ	位置	形状寸法	充填率
①	◎	◎	×	×	◎	◎	◎			
②	×	×	×	×	×	×	×			
③	×	×	◎	◎	×	×	◎	×	×	×
④	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
⑤	◎	×	◎	×						
⑥					×	×	◎	×	×	×
⑦										
⑧								×	◎	×
⑨	◎	◎	◎	◎						
⑩	◎	◎	◎	◎						
⑪	◎	◎	◎	◎						
⑫	◎	◎	◎	◎						
⑬	◎	◎	×	×	◎	◎	×	×	◎	×
⑭	◎	◎	◎	×	◎	×	×	◎	◎	×
⑮										
⑯										
⑰										
⑱	◎	◎	◎	◎	×	×	◎			
⑲	◎	◎						◎	◎	×
⑳	◎	◎	◎	◎	×	×	◎			
㉑										
㉒	◎	×	◎	×	×	×	◎			

※複数の検査面に対して、1箇所でも詳細の項目が検知がされている場合は「◎」としている

※位置、形状寸法は1つでも座標値の回答があれば検知可能と判断

※灰色着色は要素供試体に対する検査不参加

表-4.1.14 判別可能な内部損傷の詳細項目 (2/2)

内部損傷 検査ケース	PC鋼材の健全性(腐食、断面欠損、破断)						鉄筋の健全性(腐食、断面欠損、破断)					
	位置	形状寸法	錆の有無	健全性(破断)	鋼材径	断面欠損	位置	形状寸法	錆の有無	健全性(破断)	鋼材径	断面欠損
①												
②												
③	×	×	×	◎	×	×	×	×	×	◎	×	×
④	◎	◎	×	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
⑤												
⑥	×	×	×	◎	×	×						
⑦												
⑧	×	×	×	◎	×	×						
⑨												
⑩												
⑪												
⑫												
⑬												
⑭												
⑮												
⑯												
⑰												
⑱							◎	◎	◎	◎	×	◎
⑲												
⑳												
㉑												
㉒												

※複数の検査面に対して、1箇所でも詳細の項目が検知がされている場合は「◎」としている

※位置、形状寸法は1つでも座標値の回答があれば検知可能と判断

※灰色着色は要素供試体に対する検査不参加

(4) 内部損傷の位置 (X、Y、Z)

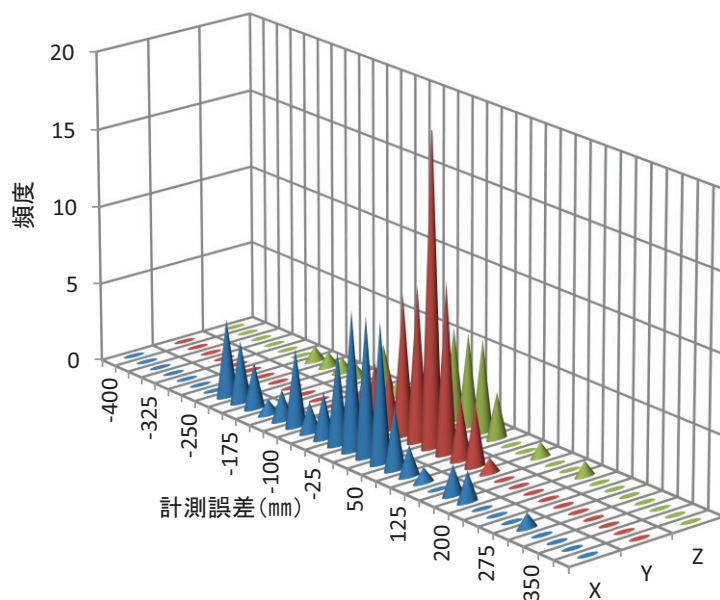
内部損傷の位置に関する検査ケースを座標値 (X、Y、Z) で整理し、要素供試体の内部損傷位置の座標と照合することで、検査精度について整理した。座標 (X、Y、Z) は検査面に対して (横方向、縦方向、深さ方向) を意味する。内部損傷の判定が「一致」であった検査ケースの計測誤差について整理した。

計測誤差の整理は、まず、各方向の計測誤差分布を整理した。次に、XY 方向 (検査面の平面方向) の計測誤差と Z 方向 (深さ方向) の計測誤差の関係を把握するために、Z 方向の計測誤差範囲 $\pm 50\text{mm}$ 毎における XY 方向の計測誤差分布を整理した。Z 方向や XY 方向の計測結果がなかったものについてはそれぞれ整理した。

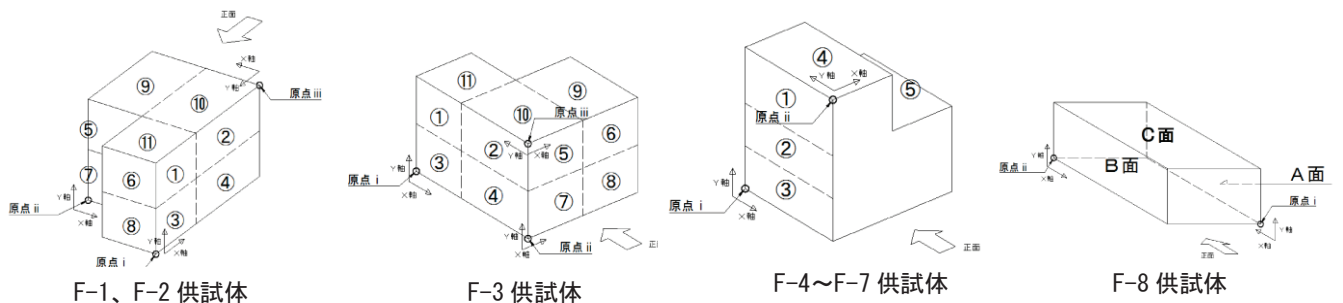
1) 空洞

空洞の計測誤差を図-4.1.16～図-4.1.18 に示す。

- ・ 図-4.1.16 の通り、各方向の計測誤差範囲は、X、Z 方向で $-250\sim 200\text{mm}$ 程度、Y 方向で $-100\sim 150\text{mm}$ 程度である。X、Z 方向と比較して Y 方向の計測誤差範囲は小さい。
- ・ 図-4.1.17 の通り、Z 方向の誤差が $-50\sim 50$ の範囲において、XY 方向の計測データが最も多く、X 方向よりも Y 方向の方が計測誤差は小さい。
- ・ 図-4.1.18 の通り、Z 方向の計測データがない場合については、Z 方向の計測データがある場合と XY 方向の計測誤差の傾向は同じであり、Y 方向よりも X 方向の方が計測誤差範囲は大きい。



(a) 各方向の計測誤差



(b) 各供試体形状と計測方向

図-4.1.16 各方向の計測誤差分布

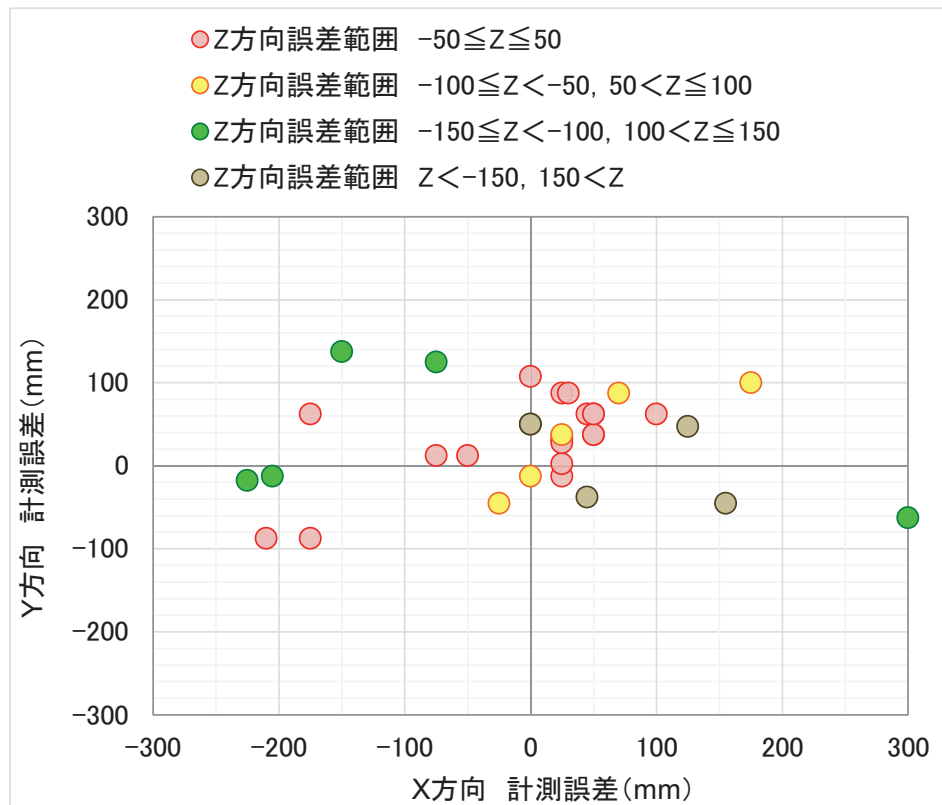


図-4.1.17 XY計測誤差分布

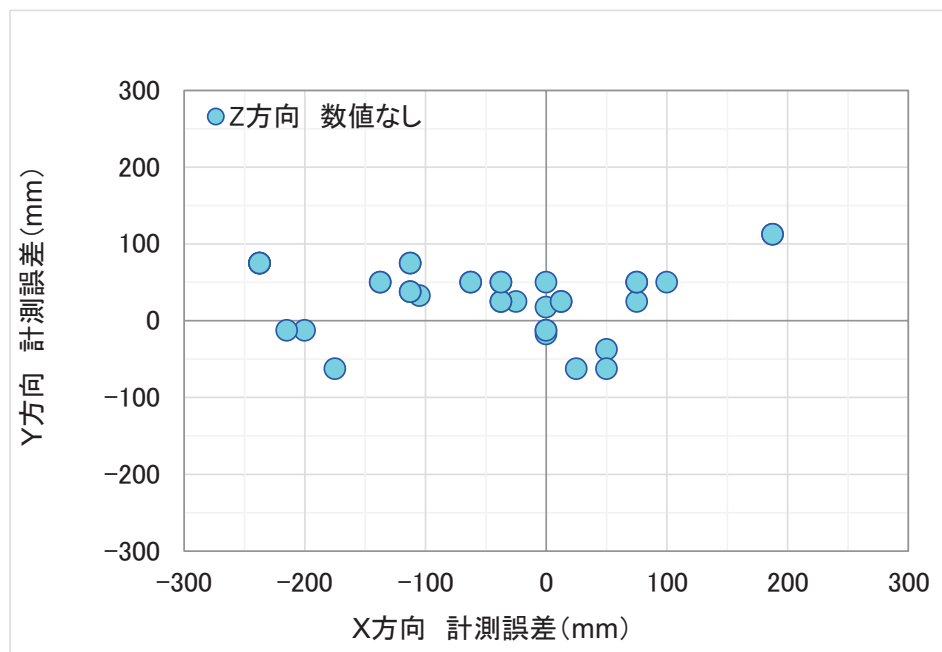
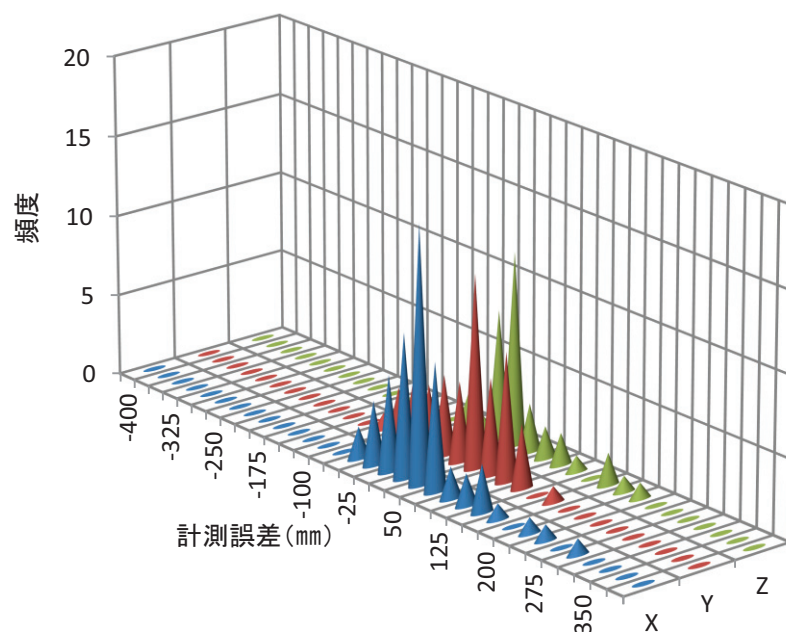


図-4.1.18 XY計測誤差分布 (Z方向の計測値なし)

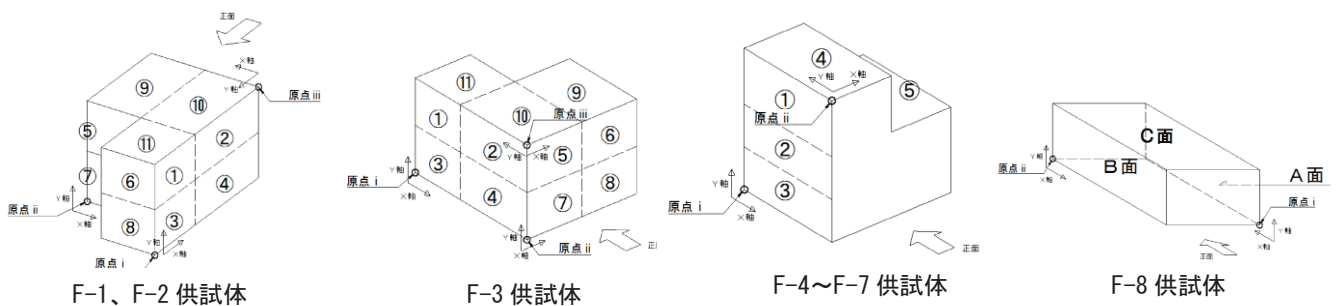
2) うき

うきの計測誤差を図-4.1.19～図-4.1.21 に示す。

- ・図-4.1.19 の通り、各方向の計測誤差範囲は $-100\sim 300\text{mm}$ 程度であり、全体的にプラス側に偏っている。
- ・図-4.1.20 の通り、ほとんどの XY 方向の計測誤差は、Z 方向の誤差が $-50\sim 50$ の範囲に収まっている。また、計測誤差範囲は X 方向よりも Y 方向の方が小さい。
- ・図-4.1.21 の通り、Z 方向の計測データがない場合の XY 方向の計測誤差は、X 方向で $-50\sim 150\text{mm}$ 程度、Y 方向で $-100\sim 150\text{mm}$ 程度である。



(a) 各方向の計測誤差



(b) 各供試体形状と計測方向

図-4.1.19 各方向の計測誤差分布

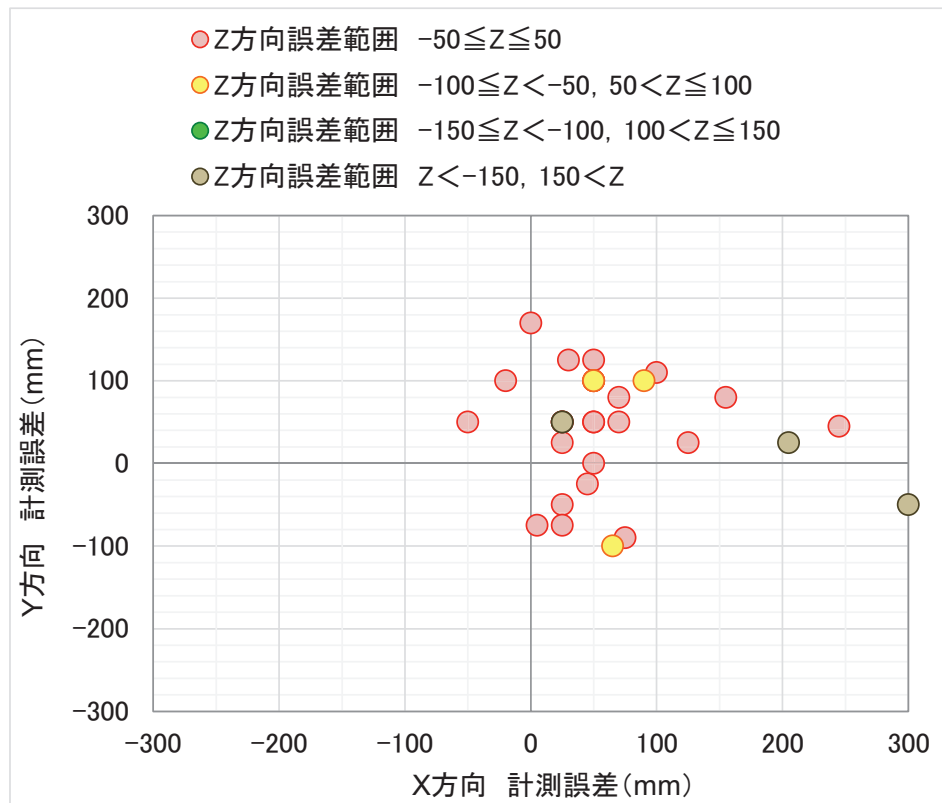


図-4.1.20 XY計測誤差分布

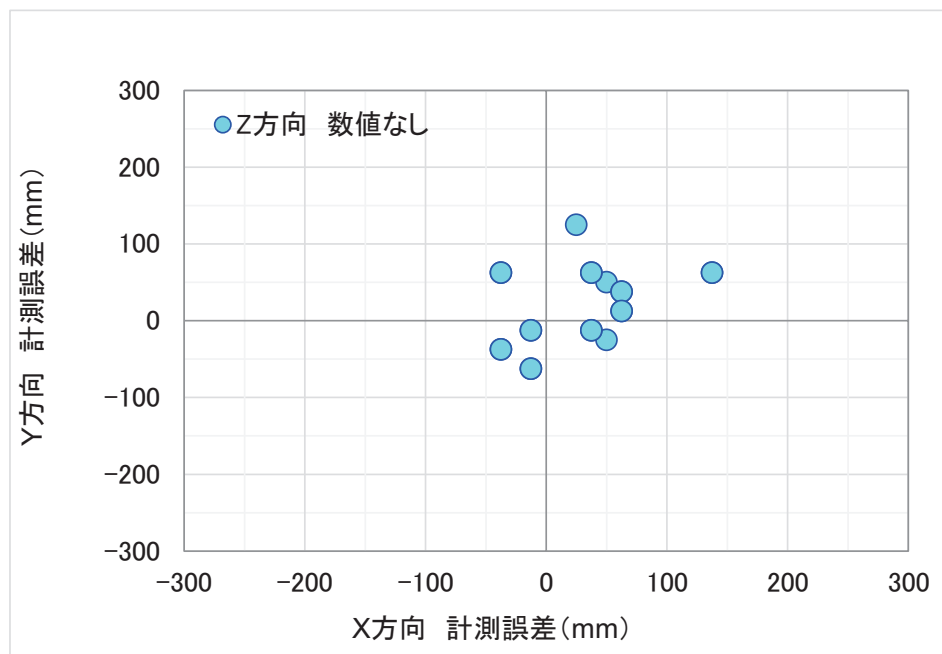
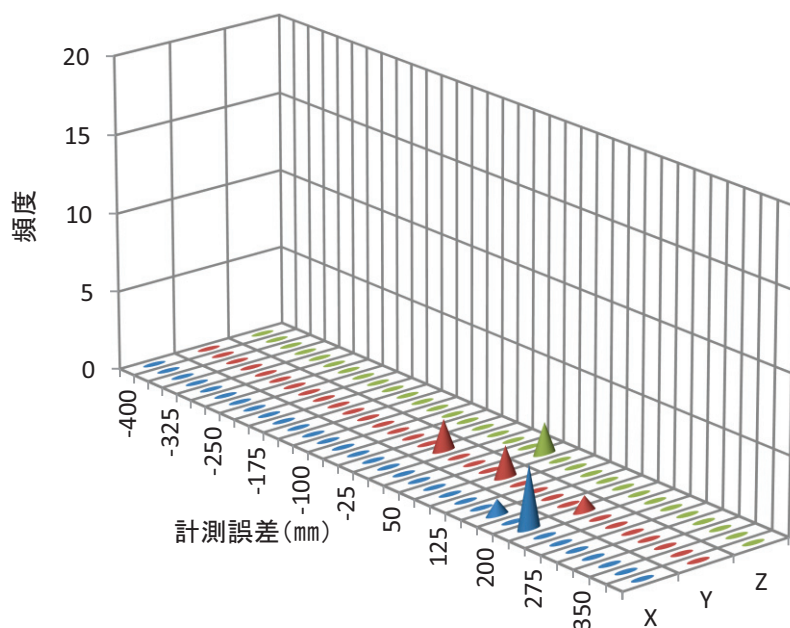


図-4.1.21 XY計測誤差分布 (Z方向の計測値なし)

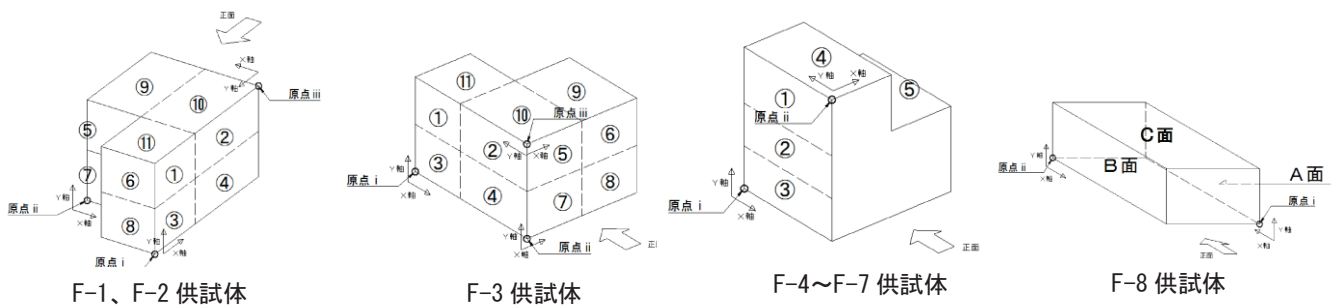
3) グラウト充填状態

グラウト充填状態の計測誤差を図-4.1.22～図-4.1.24 に示す。

- ・ 図-4.1.22 の通り、各方向の計測誤差範囲は 0～200mm 程度であり、全体的にプラス側に偏っている。
- ・ 1箇所内部損傷に対して (X、Y、Z) すべての座標を計測できたケースはない。
- ・ 図-4.1.23～図-4.1.24 の通り、Z 方向の計測データがない場合と XY 方向の計測データがない場合の計測誤差は、それぞれ 200mm 程度と 50mm 程度であるが、計測データが少ないため傾向は不明である。



(a) 各方向の計測誤差



(b) 各供試体形状と計測方向

図-4.1.22 各方向の計測誤差分布

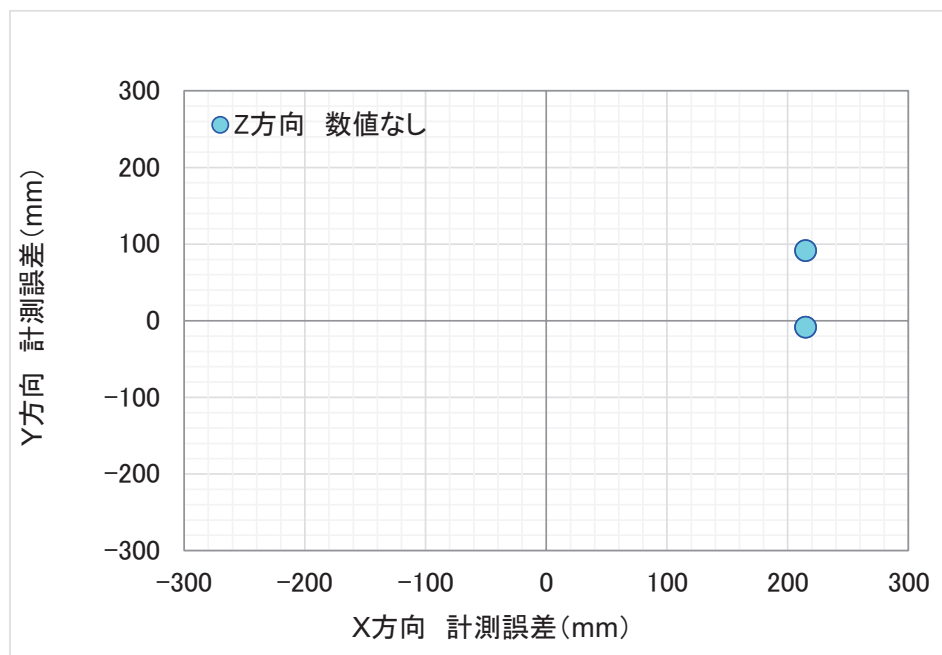


図-4.1.23 XY 計測誤差分布 (Z 方向の計測値なし)

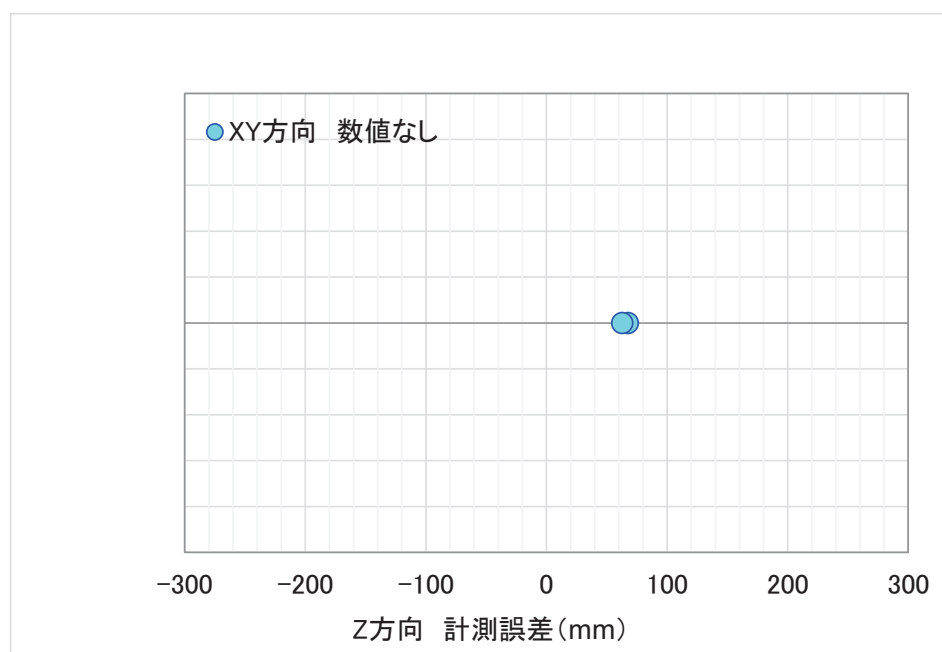
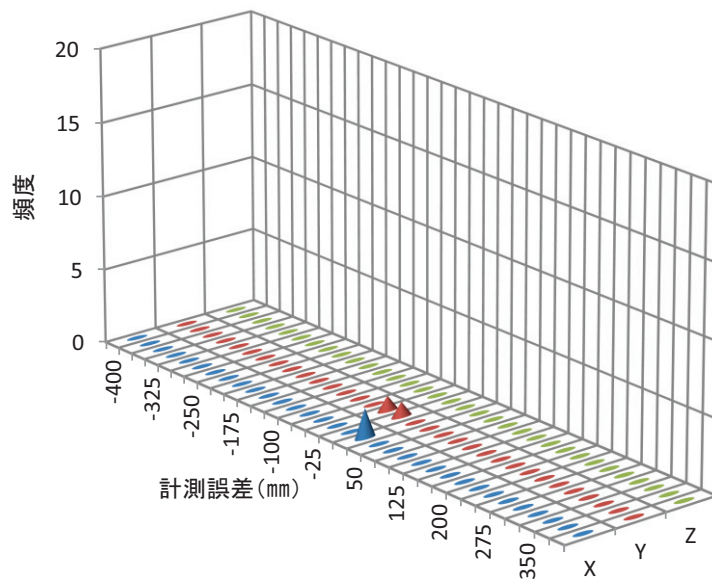


図-4.1.24 Z 計測誤差分布 (XY 方向の計測値なし)

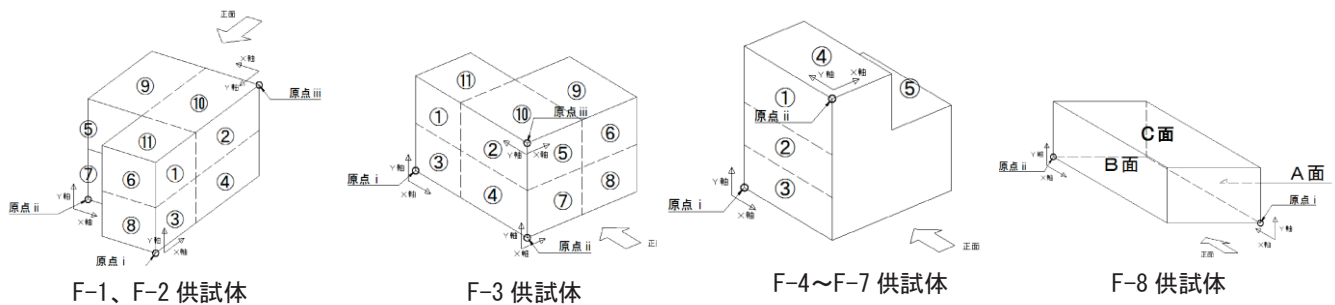
4) 鉄筋の健全性(腐食、断面欠損、破断)

鉄筋の健全性の計測誤差を図-4.1.25～図-4.1.26 に示す。

- ・ 図-4.1.25 の通り、Z 方向の計測データはなく、X、Y 方向についても計測データが少ないため傾向は不明である。



(a) 各方向の計測誤差



(b) 各供試体形状と計測方向

図-4.1.25 各方向の計測誤差分布

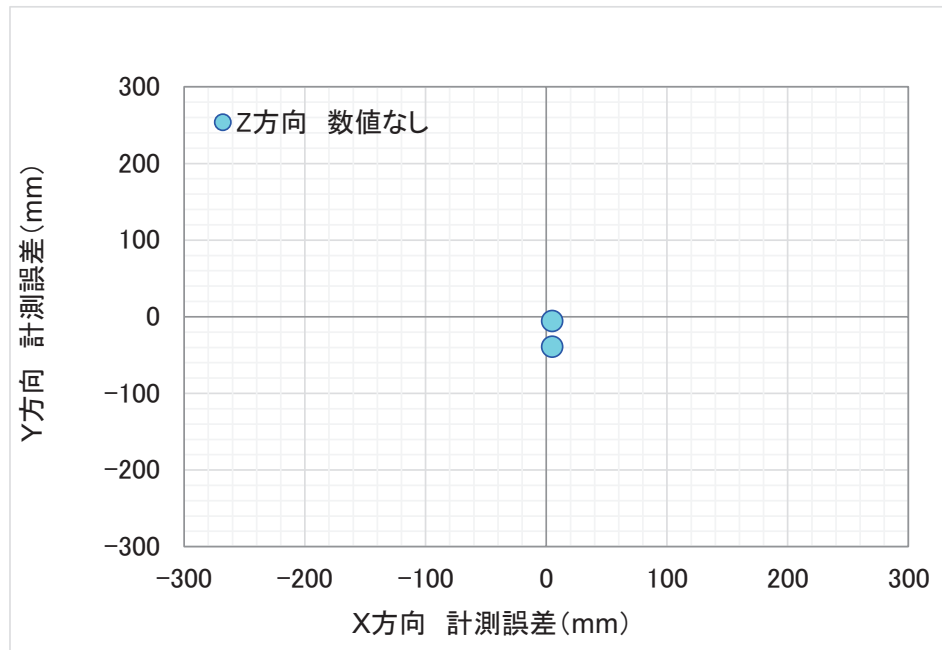
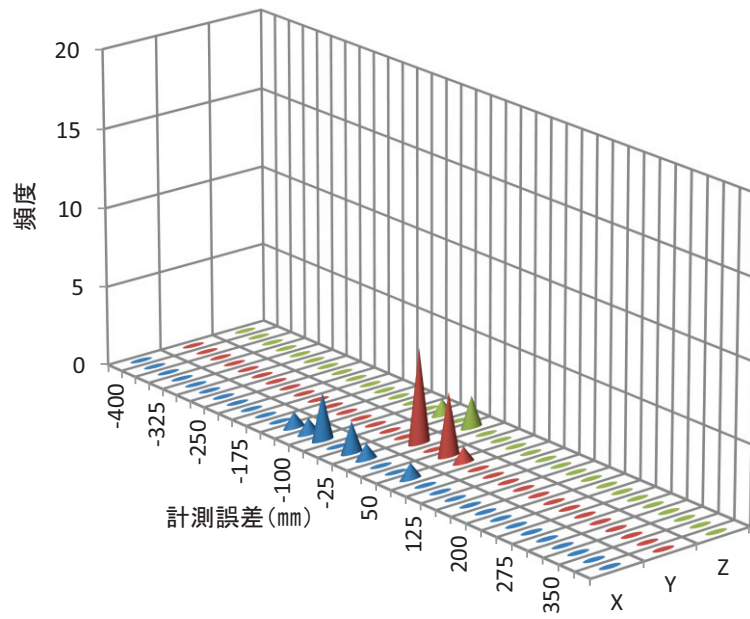


図-4.1.26 XY 計測誤差分布 (Z 方向の計測値なし)

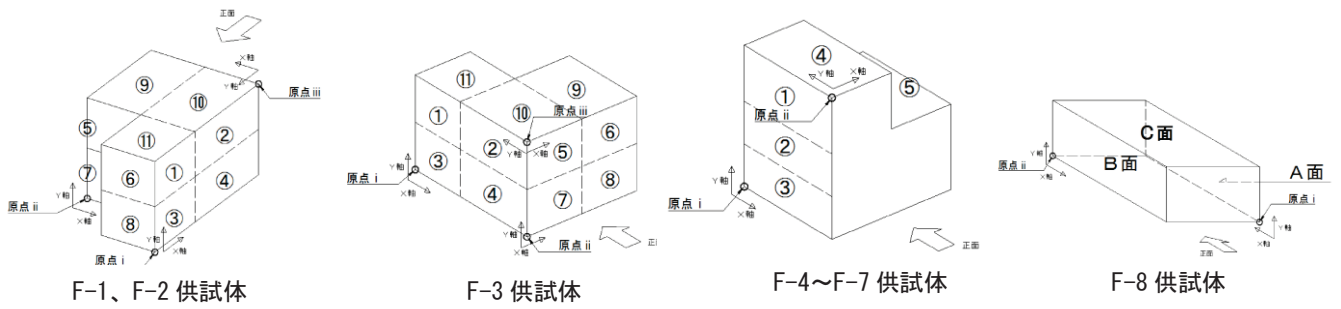
5) ひび割れ

ひび割れの計測誤差を図-4.1.27～図-4.1.30 に示す。

- ・ 図-4.1.27 の通り、各方向の計測誤差範囲は、X 方向で $-150\sim 70\text{mm}$ 程度、Y 方向で $-20\sim 60\text{mm}$ 程度であり、X 方向と比較して Y 方向の計測誤差範囲は小さい。Z 方向については計測データが少ないため傾向は不明である。
- ・ 図-4.1.28 の通り、1 箇所の内部損傷に対して (X、Y、Z) すべての座標を計測できたのは 1 ケースのみであり、傾向は不明である。
- ・ 図-4.1.29 の通り、Z 方向の計測データがない場合については、X 方向よりも Y 方向の方が計測誤差範囲は小さい。
- ・ 図-4.1.30 の通り、XY 方向の計測データがない場合の計測誤差は、計測データが少ないため傾向は不明である。



(a) 各方向の計測誤差



(b) 各供試体形状と計測方向

図-4.1.27 各方向の計測誤差分布

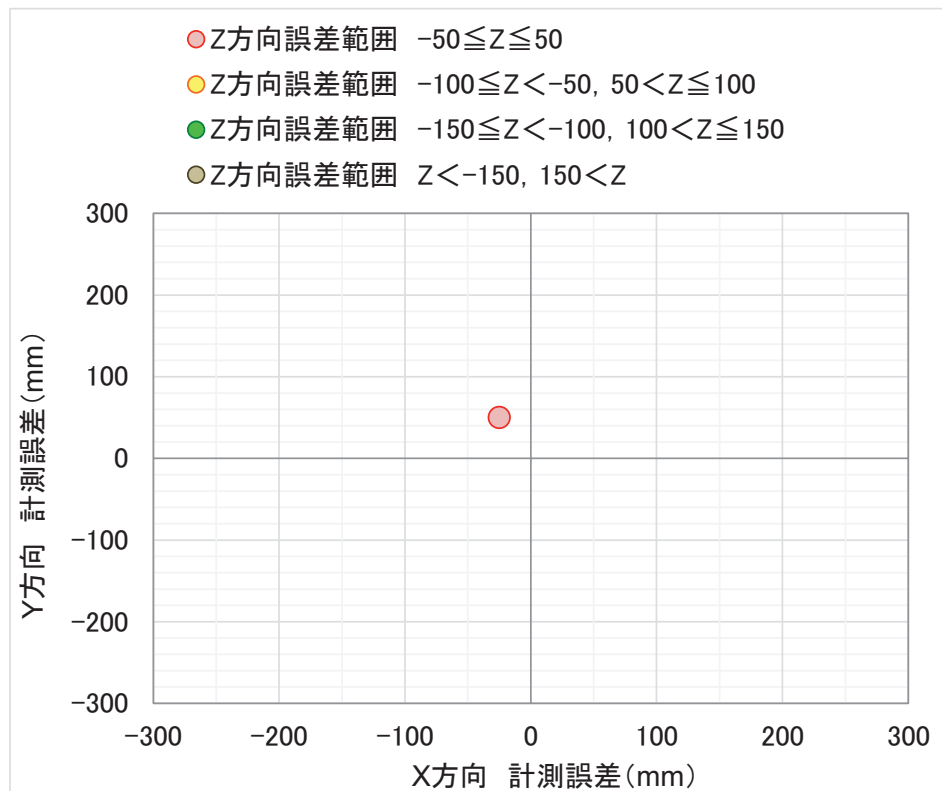


図-4.1.28 XY計測誤差分布

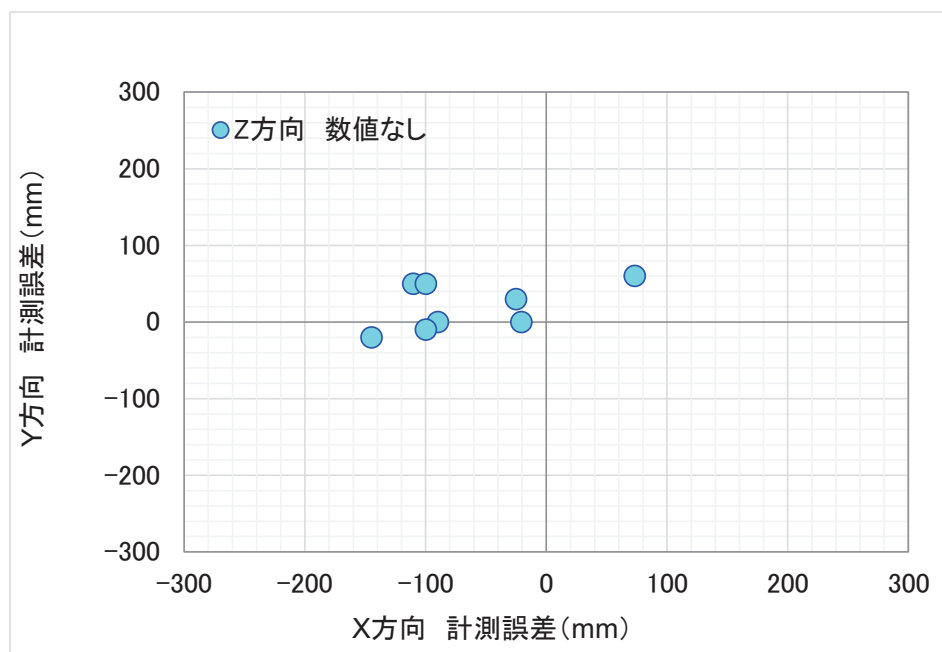


図-4.1.29 XY計測誤差分布 (Z方向の計測値なし)

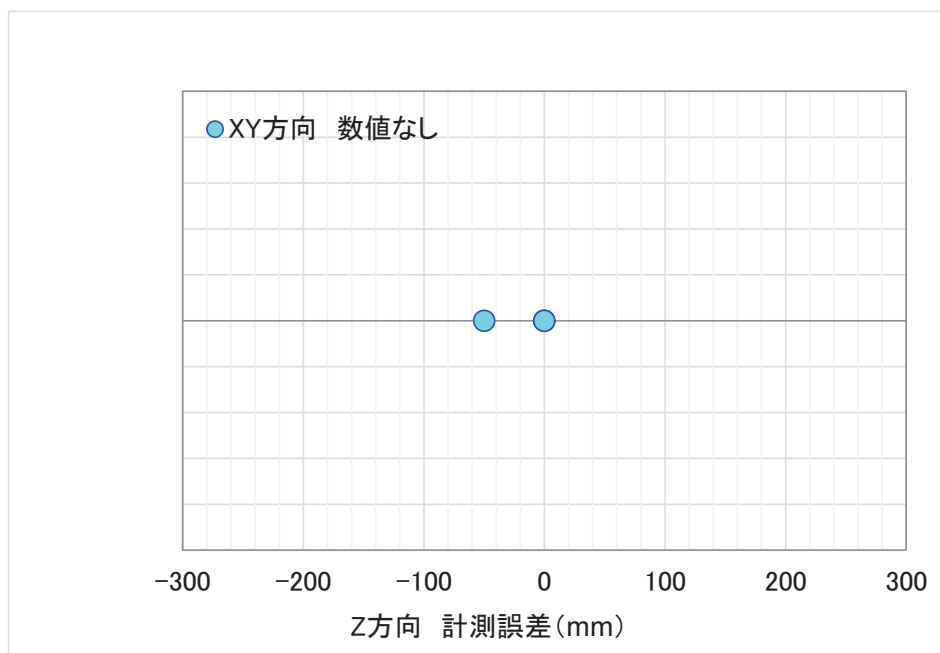


図-4.1.30 Z計測誤差分布 (XY方向の計測値なし)

(5) 内部損傷の形状 (x、y、z)

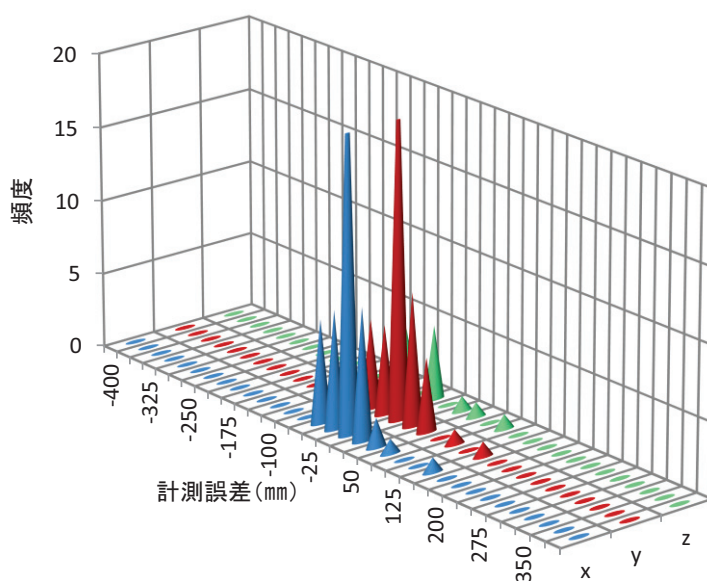
内部損傷の形状に関する検査ケースを座標値 (x、y、z) で整理し、要素供試体の内部損傷形状の座標と照合することで、検査精度について整理した。寸法値 (x、y、z) は検査面に対して横方向、縦方向、深さ方向を意味する。内部損傷の判定が「一致」であった検査ケースの計測誤差について整理した。

計測誤差の整理は、まず、各方向の計測誤差分布を整理した。次に、xy 方向（検査面の平面方向）の計測誤差と z 方向（深さ方向）の計測誤差の関係を把握するために、z 方向の計測誤差範囲 $\pm 50\text{mm}$ 毎における xy 方向の計測誤差分布を整理した。z 方向や xy 方向の計測結果がなかったものについてはそれぞれ整理した。

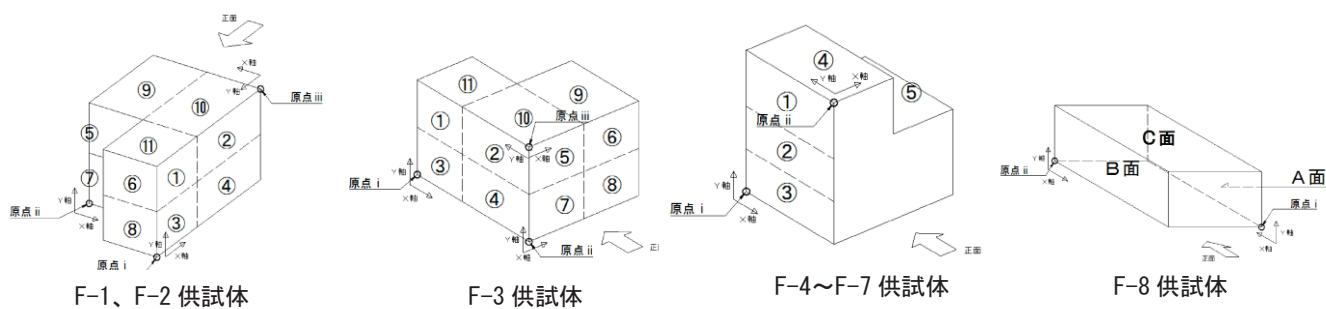
1) 空洞

空洞の計測誤差を図-4.1.31～図-4.1.33 に示す。

- ・ 図-4.1.31 の通り、各方向の計測誤差範囲は $-100\sim150\text{mm}$ 程度であり、計測誤差範囲は概ね同様である。
- ・ 図-4.1.32 の通り、 xy 方向の計測誤差範囲は両方向ともに $-50\sim50\text{mm}$ 程度であり、 z 方向の計測誤差との関係に傾向は見られない。
- ・ 図-4.1.33 の通り、 z 方向の計測データがない場合の xy 方向の計測誤差は、一部計測誤差が大きいものを除き、 x 方向で $\pm 50\text{mm}$ 程度、 y 方向で $\pm 100\text{mm}$ 程度である。



(a) 各方向の計測誤差



(b) 各供試体形状と計測方向

図-4.1.31 各方向の計測誤差分布

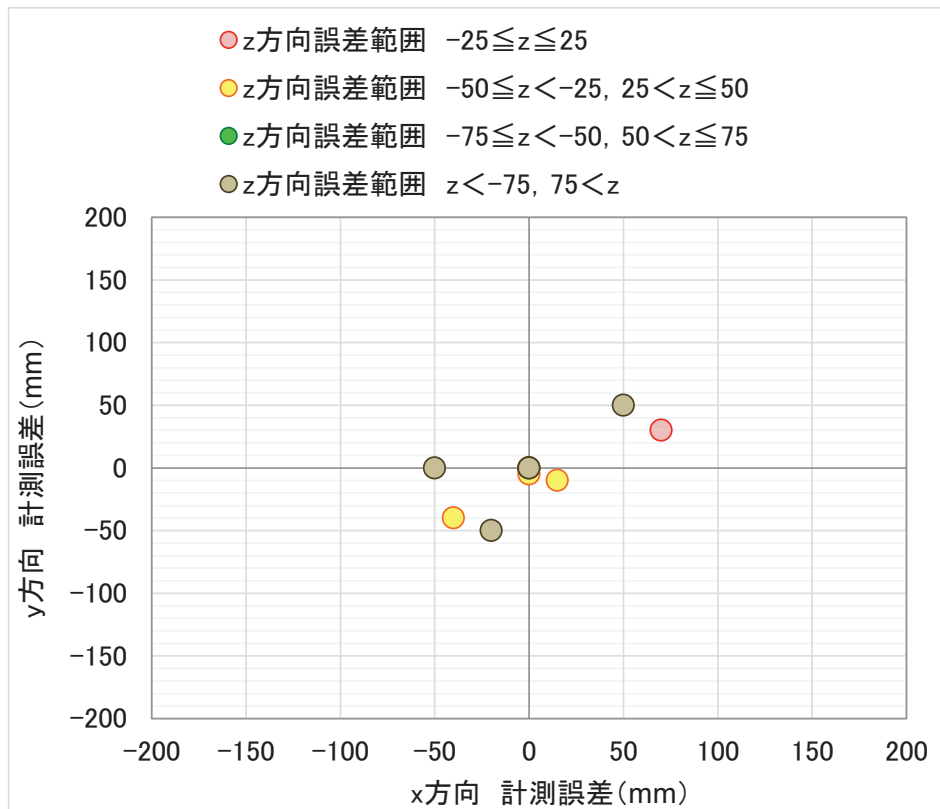


図-4.1.32 xy 計測誤差分布

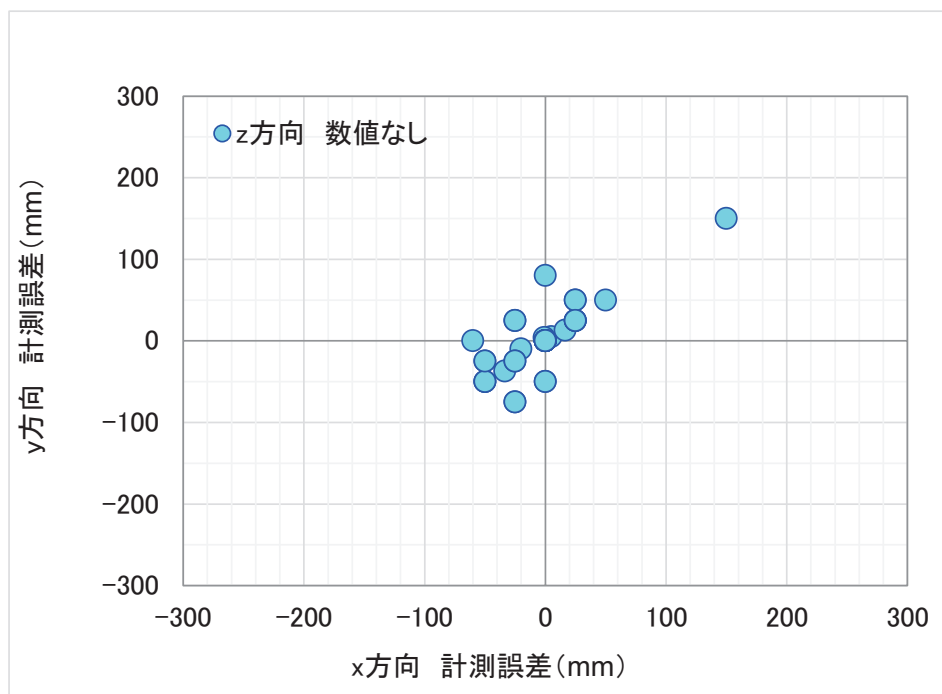
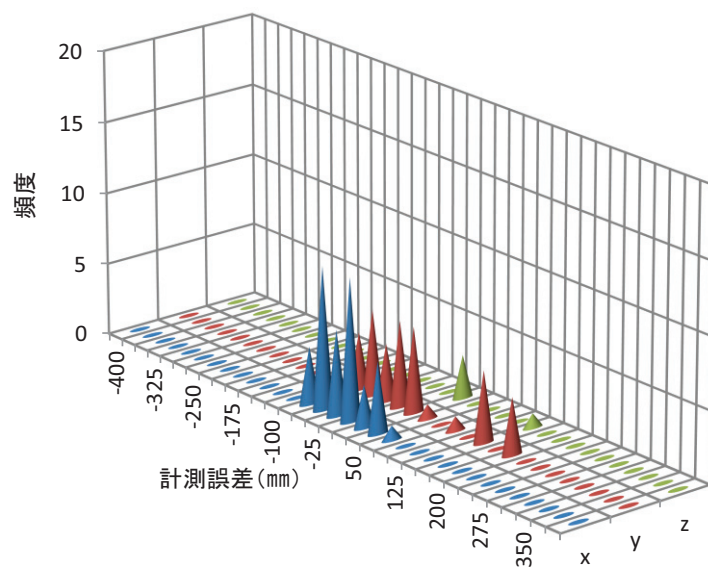


図-4.1.33 xy 計測誤差分布 (z 方向の計測値なし)

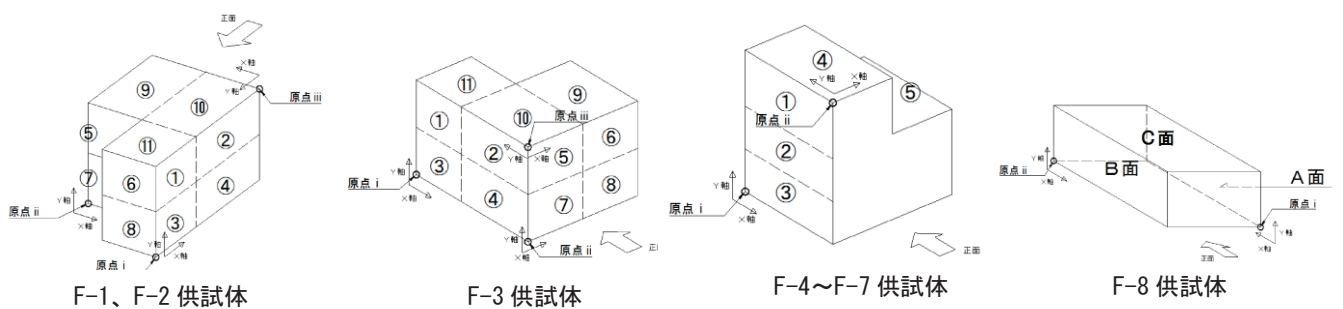
2) うき

うきの計測誤差を図-4.1.34～図-4.1.35 に示す。

- ・ 図-4.1.34 の通り、各方向の計測誤差範囲は、 x 方向で $-350\sim 50\text{mm}$ 程度、 y 方向で $0\sim 350\text{mm}$ 程度であり、 x 方向と比較して y 方向の計測誤差範囲は小さい。 z 方向については計測データが少ないため傾向は不明である。
- ・ 1 箇所の内部損傷に対して (x 、 y 、 z) すべての座標を計測できたケースはない。
- ・ 図-4.1.35 の通り、 z 方向の計測データがない場合の xy 方向の計測誤差は、 x 方向で $-80\sim 50\text{mm}$ 程度、 y 方向で $-90\sim 200\text{mm}$ 程度である。



(a) 各方向の計測誤差



(b) 各供試体形状と計測方向

図-4.1.34 各方向の計測誤差分布

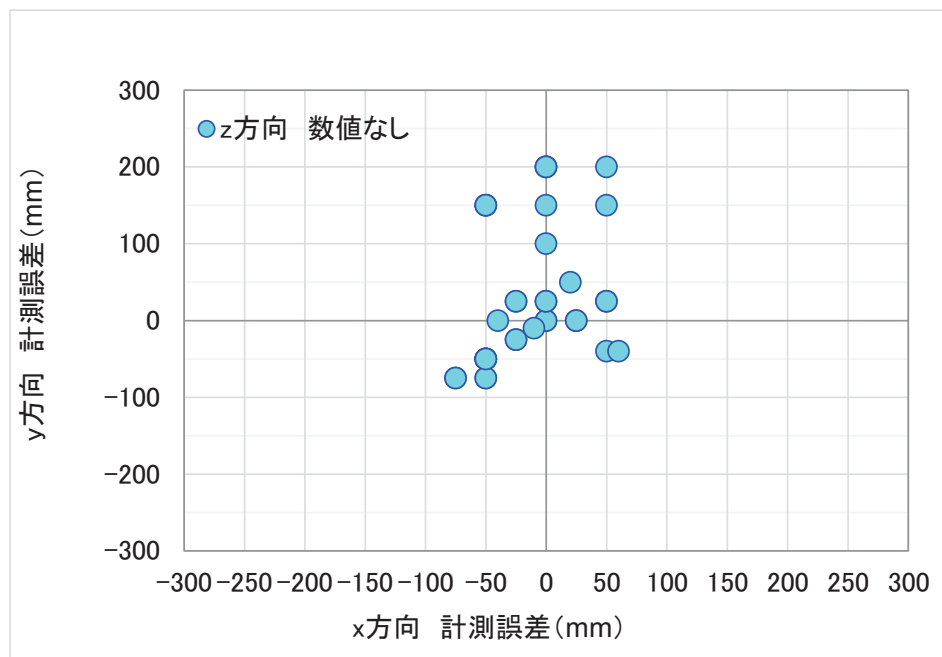
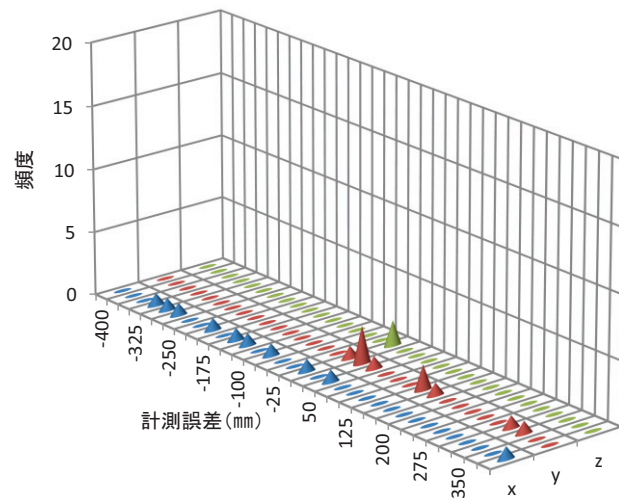


図-4.1.35 xy 計測誤差分布 (z 方向の計測値なし)

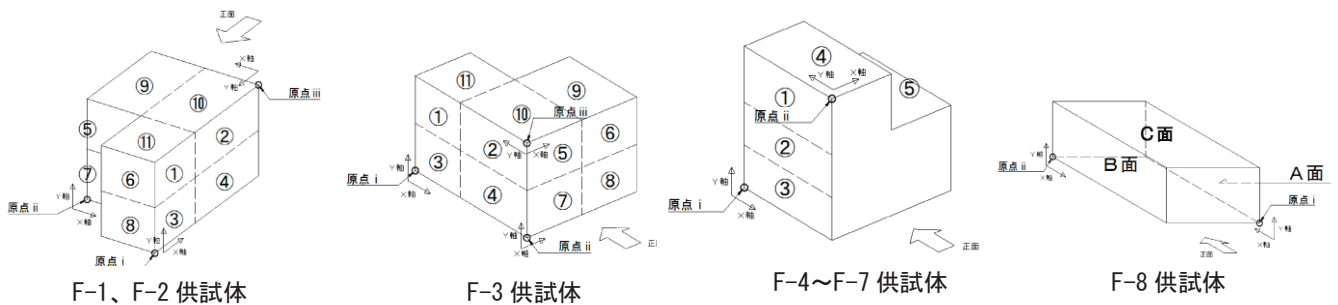
3) グラウト充填不良

グラウト充填不良の計測誤差を図-4.1.36～図-4.1.38 に示す。

- ・ 図-4.1.36 の通り、各方向の計測誤差範囲は、 x 方向で $-350\sim400\text{mm}$ 程度、 y 方向で $0\sim350\text{mm}$ 程度であり、 x 方向と比較して y 方向の計測誤差範囲は小さい。 z 方向については計測データが少ないため傾向は不明である。
- ・ 1 箇所の内部損傷に対して (x 、 y 、 z) すべての座標を計測できたケースはない。
- ・ 図-4.1.37 の通り、 z 方向の計測データがない場合の xy 方向の計測誤差は、 x 方向で $-300\sim400\text{mm}$ 程度、 y 方向で $0\sim300\text{mm}$ 程度である。
- ・ 図-4.1.38 の通り、グラウト充填率の計測誤差は $20\sim60\%$ 程度である。



(a) 各方向の計測誤差



(b) 各供試体形状と計測方向

図-4.1.36 各方向の計測誤差分布

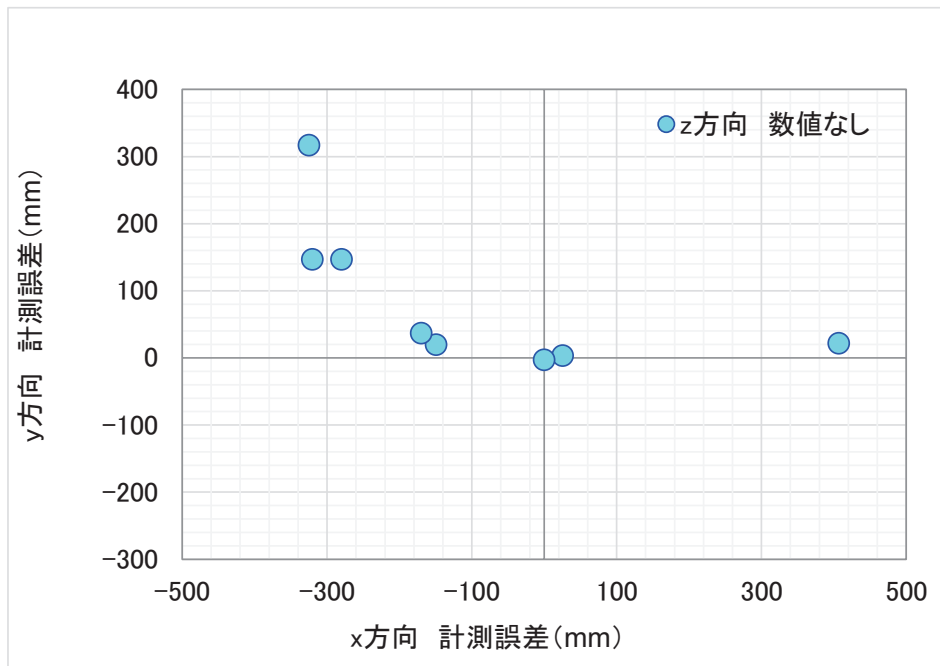


図-4.1.37 xy 計測誤差分布 (z 方向の計測値なし)

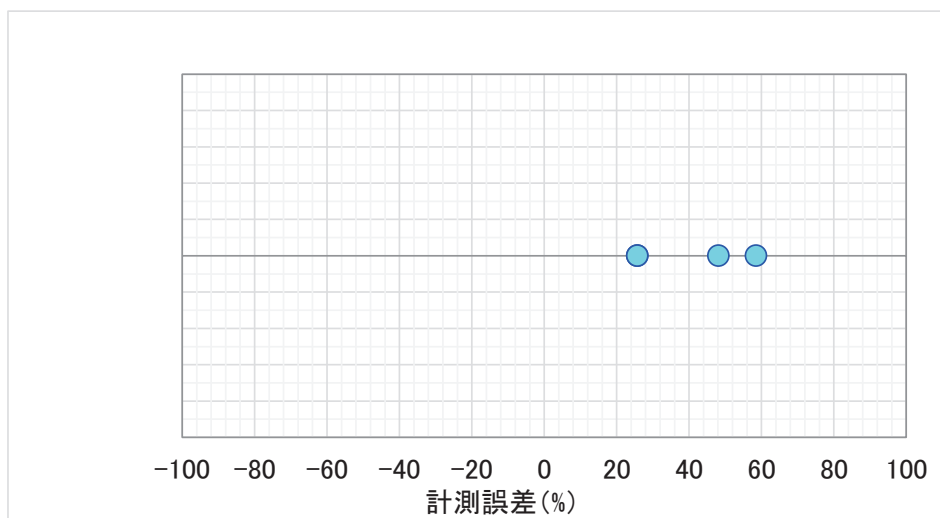
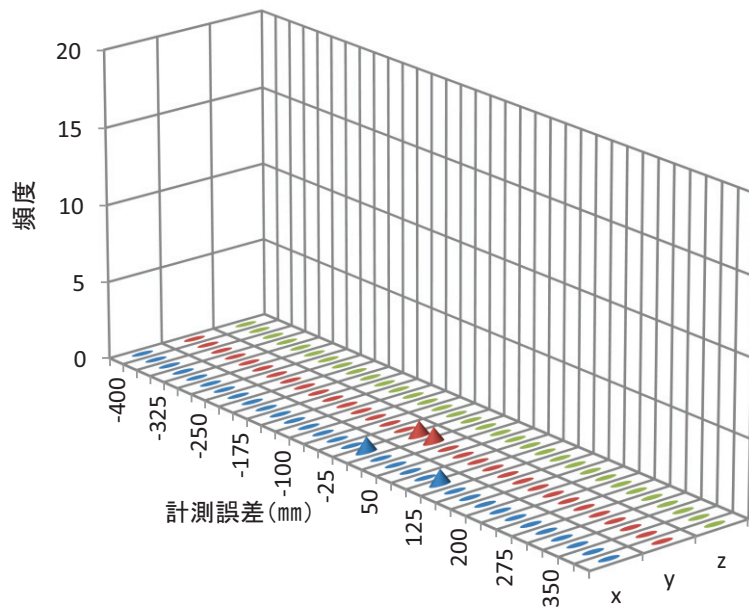


図-4.1.38 グラウト充填率の計測誤差分布

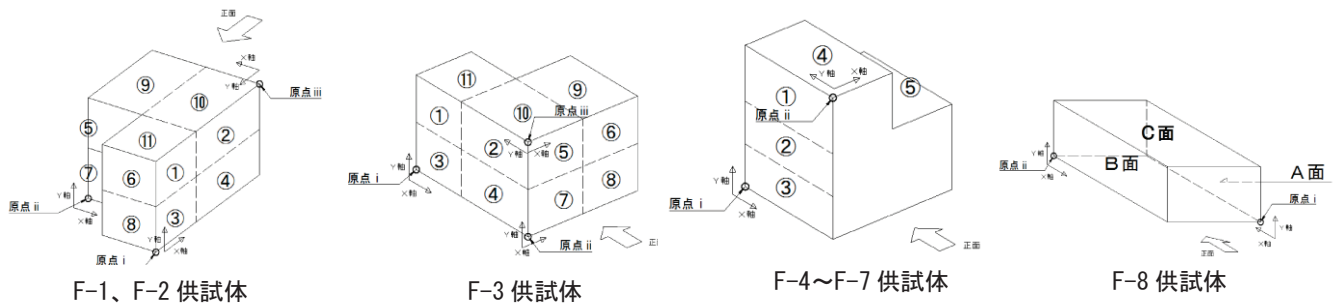
4) 鉄筋の健全性(腐食、断面欠損、破断)

鉄筋の健全性の計測誤差を図-4.1.39～図-4.1.40 に示す。

- ・ 図-4.1.39 の通り、 z 方向（深さ方向）の計測はできておらず、 x 、 y 方向（横方向、縦方向）についても計測データが少ないため傾向は不明である。



(a) 各方向の計測誤差



(b) 各供試体形状と計測方向

図-4.1.39 各方向の計測誤差分布

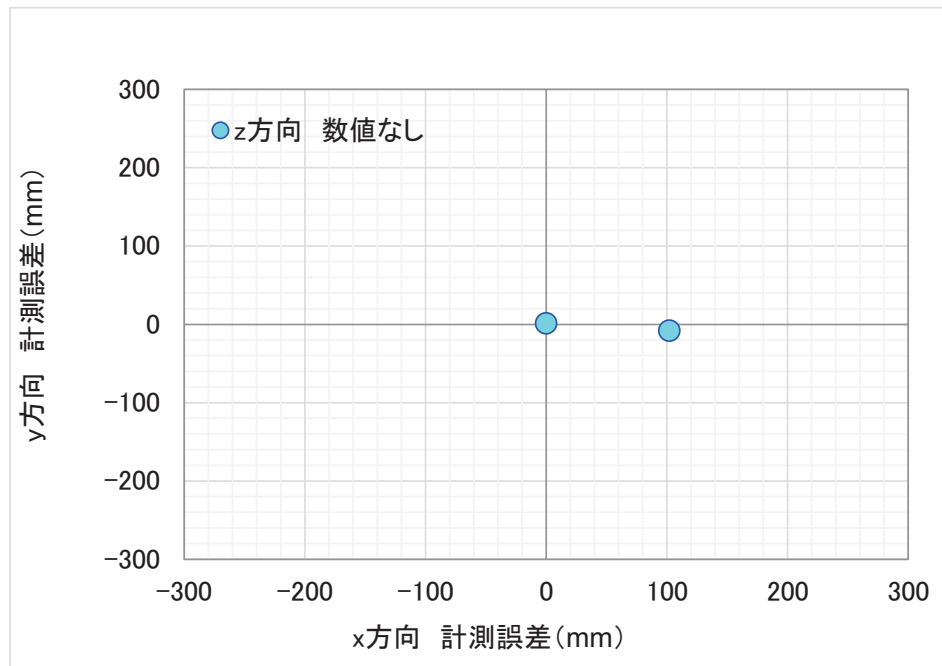


図-4.1.40 xy 計測誤差分布 (z 方向の計測値なし)

5) ひび割れ

内部ひび割れの計測誤差を図-4.1.41～図-4.1.42 に示す。ひび割れについては内部損傷の形状としてひび割れ長さとひび割れ深さの計測誤差分布を示す。

- ・ 図-4.1.41 の通り、ひび割れ長さの計測誤差は－130～130 程度である。
- ・ 図-4.1.42 の通り、ひび割れ深さの計測誤差は－150～70mm 程度である。

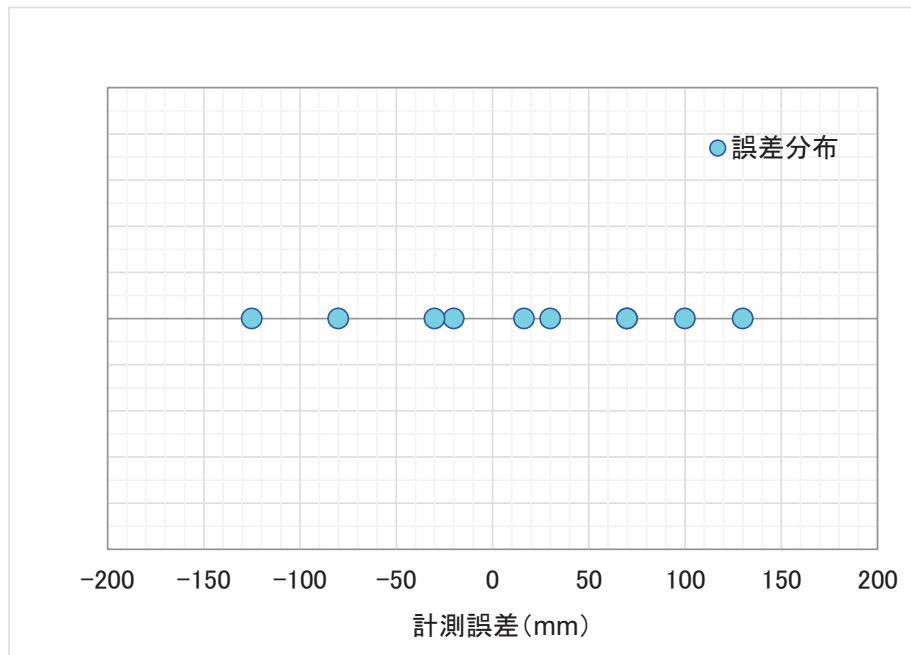


図-4. 1. 41 ひび割れ長さの計測誤差分布

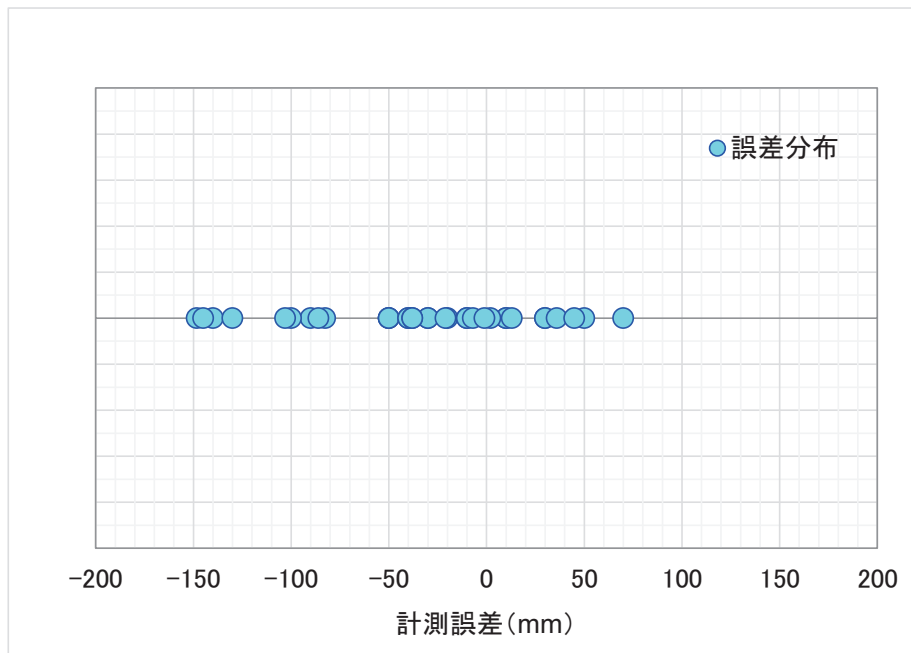


図-4. 1. 42 ひび割れ深さの計測誤差分布

(6) 検査性能に影響する条件

非破壊検査技術の検査性能に影響を及ぼす条件を把握するために、検査面から内部損傷までのかぶりや検査面の部材厚さ、模擬されている内部損傷の損傷規模について、それぞれのパラメータと損傷一致数の関係について整理した。結果の整理は、内部損傷の判定が「一致」であった検査ケースについて行った。ここで、かぶりとは検査面から内部損傷表面までの純かぶりを意味している。内部損傷一致数は検査ケースの合計を示している。損傷規模が及ぼす影響については、空洞とうきについて整理した。また、ひび割れについては、かぶりや部材厚さのパラメータが少ないため整理から除いている。

1) かぶりの影響

内部損傷の純かぶりと損傷一致数の関係を図-4.1.43～図-4.1.47 に示す。

- ・ 内部損傷の種類によらず、内部損傷の純かぶりが大きくなるほど、内部損傷の判定が「一致」であった検査ケースは減少する傾向である。

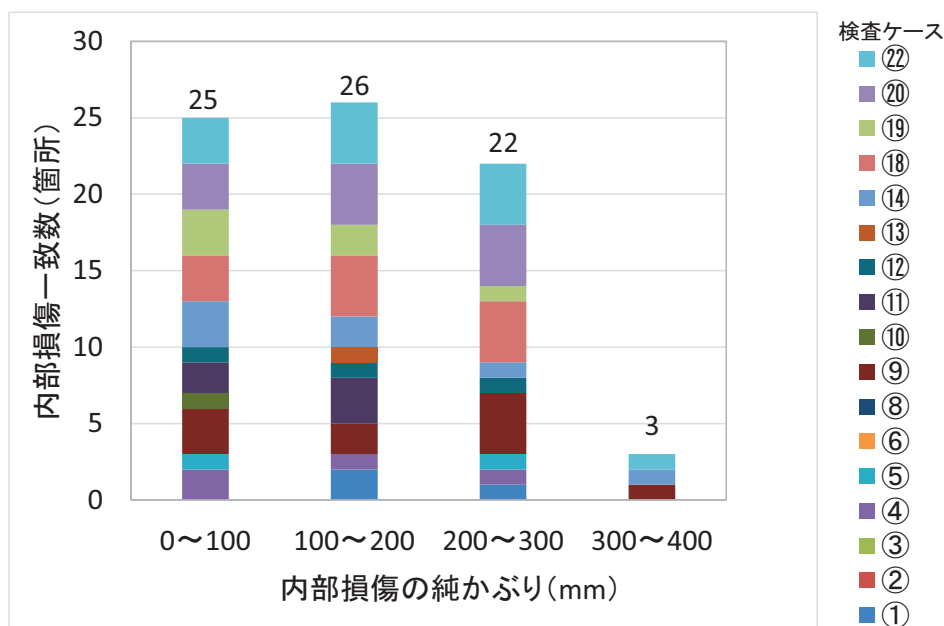


図-4.1.43 内部損傷の純かぶりと内部損傷一致数の関係（空洞）

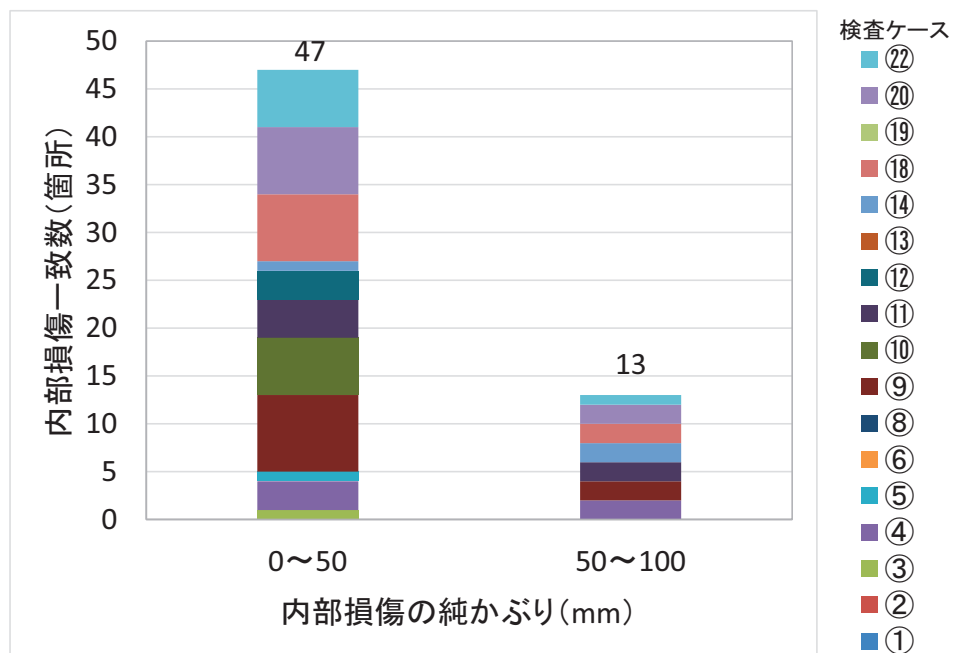


図-4.1.44 内部損傷の純かぶりと内部損傷一致数の関係（うき）

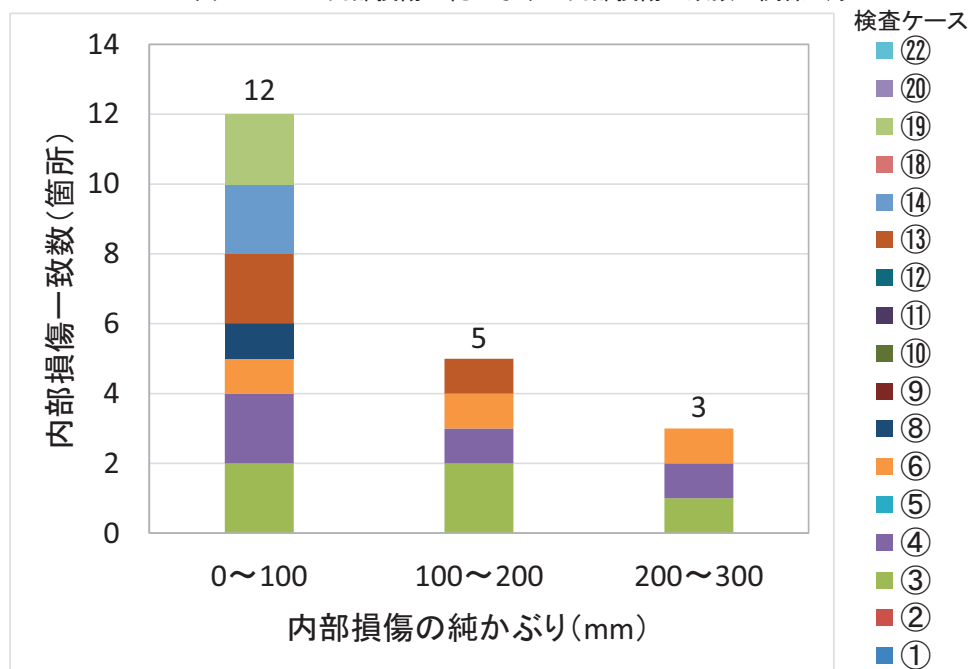


図-4.1.45 内部損傷の純かぶりと内部損傷一致数の関係（グラウト充填状態）

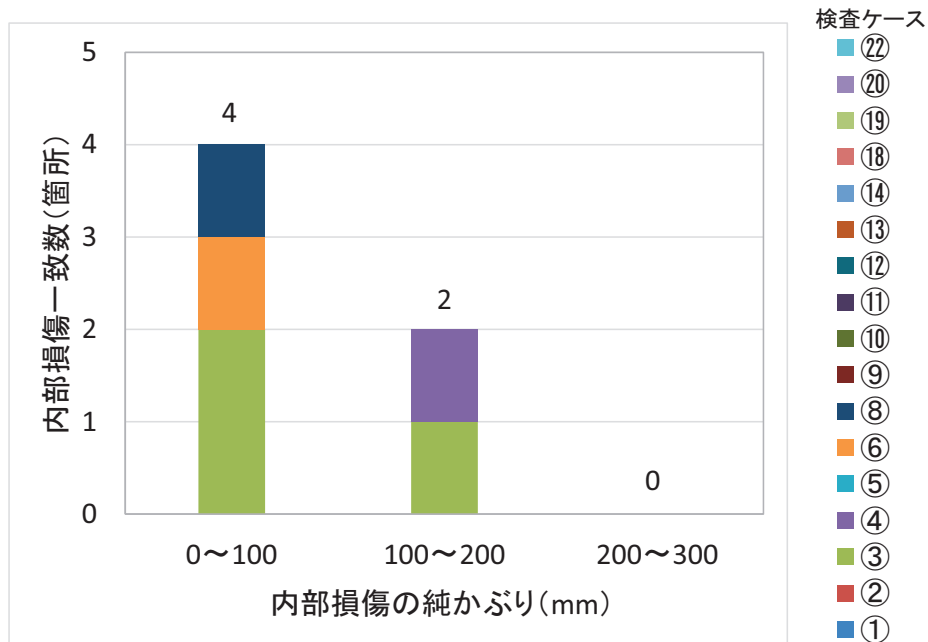


図-4. 1. 46 内部損傷の純かぶりと内部損傷一致数の関係（PC 鋼材の健全性）

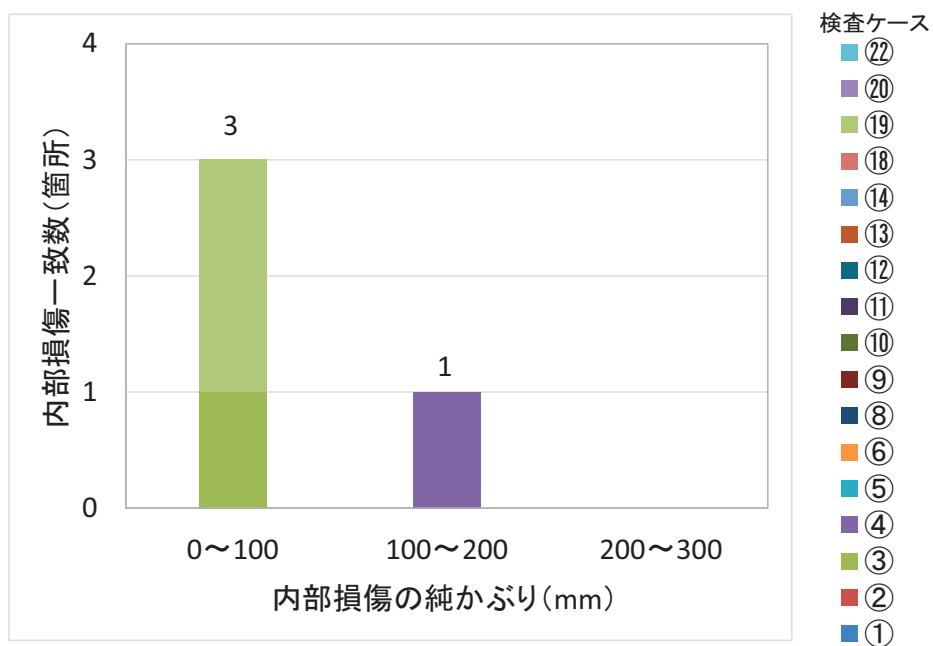


図-4. 1. 47 内部損傷の純かぶりと内部損傷一致数の関係（鉄筋の健全性）

2)部材厚さの影響

検査面の部材厚さと損傷一致数の関係を図-4.1.48～図-4.1.52 に示す。

- ・内部損傷の種類によらず、部材厚さ 300mm において内部損傷一致数が少ない結果である。これは、要素供試体の形状の制約から、部材厚さが 300mm の検査面に対して検査機器を適切に設置できなかつたり、検査面内での検査範囲が制限されたり等が影響している可能性がある。
- ・「空洞」では、部材厚さ 400mm において内部損傷一致数が多い。
- ・「うき」では、部材厚さによる内部損傷一致数の明確な傾向は見られない。
- ・「グラウト充填状態」、「PC 鋼材の健全性」、「鉄筋の健全性」では、部材厚さ 300mm の結果を除けば、部材厚さが大きくなるほど内部損傷一致数は減少する傾向である。

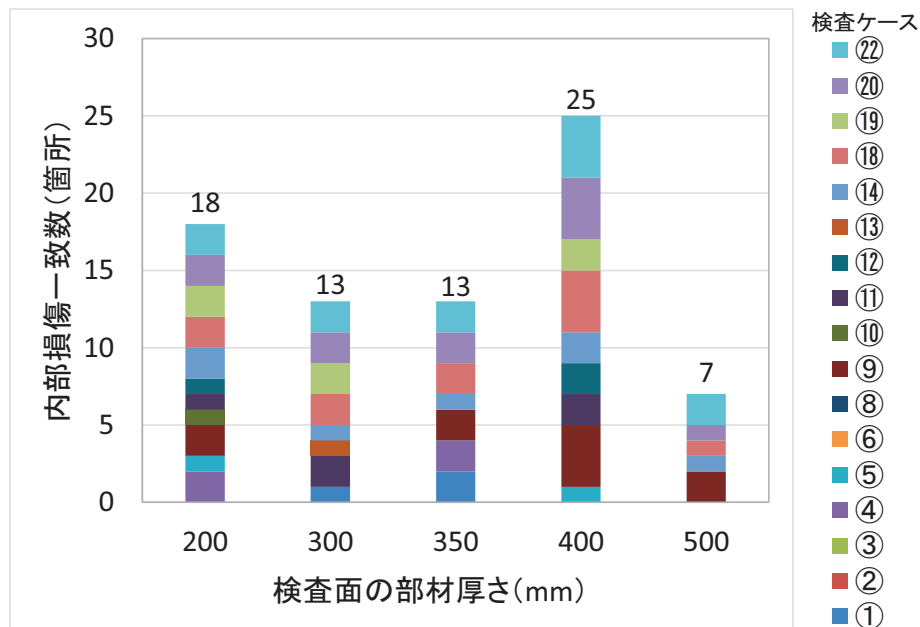


図-4.1.48 検査面の部材厚さと内部損傷一致数の関係（空洞）

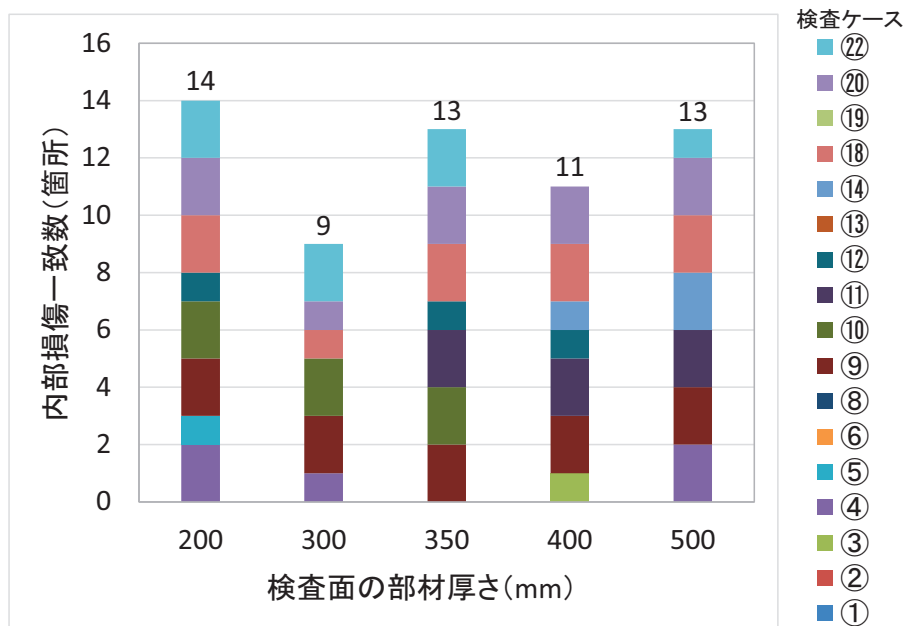


図-4.1.49 検査面の部材厚さと内部損傷一致数の関係（うき）

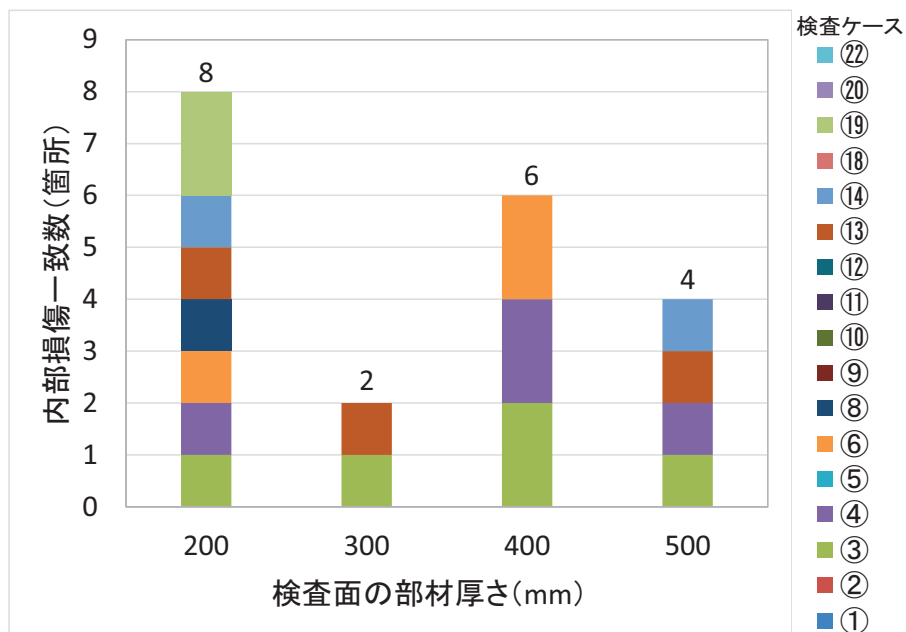


図-4.1.50 検査面の部材厚さと内部損傷一致数の関係（グラウト充填状態）

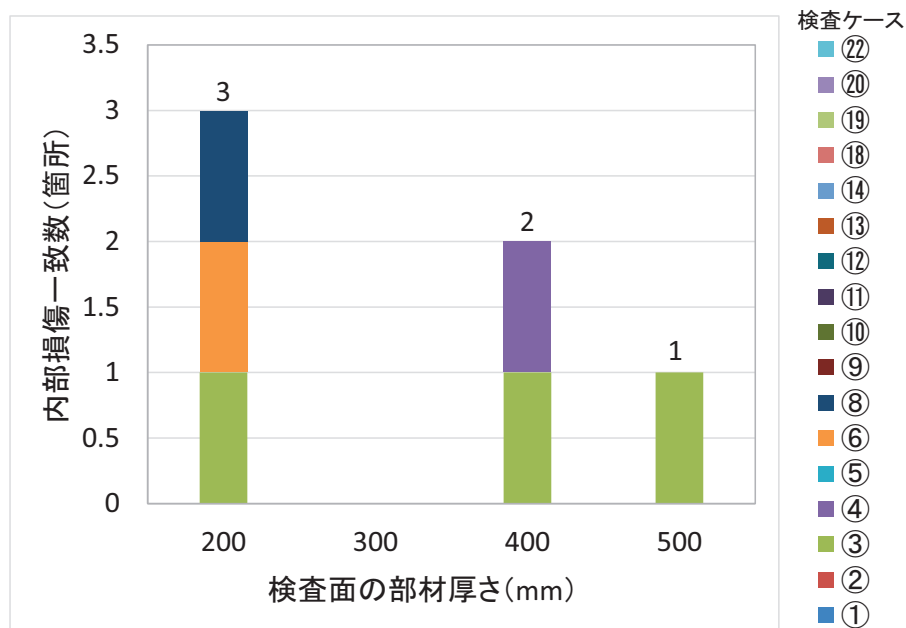


図-4.1.51 検査面の部材厚さと内部損傷一致数の関係（PC 鋼材の健全性）

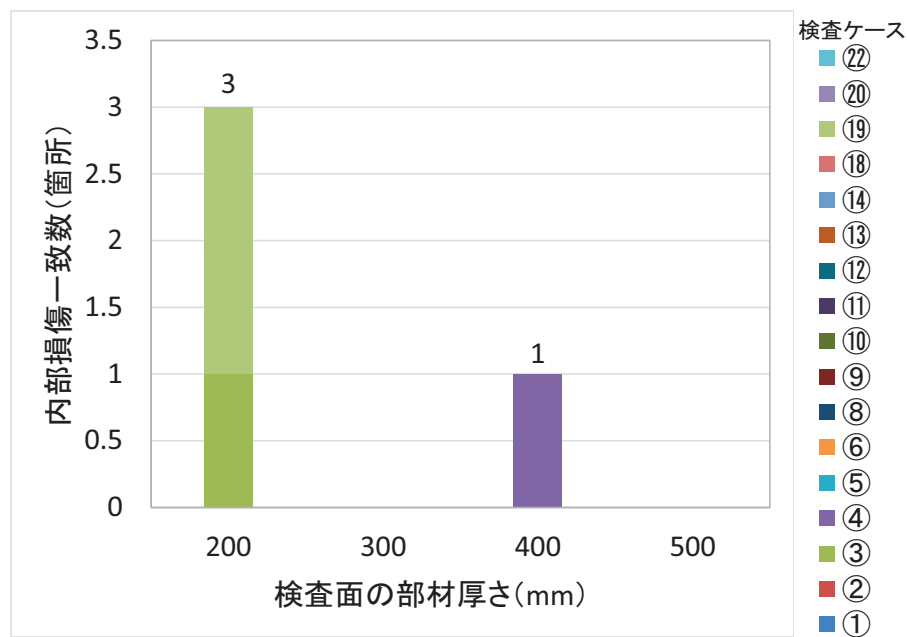


図-4.1.52 検査面の部材厚さと内部損傷一致数の関係（鉄筋の健全性）

3) 損傷規模の影響

内部損傷の規模と損傷一致数の関係を図-4.1.53～図-4.1.54 に示す。

- ・「空洞」では、検査ケースによって差はあるものの内部損傷の規模による検査結果への影響は見られない。
- ・「うき」では、内部損傷の規模が大きいほうが内部損傷一致数は増加している。

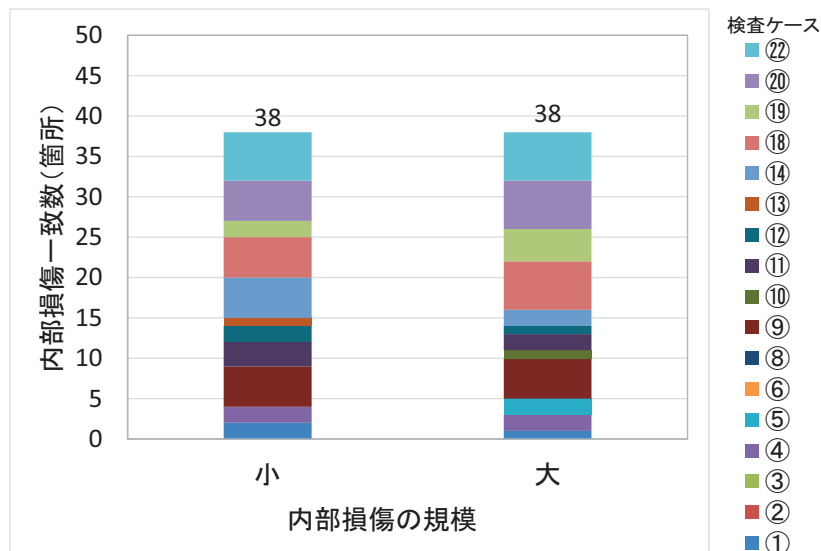


図-4.1.53 内部損傷の規模と内部損傷一致数の関係（空洞）

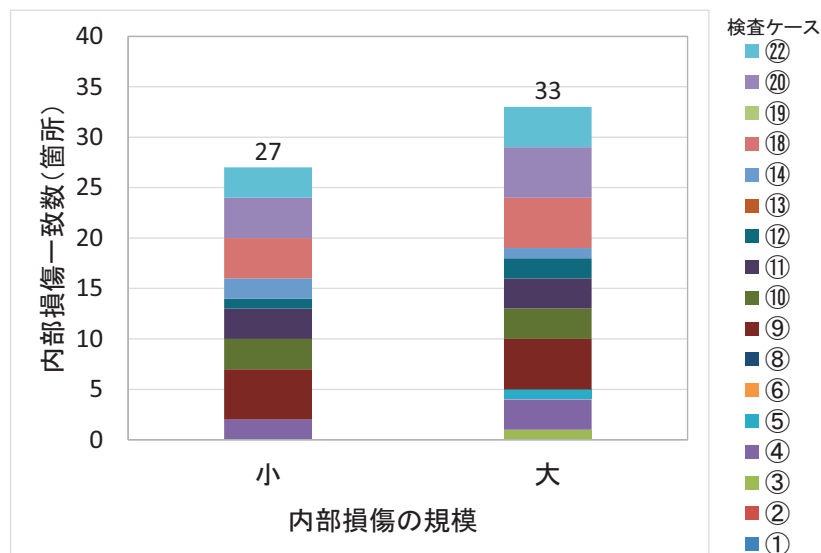


図-4.1.54 内部損傷の規模と内部損傷一致数の関係（うき）

(7) 計測限界

非破壊検査技術が内部損傷を検出可能なかぶりと部材厚さの計測限界値について整理した。結果の整理は、内部損傷の判定が「一致」であった検査ケースについて行い、内部損傷を検出可能なかぶり及び部材厚さの最小値と最大値について整理した。ここで、かぶりとは検査面から内部損傷表面までの純かぶりを意味している。ひび割れについては、かぶりや部材厚さのパラメータが少ないため整理から除いている。なお、検査に参加していないまたは内部損傷を検知できていない検査ケースは除いている。

1) 計測限界純かぶり

内部損傷を検出可能な純かぶりの範囲を図-4.1.55～図-4.1.59に示す。

- ・内部損傷の種類によらず、検査技術によって計測限界純かぶりの最小値と最大値は異なる。
- ・「空洞」では、計測限界純かぶりの範囲が最も広がったのは3ケースあり、最小値は50mm、最大値は325mmである。
- ・「うき」では、計測限界純かぶりの範囲が最も広がったのは6ケースあり、最小値は30mm、最大値は70mmである。
- ・「グラウト充填状態」では、計測限界純かぶりの範囲が最も広がったのは3ケースあり、最小値は84mm、最大値は284mmである。
- ・「PC 鋼材の健全性」では、計測限界純かぶりの範囲が最も広がったのは1ケースあり、最小値は92mm、最大値は192mmである。
- ・「鉄筋の健全性」では、複数の純かぶりの条件で内部損傷を検知している検査ケースはない。

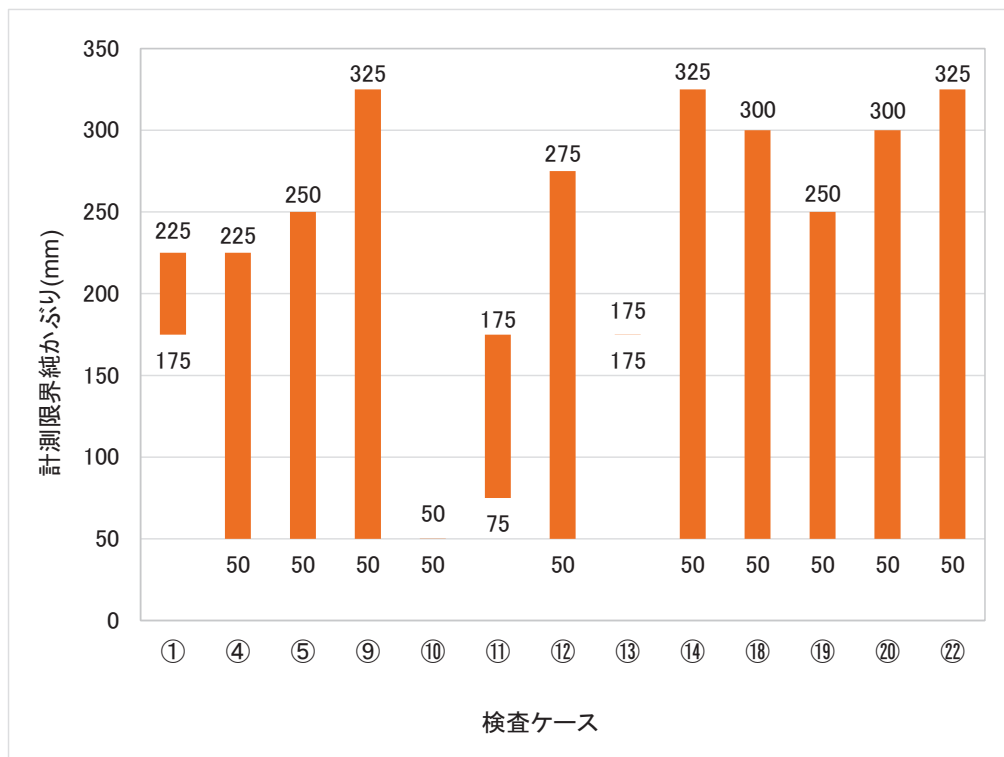


図-4.1.55 内部損傷を検知可能な純かぶり（空洞）

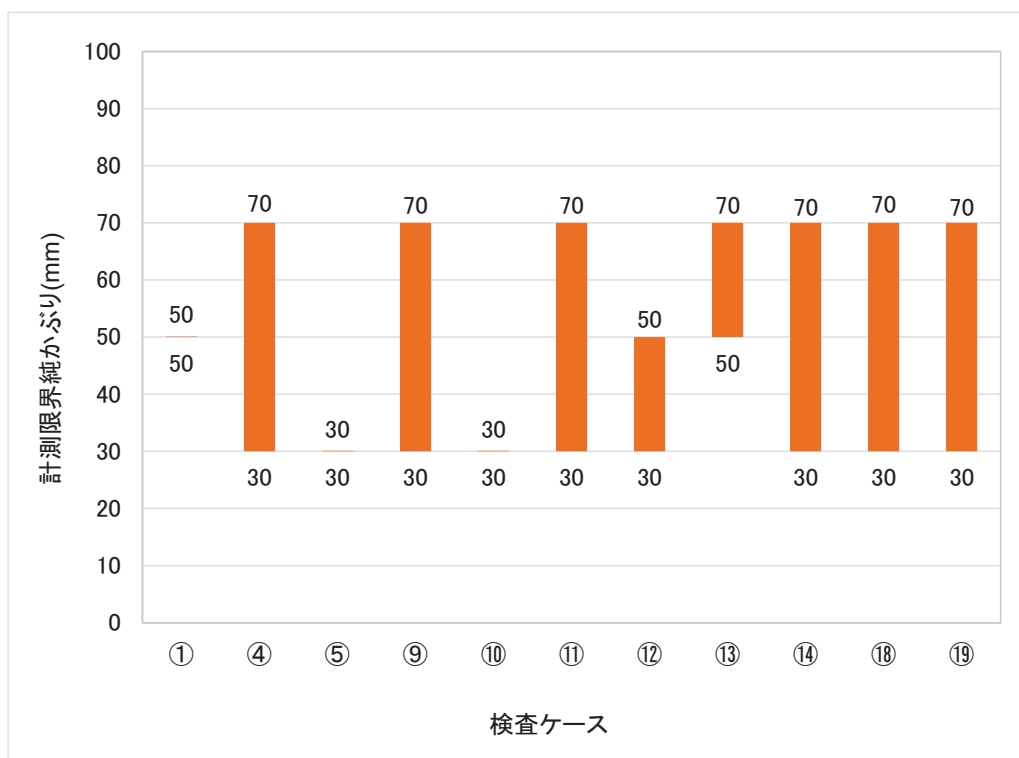


図-4.1.56 内部損傷を検知可能な純かぶり（うき）

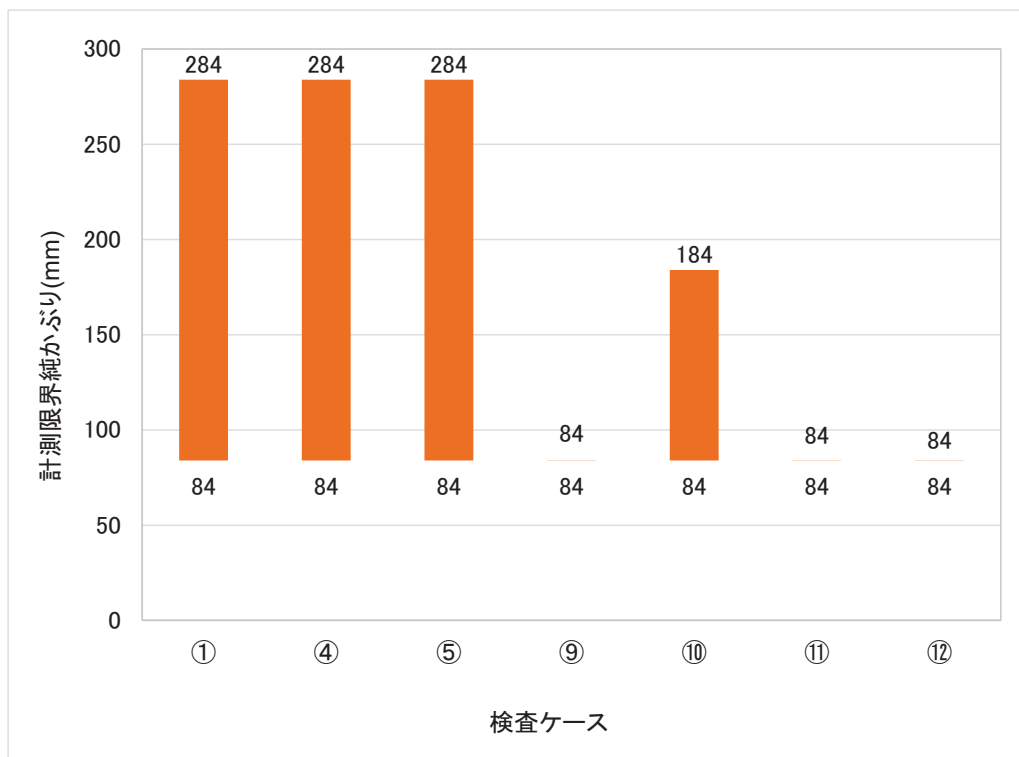


図-4.1.57 内部損傷を検知可能な純かぶり（グラウト充填状態）

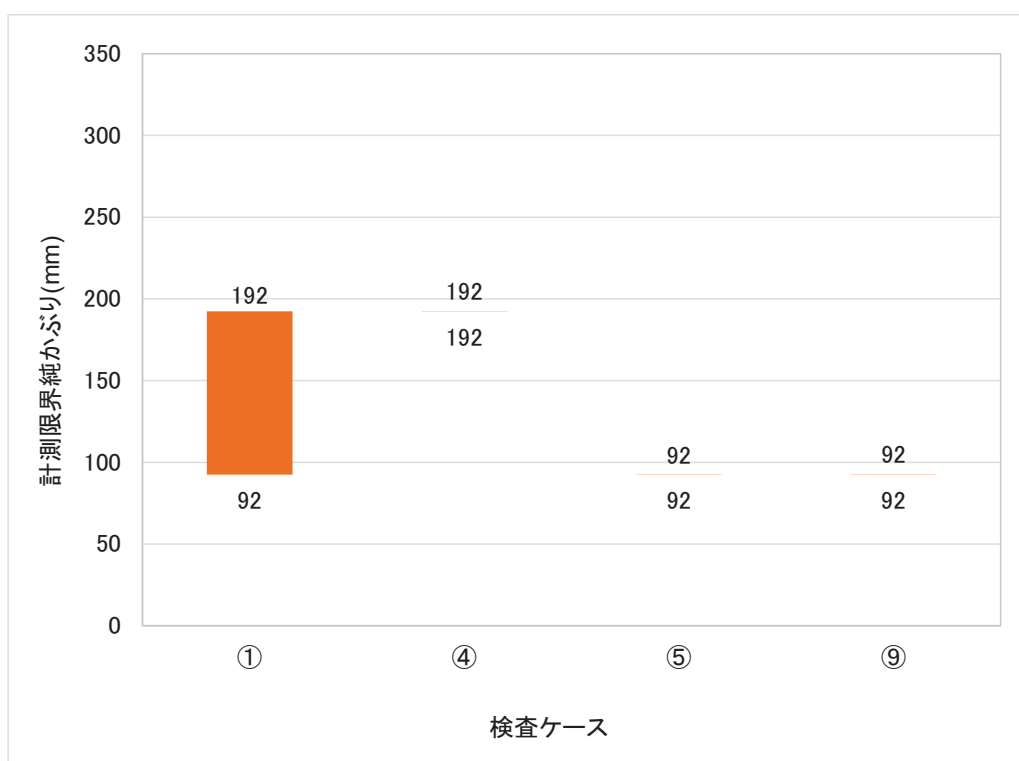


図-4.1.58 内部損傷を検知可能な純かぶり（PC 鋼材の健全性）

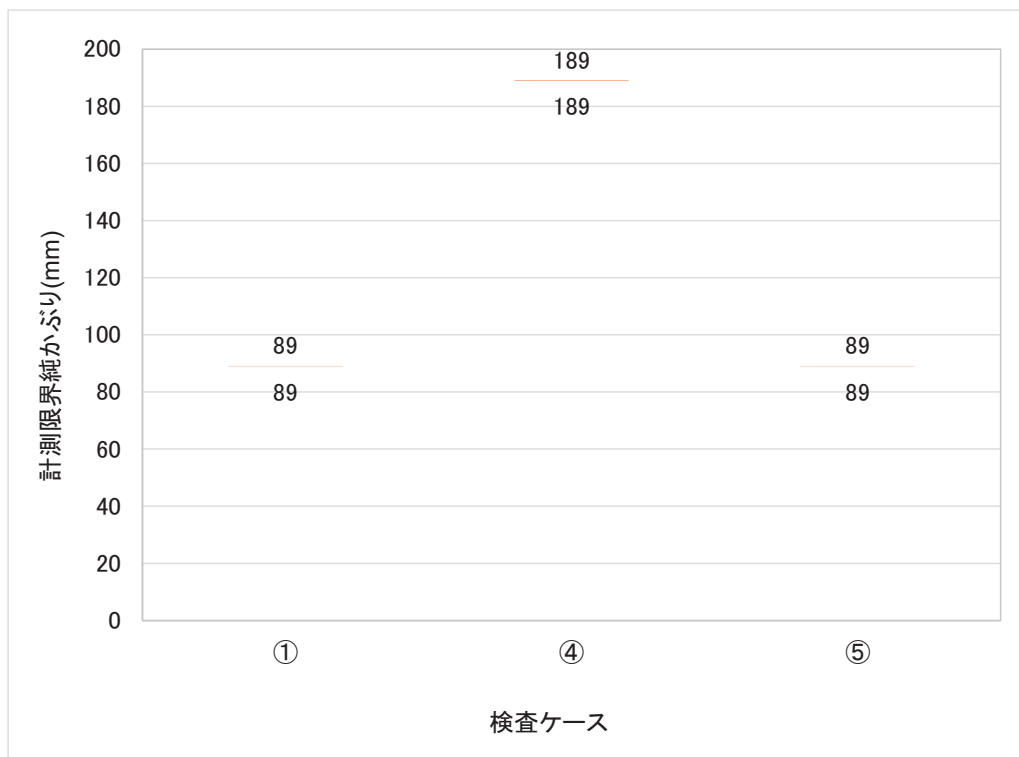


図-4.1.59 内部損傷を検知可能な純かぶり（鉄筋の健全性）

2)計測限界部材厚さ

内部損傷を検知可能な部材厚さの範囲を図-4.1.60～図-4.1.64 に示す。

- ・内部損傷の種類によらず、検査技術によって計測限界部材厚さの最小値と最大値は異なる。
- ・「空洞」では、計測限界部材厚さの範囲が最も広がったのは5 ケースあり、最小値は 200mm、最大値は 500mm である。
- ・「うき」では、計測限界部材厚さの範囲が最も広がったのは5 ケースあり、最小値は 200mm、最大値は 500mm である。
- ・「グラウト充填状態」では、計測限界部材厚さの範囲が最も広がったのは4 ケースあり、最小値は 200mm、最大値は 500mm である。
- ・「PC 鋼材の健全性」では、計測限界部材厚さの範囲が最も広がったのは1 ケースあり、最小値は 200mm、最大値は 500mm である。
- ・「鉄筋の健全性」では、複数の部材厚さの条件で内部損傷を検知している検査ケースはない。

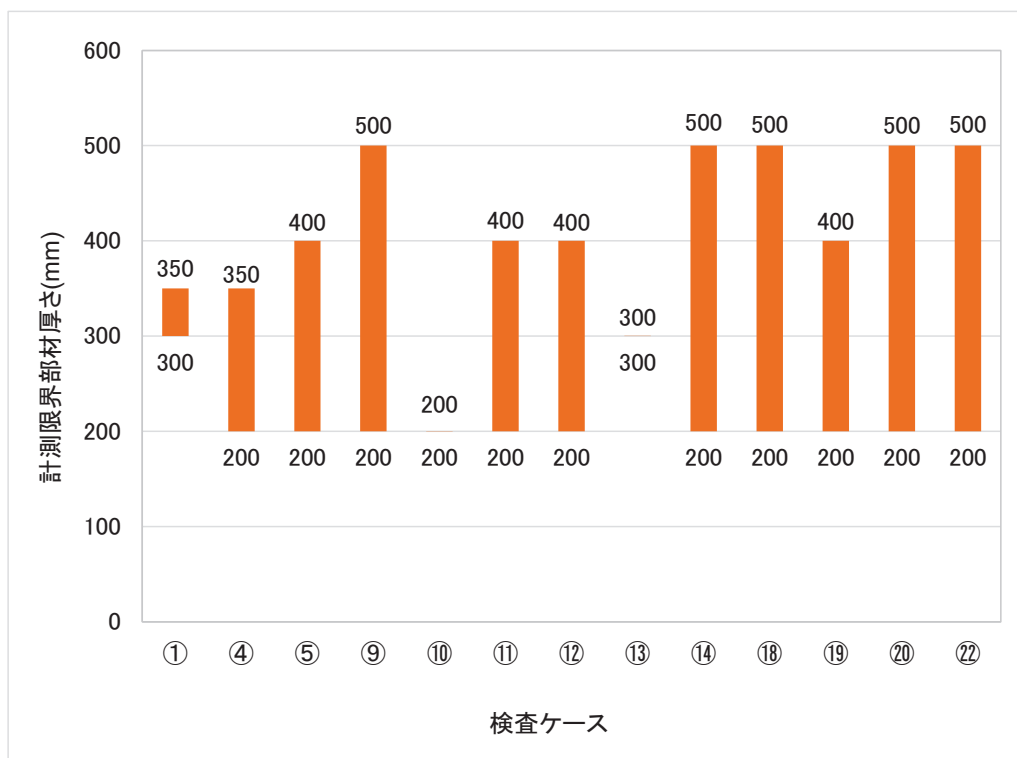


図-4.1.60 内部損傷を検知可能な部材厚さ（空洞）

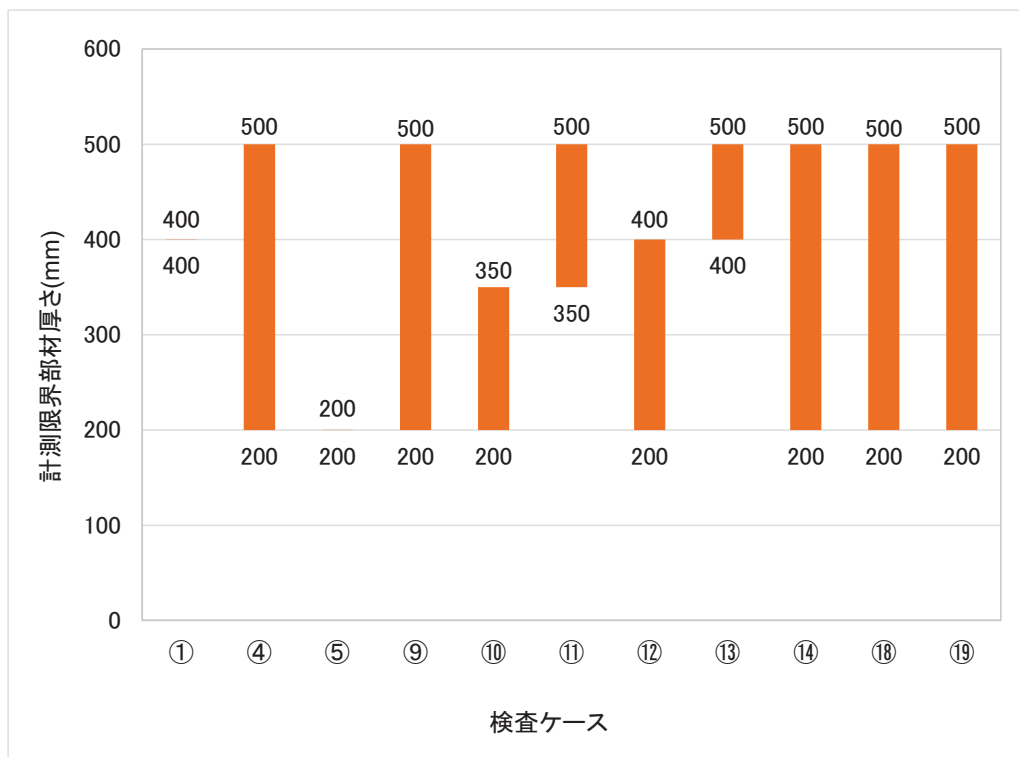


図-4.1.61 内部損傷を検知可能な部材厚さ（うき）

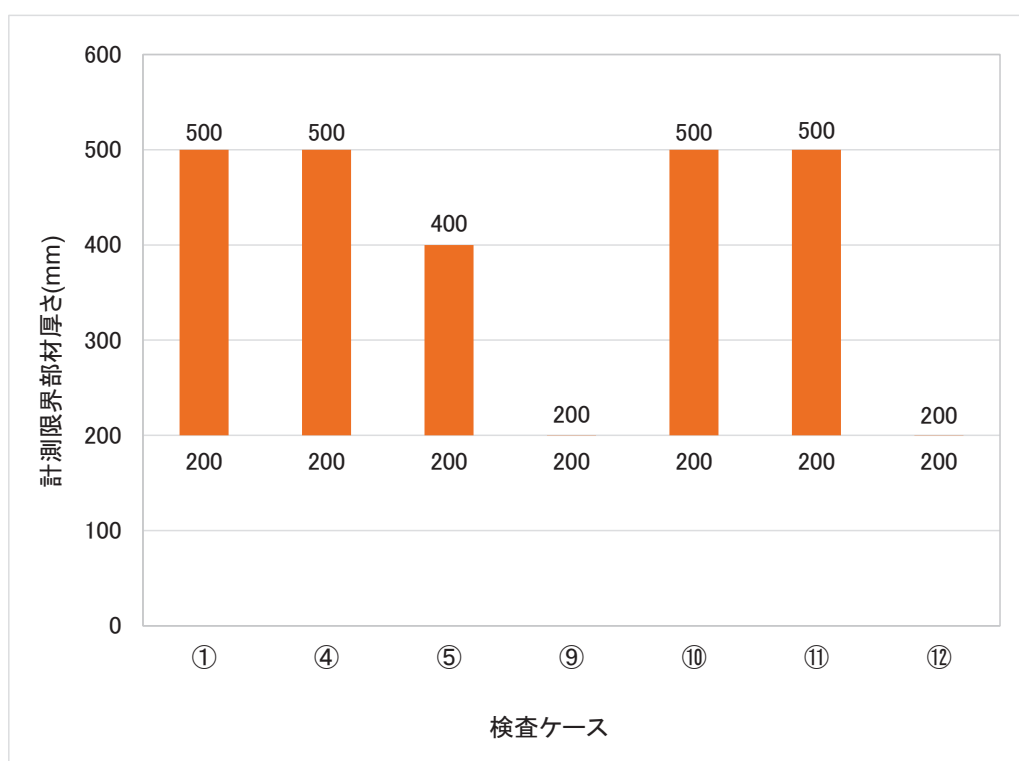


図-4.1.62 内部損傷を検知可能な部材厚さ（グラウト充填状態）

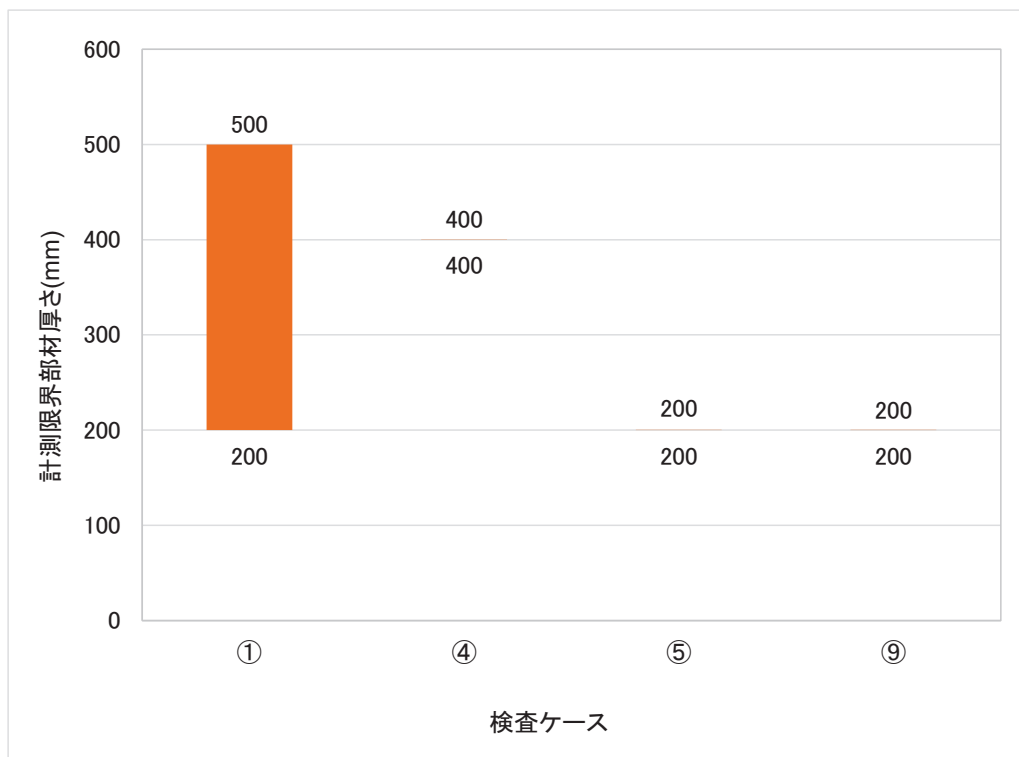


図-4.1.63 内部損傷を検知可能な部材厚さ（PC 鋼材の健全性）

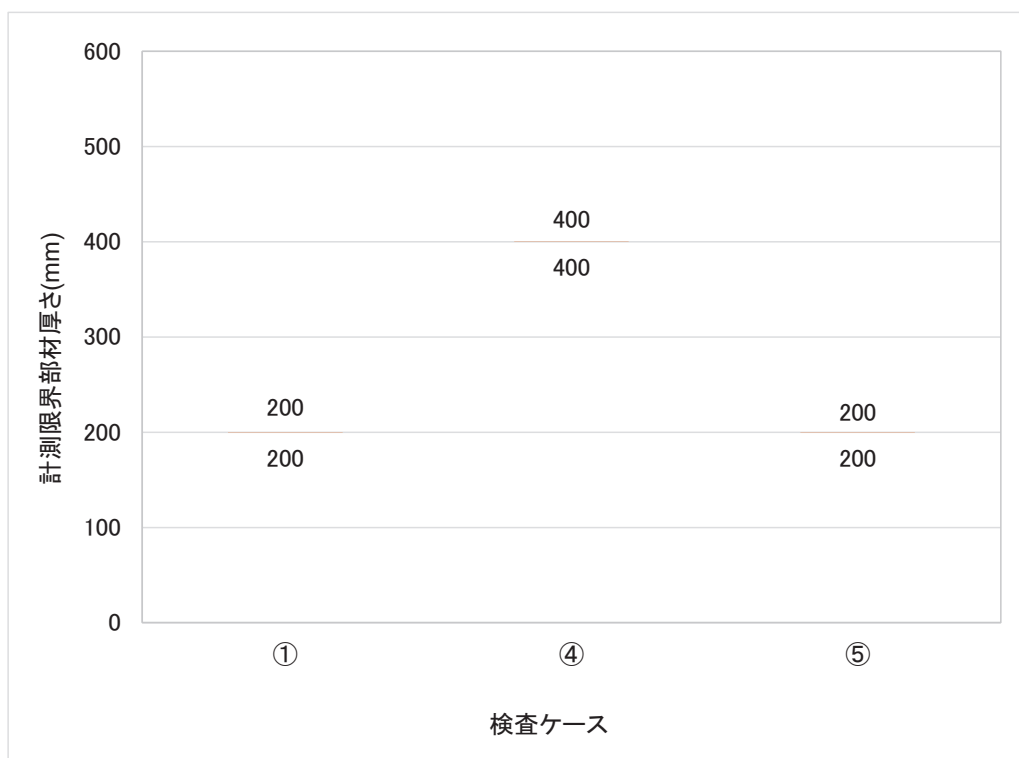


図-4.1.64 内部損傷を検知可能な部材厚さ（鉄筋の健全性）

4.1.8 まとめ

非破壊検査技術の基本性能の検証試験では比較的供試体形状や配筋状態が単純で、内部損傷の種類を限定した要素供試体に対して、一定の予備情報や検査条件を与えた状態で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、検査性能に影響を及ぼす要因が少ない要素供試体を用いた検査における各検査技術の検査性能（検知可能な内部損傷の種類、部材厚さやかぶりの影響、検査精度、検出限界等）について確認した。本検証試験から得られた知見は以下の通りである。

1)要素供試体による検査結果の特徴

- ・要素供試体を用いた検査では、ほとんどの検査技術において自己申告通りに内部損傷が検知できている。
- ・内部損傷の正答率は「空洞」、「うき」で比較的高く、「グラウト充填状態」、「PC 鋼材の健全性」、「鉄筋の健全性」で低い傾向である。
- ・実損傷供試体と模擬損傷供試体を用いた検査結果と比較して、16 技術で検知性能が向上している。
- ・判別可能な内部損傷の詳細の項目は検査技術によって異なる。
- ・内部損傷の検査精度は、位置および形状ともに座標（方向）によって計測誤差範囲は異なる。
- ・内部損傷の位置の検査精度は、内部損傷の種類によって異なり、1つの内部損傷に対して（X、Y、Z）のすべての座標を取得できていた検査結果が多かった内部損傷は「空洞」と「うき」である。「グラウト充填状態」、「鉄筋の健全性（腐食、断面欠損、破断）」については（X、Y、Z）のすべての座標を取得できている検査結果はない。特に、Z 方向（深さ方向）の座標を取得できていない傾向である。
- ・内部損傷の形状の検査精度についても、内部損傷の位置の検査精度と同様の傾向である。
- ・内部損傷の種類によらず、内部損傷の純かぶりが大きくなるほど、検知性能は低下する傾向である。
- ・供試体の部材厚さによって検査性能が低下する部材厚さが存在する。
- ・内部損傷の種類によらず、検査技術によって計測限界純かぶりや部材厚さの最小値と最大値は異なる。

2)評価試験法に反映すべき事項

- ①今回の基本性能の確認により各検査技術の検知性能（損傷種別、計測限界）が明らかにされたが、データ数が少ない検査技術もあり評価値としての信頼性に課題が残る。また、要素供試体を用いた場合でも検知対象としている内部損傷を検知できな

い検査技術があった。これは、内部損傷の種別を 1 種類とし、形状や配筋を比較的単純な状態にした試験体であっても、検査技術によっては試験体の形状や大きさが影響して検知できなかったものと考えられる。そのため、検査原理によって検知できないのか、検査機器のサイズや計測可能な範囲等の影響によって検知できないのか、その要因を明確にする必要がある。

②要素供試体の検査結果と基礎的調査で実施した予備情報を与えない撤去桁や模擬損傷供試体の検査結果を比較した場合、検知性能は向上したものの、ばらつきは大きく変わらなかった。これは、各検査技術の検査条件や検査性能によるものと考えられる。試験法では、要素供試体による検査性能が、配筋が複雑で他の内部損傷を含む模擬損傷供試体でも同等に発揮されるかについて確認する必要がある。

③計測者が自己申告した基本性能に対して、要素供試体を用いた基本性能の確認結果が大きく乖離している場合があった。そのような場合、検査者に対してその要因について自己評価を求め、検査性能について明確にする必要がある。

④計測結果の解析データを加工したコンター図や波形等の数値的解析結果が検査結果の根拠として明確でない検査技術があった。検査技術によって検査結果から内部損傷の種別や位置、形状寸法の判定方法は異なる。検査結果を適切に判定するためには、各検査技術の判定方法を明確にする必要がある。

以上の通り、要素供試体を用いた検証によって、検査技術の検知対象や計測限界を確認することができた。しかし、検査技術によっては計測結果と検査結果の整合性が不明確なものがあった。検査者には、検査結果の根拠となっているデータと、そのデータが計測結果からどのような解析やプログラム処理によって得られたかを示す資料とともに提出してもらう必要がある。また、それらが検査結果に及ぼす影響やその他の検査結果に影響を及ぼすことが想定される条件等を事前調査において報告してもらう必要がある。

さらに、本検討で得られた検査技術の基本的性能について、模擬損傷供試体や実損傷供試体を用いた場合に、どのような影響を受けるのか確認する必要がある。

4.2 非破壊検査技術の適用性能の検証試験

4.2.1 概要

要素供試体を用いた検証の結果、多くの検査技術において実損傷供試体や模擬損傷供試体を用いる予備情報なしの場合と比較して、検査性能の評価結果に相違のあることを確認した。これにより、各検査技術において要素供試体での基本的な性能評価が可能であることが確認された。一方で、各検査技術により損傷の位置や形状の検査精度が異なることも確認された。また、基礎的調査の結果から各検査技術において予備情報なしで模擬供試体や実損傷供試体で検証を実施すると他の内部損傷や鋼材、計測姿勢等の様々な要因により影響を受けることが確認されている。そこで、本検証では、要素供試体で基本性能を確認したうえで、実橋における条件にかかわる様々な要因が検査性能に与える影響について把握するために、共同研究者が予備情報を与えた模擬損傷供試体および実損傷供試体を用いて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、検査時間や予備情報の有無が検査性能に与える影響について把握する。検査結果の整理では、共同研究者から提供された検査結果と模擬損傷供試体の内部損傷の正解値及び実損傷供試体の解体調査結果と照合する。

4.2.2 検証対象とした検査ケース

非破壊検査技術の適用性能の検証試験では3体の模擬損傷供試体と3体の実損傷供試体に対して非破壊検査を実施した。各検査技術によって得られた結果は「検査ケース」と呼ぶこととし、①～②の番号を付して整理した。検査対象毎の検査ケース数を表-4.2.1に示す。各検査技術が検知対象とする内部損傷が異なるため、検査対象によって検査ケース数が異なっている。22技術中、非破壊検査技術の適用性能の検証試験を実施した技術は14技術である。検査は共同研究者がそれぞれ行った。

表-4.2.1 非破壊検査技術の適用性能検証試験の検査ケース数

検査対象	D-1	D-2	E-1	C-1	C-3	C-5
検査ケース数	11	12	4	11	12	8

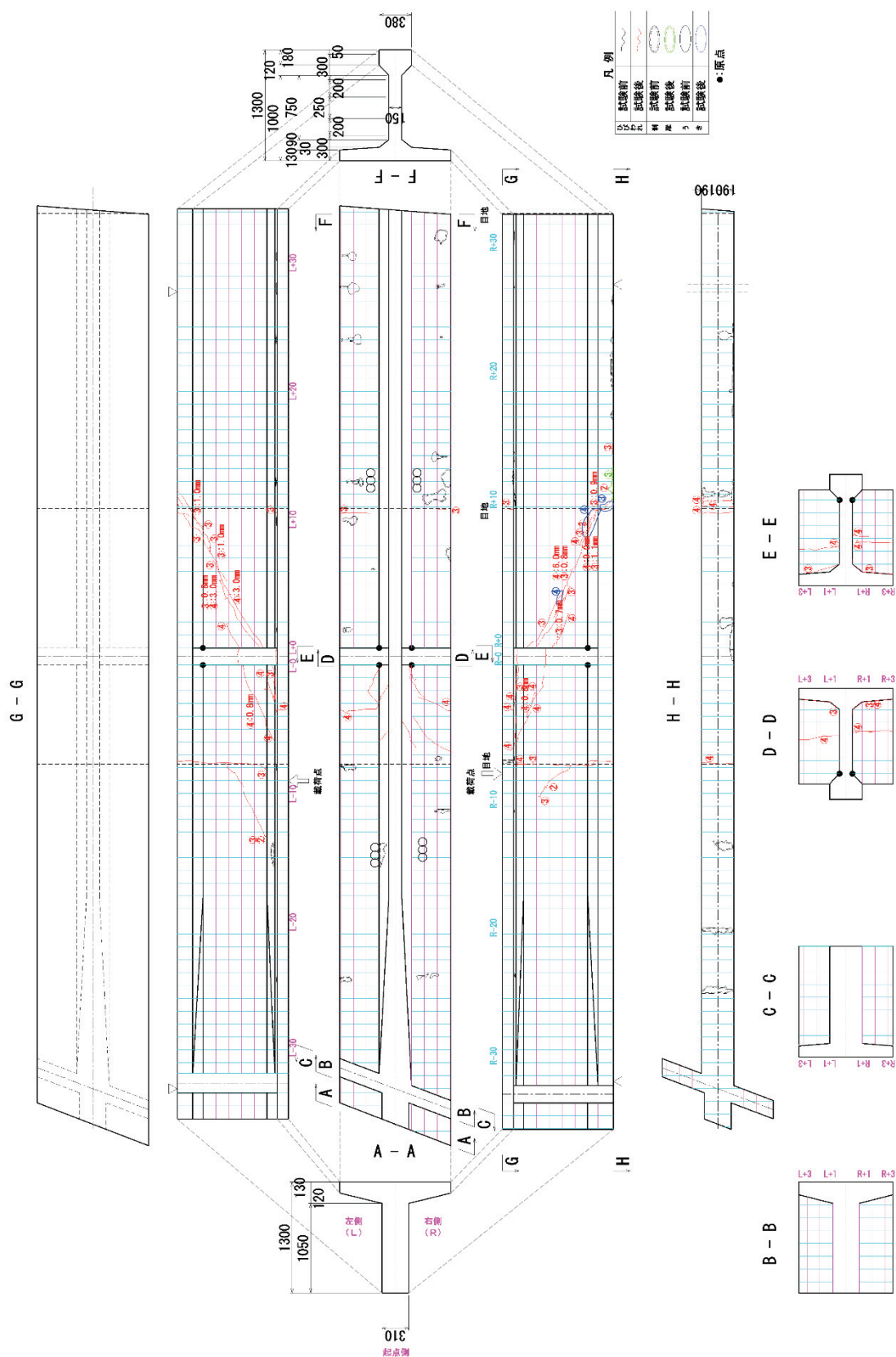
4.2.3 検査に用いる供試体

非破壊検査技術の適用性能の検証試験では、基本性能の検証試験において確認した非破壊検査技術の検査性能が、他の内部損傷や鋼材、検査時間等の条件によってどのような影響を受けるのか確認する。供試体には非破壊検査技術の基礎的調査で使用した実損傷供試体と模擬損傷供試体を使用する。検査に用いる供試体と、それぞれの供試体で確認する項目について表-4.2.2に示す。本検証で用いた実損傷供試体のうちC-1、C-5については、別途、載荷試験を実施したため、載荷試験による損傷が生じている。載荷試験後の実損傷供試体の損傷図を図-4.2.1～図-4.2.2に示す。模擬損傷供試体は今回の共同

研究での非破壊検査技術の検証の他に、今後の点検等で非破壊検査を使用する場合の検査機器の精度や作業性能等を検証していくための性能評価試験用の供試体としても使用することを想定している。そのため、模擬損傷供試体の内部損傷の模擬方法および配筋状態等の詳細については本報告書では明記しない。

表-4.2.2 検証対象供試体と検証項目

供試体種類	検査範囲	検証項目
D-2	全面	・ 検査時間による損傷検出性能の影響
D-1、E-1	範囲 指定	・ 予備情報の有無が検査性能に与える影響
C-1、C-3、C-5 (C-1、C-5 は載荷試験実施後)		・ 検査供試体の違いによる検査性能へ与える影響



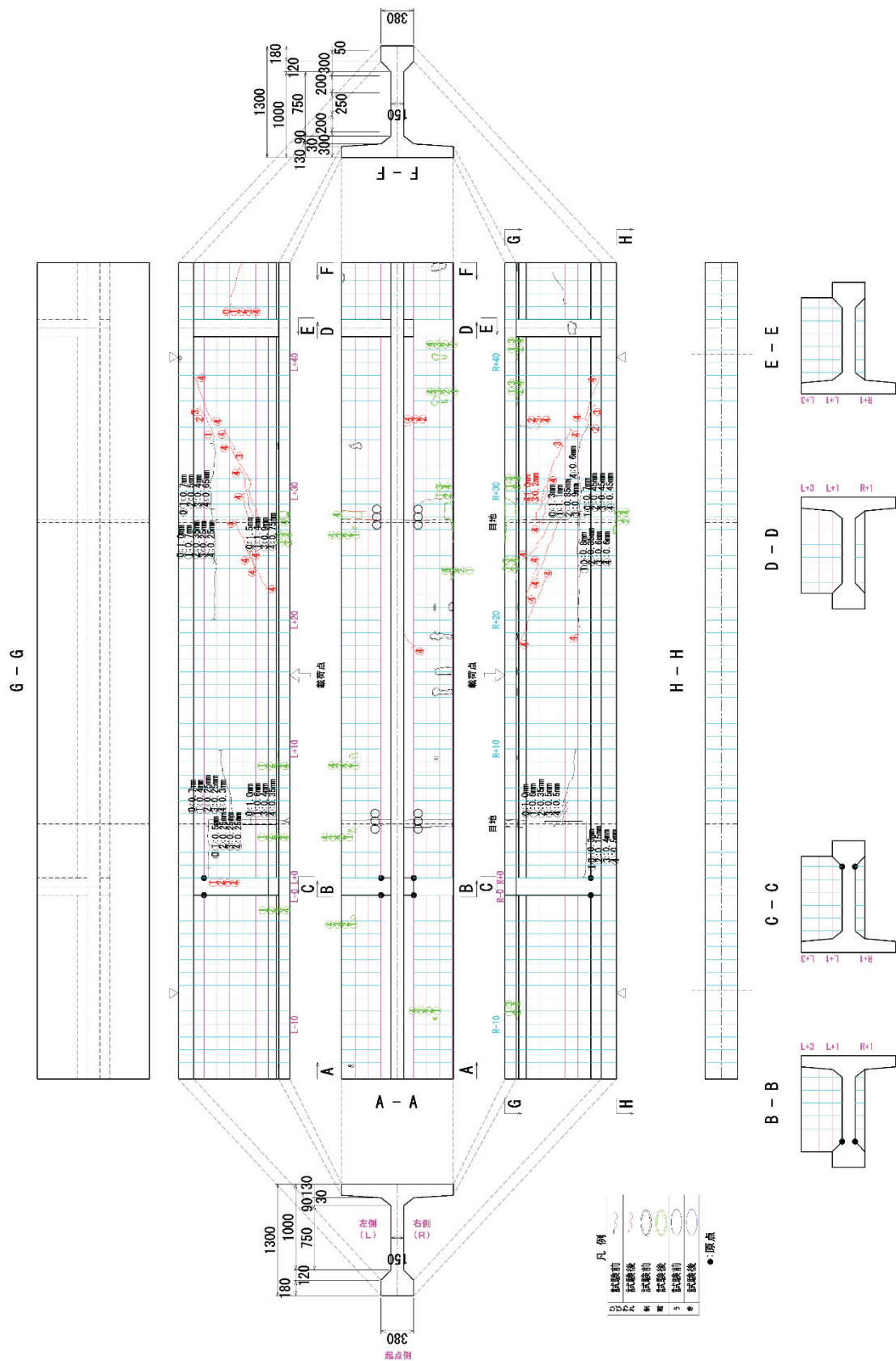


图-4.2.2 实损伤供试体损伤图 (C-5)

4.2.4 調査項目と着目点

調査項目と着目点は表-4.2.3 の通りである。

表-4.2.3 調査項目と着目点

調査項目	着目点
検査時間の制限の有無による検知性能	各検査技術の検査時間の制限の有無による損傷検出性能（正答率）への影響を把握する。
予備情報の有無による検知性能	鉄筋・PC 鋼材の配置や外観調査結果の予備情報の有無が検査性能に与える影響について把握する。
供試体の違いによる検査性能 （要素供試体と模擬損傷供試体）	検査範囲を指定し、検査対象とする内部損傷の種類が揭示された模擬損傷供試体の検査を実施し、要素試験体の検査結果と比較して模擬損傷供試体の検査条件（形状や配筋、内部損傷等）が検査性能へ与える影響を把握する。
供試体の違いによる検査性 （模擬損傷供試体と実損傷供試体）	検査範囲を指定し、検査対象とする内部損傷の種類が揭示された実損傷供試体の検査を実施し、模擬損傷供試体の検査結果と比較して実損傷供試体の検査条件（形状や配筋、表面状態、内部損傷等）が検査性能へ与える影響を把握する。

4.2.5 試験実施条件

(1) 検査時間を制限した検査

模擬損傷供試体 D-2 に対して、検査時間に制限を設けた状態で検査を実施した。検査時間を制限した検査では、内部損傷の種別と、内部損傷の位置と形状について回答を求めた。ただし、深さ方向（Z 方向、z 方向）については求めている。供試体設置場所は屋外とし、検査時間は 3 時間以内とした。3 時間以内に検査が終了しなかった検査技術については、その後検査を継続し、合計で最大 2 日間（7h×2 日）まで検査を実施した。複数の共同研究者が同時に検査を行わないようにした。また、供試体に跡が残るようなマーキングは禁止とした。なお、試験の公平性及び客観性を確保するため、試験開始時から終了時まで立会者を配置した。

(2) 検査範囲を指定した検査

模擬損傷供試体（D-1、E-1）および実損傷供試体（C-1、C-3、C-5）の検査は、要素供試体と模擬損傷供試体、模擬損傷供試体と実損傷供試体の検査結果を比較するために、検査範囲と検査対象の損傷を指定して検査を実施した。検査範囲はなるべく同一条件の内部損傷が内包された箇所となるように設定した。また、D-1 供試体については予備情報有無の影響を検証するため、同一の供試体で検査面を変更して検査性能を比較した。各

供試体の検査範囲を図-4.2.3～図-4.2.10に示す。供試体設置場所は屋外とし、検査時間はD-1、E-1の予備情報なしの検査で1日、D-1の予備情報ありの検査で1日、C-1、C-3、C-5の検査で1日の合計3日以内とした。複数の共同研究者が同時に検査を行わないようにした。また、供試体に跡が残るようなマーキングは禁止とした。なお、試験の公平性及び客観性を確保するため、試験開始時から終了時まで立会者を配置した。

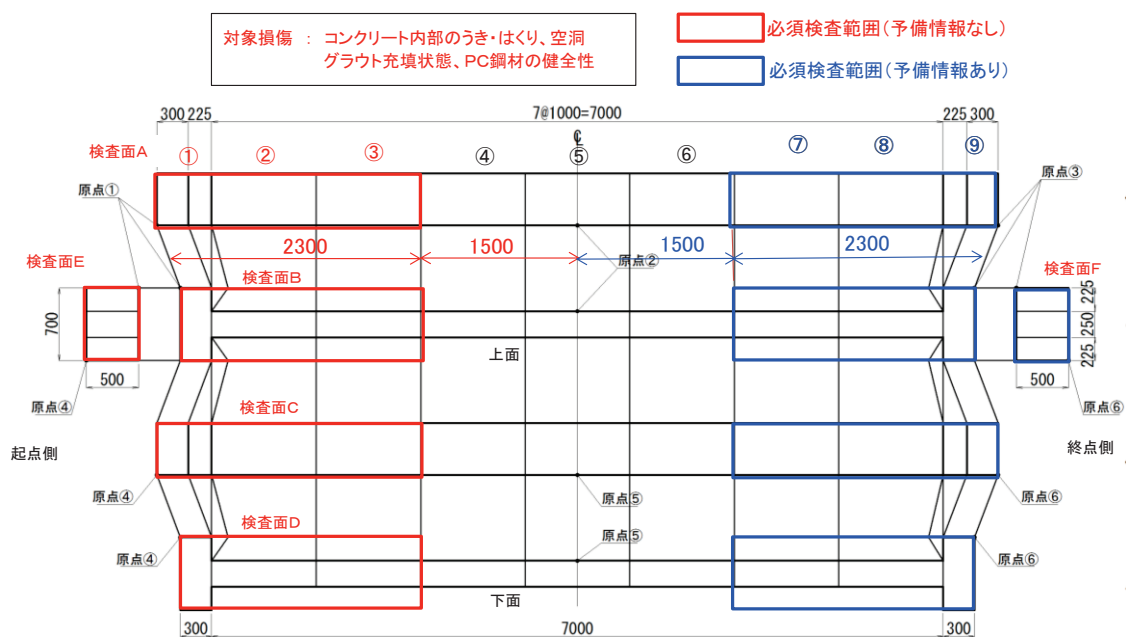


図-4.2.3 検査範囲 (D-1)

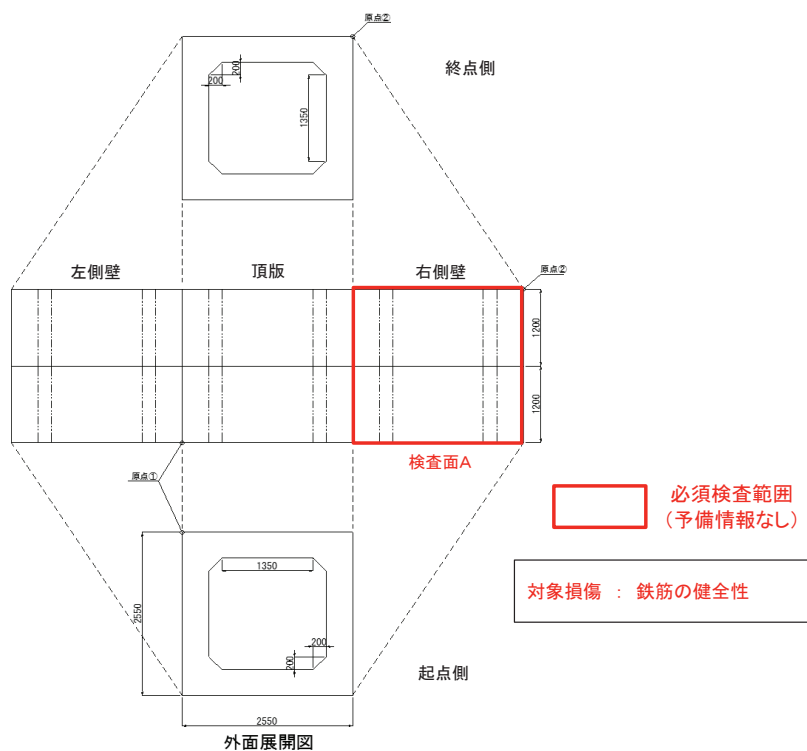
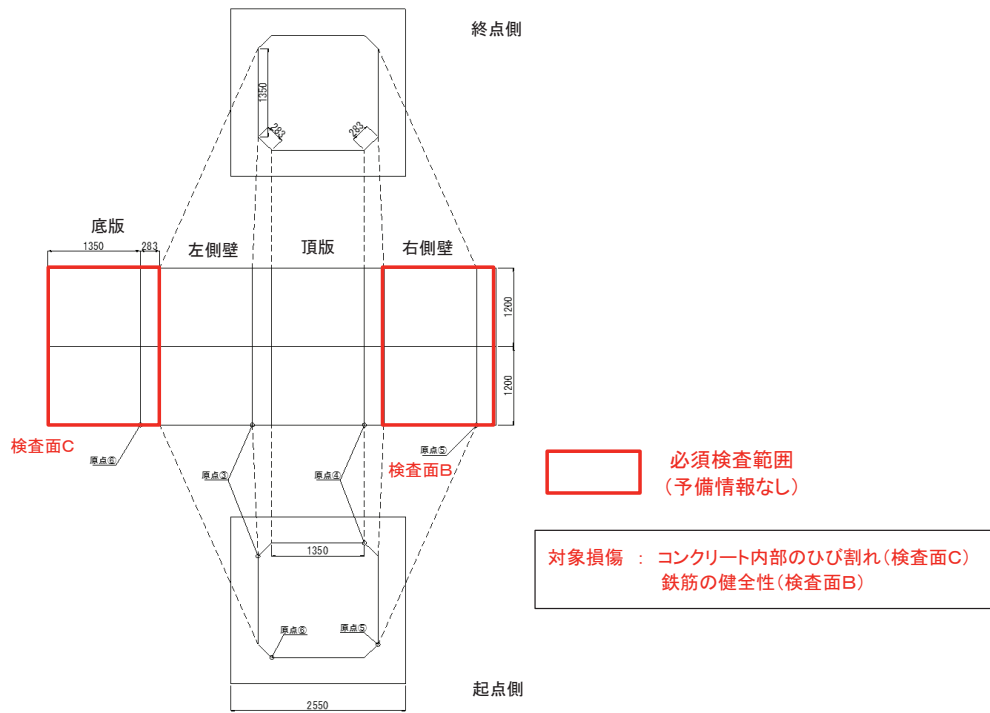


図-4.2.4 検査範囲 (E-1 その1)



内面展開図

図-4.2.5 検査範囲 (E-1 その2)

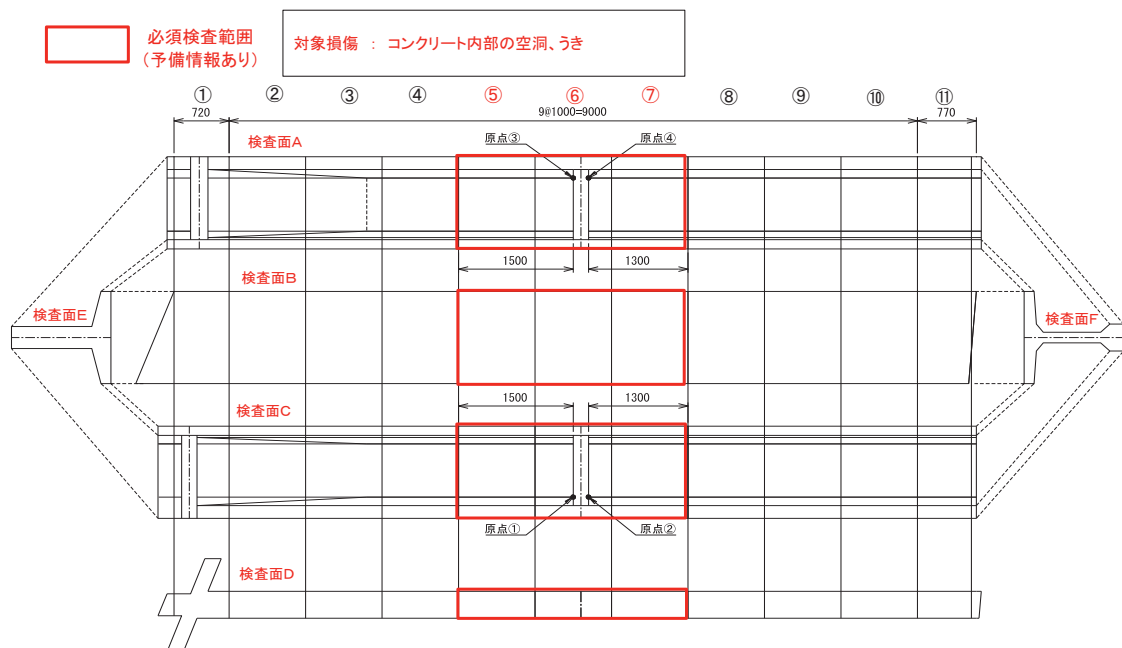


図-4.2.6 検査範囲 (C-1)

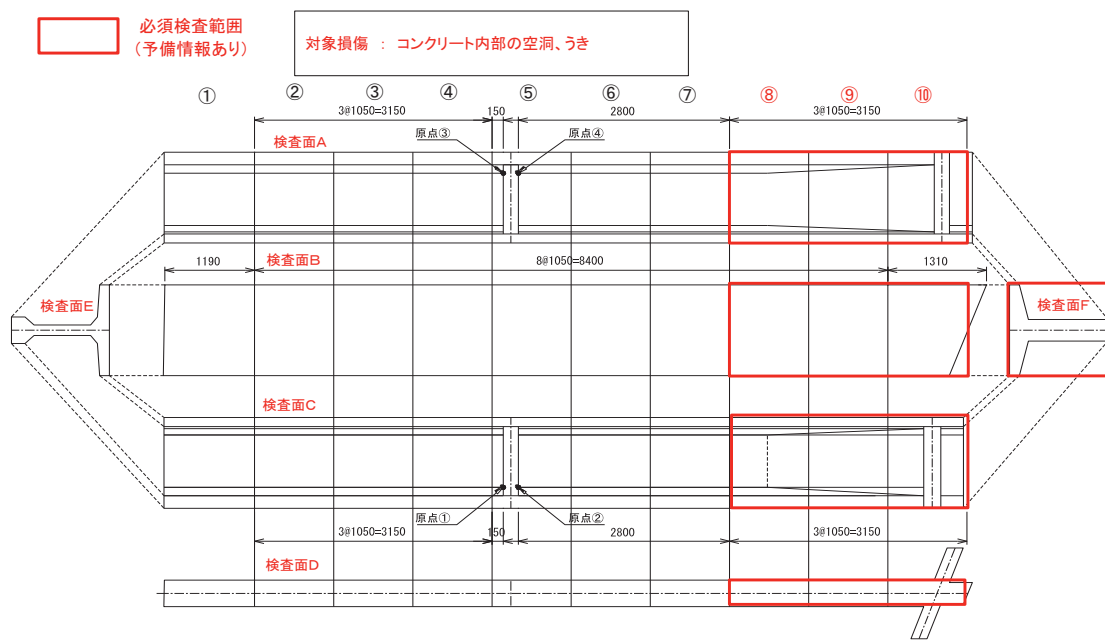


図-4.2.7 検査範囲 (C-3 その1)

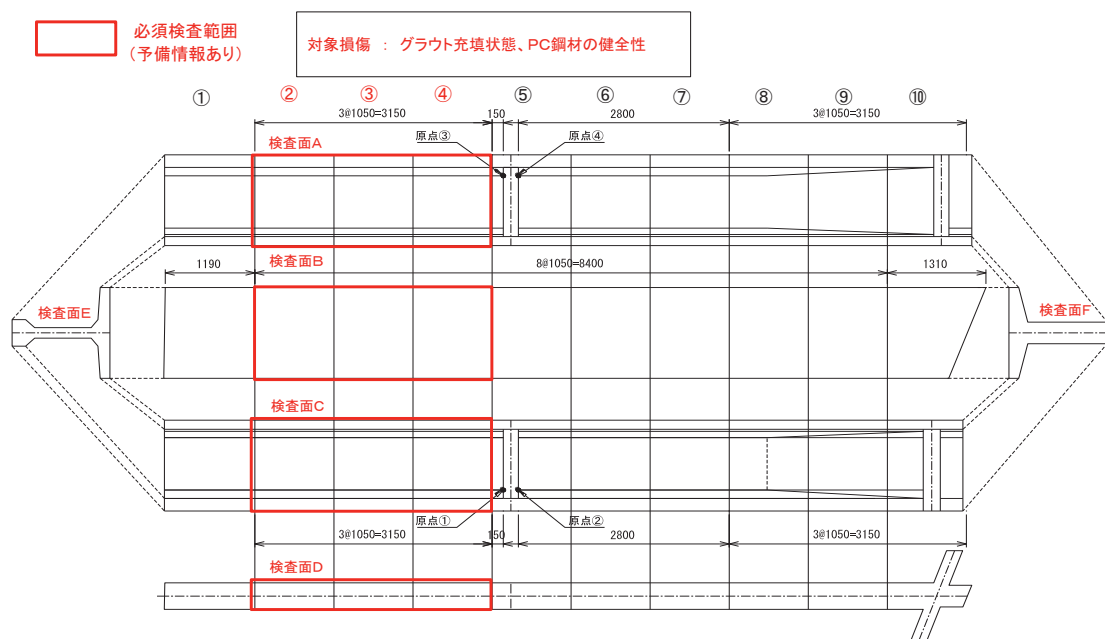


図-4.2.8 検査範囲 (C-3 その2)

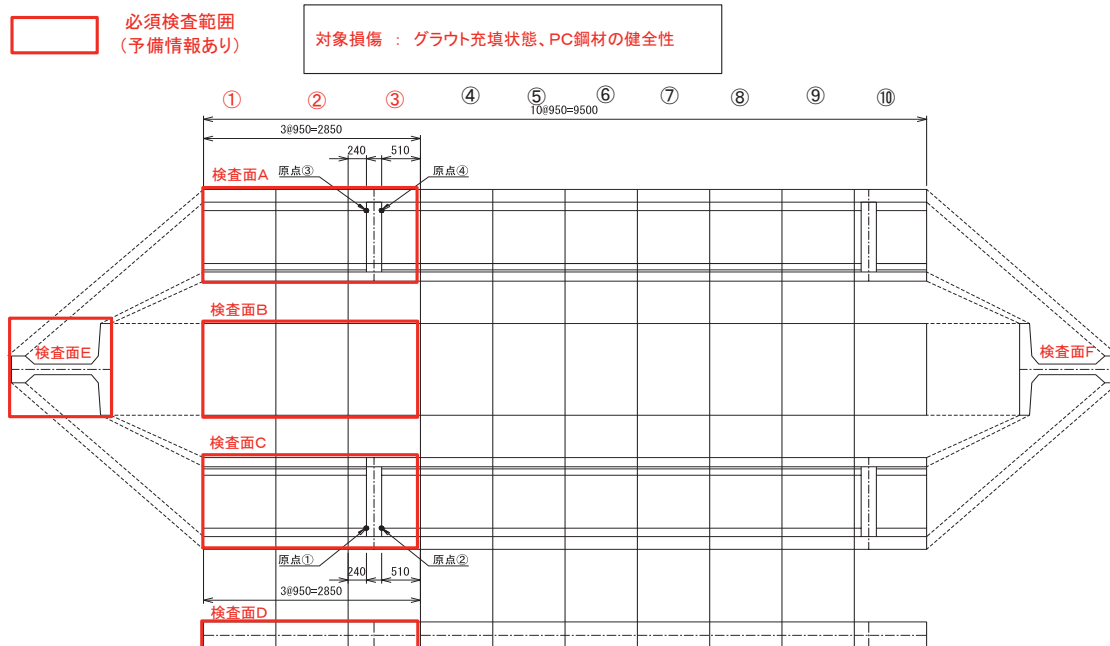


図-4.2.9 検査範囲 (C-5 その1)

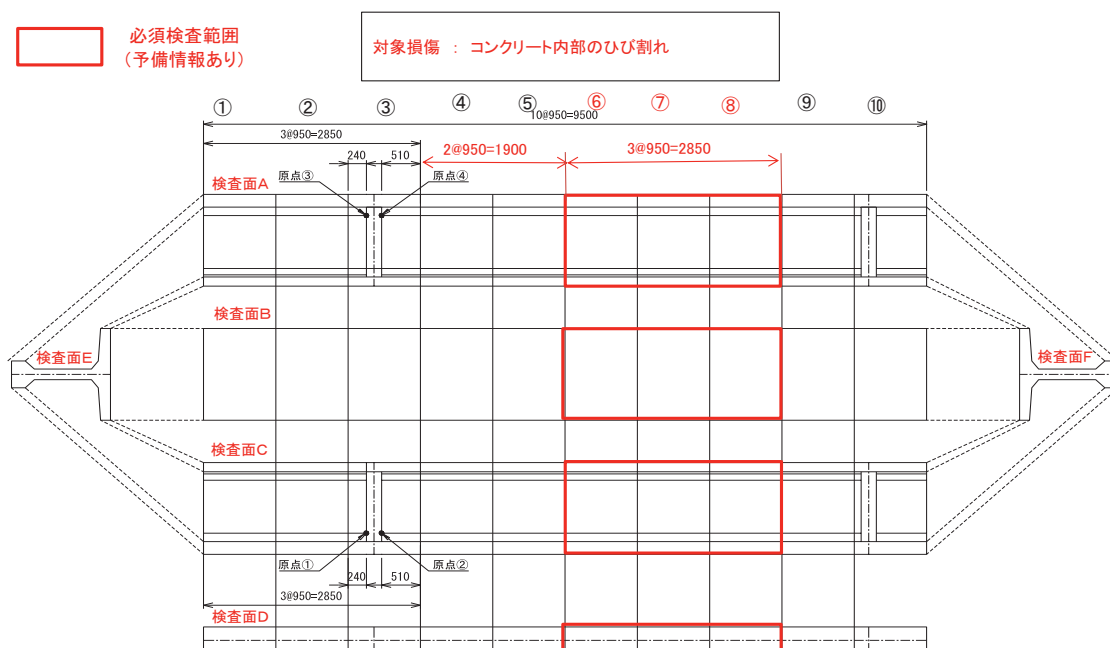


図-4.2.10 検査範囲 (C-5 その2)

4.2.6 検査要領

検査要領は 4.1.6 検査要領と同様とした。

4.2.7 検査結果の整理

(1) 検査結果の評価方法

検査結果の評価方法は 4.1.7(1) 検査結果の評価方法と同様とした。

(2) 検査時間の制限の有無による検知性能

検査時間を 3 時間に制限した場合と最大 2 日間とした場合とで検査結果を比較し、延べ作業時間や内部損傷の正答率について整理した。損傷数は、損傷種別によらず D-2 に模擬されている内部損傷の総数である。延べ作業時間は作業人員に作業時間を乗じて求めた。3 時間の検査範囲は、D-2 の全検査面積に対して、3 時間以内に検査を終了した面積の割合から求めた。3 時間で検査が終わらなかった検査ケースについては、正答率に対して 3 時間の検査範囲の割合から 3 時間の正答率を求めた。検査時間と損傷正答率の関係を表-4.2.4 に示す。

- ・ 3 時間以内に検査が終了したのは 9 ケースである。そのうち、内部損傷を検知できていたのは、5 ケースである。
- ・ 3 時間以内に検査が終了しなかったのは 4 ケースである。そのうち、内部損傷を検知できたのは 1 ケースである。

以上のとおり、内部損傷を検知できた検査技術においては、ほとんどの技術で制限時間以内に検査が完了しており、検査時間が正答率に及ぼす影響を適切に評価できなかった。検査時間は検査対象の形状や検査姿勢、検査空間などの計測条件や、天候、気温などの環境条件によって大きく変化するものと考えられる。そのため、検査技術の検査性能を適切に評価するためには、実構造物での検査時間の実態や検査面積等を参考にし、適切に検査時間を設定した上で、検査時間が検査性能に及ぼす影響を検証することが必要と考えられる。

表-4.2.4 検査時間の制限の有無による損傷正答率

検査 ケース	損傷数 (箇所)	一致 (箇所)	不一致 (箇所)	空振り (箇所)	作業 員数	作業時間 (min)	延べ 作業時間 (min×人)	3時間の 検査範囲 (%)	3時間の 正答率 (%)	全作業 時間 (min)	延べ 作業時間 (min×人)	正答率 (%)
①	23	0	0	0	3	35	105	100	0			0
③	23	0	0	0	3	180	540	50	0	360	1080	0
④	23	0	0	0	9	180	1620	88	0	480	4320	0
⑤	23	0	1	1	3	120	360	100	0			0
⑧	23	0	1	1	2	180	360	56	0	322	644	0
⑨	23	4	1	2	3	170	510	100	17			17
⑪	23	8	18	41	2	150	300	100	35			35
⑫	23	0	0	2	3	180	540	100	0			0
⑬	23	1	2	2	3	60	180	100	4			4
⑭	23	8	6	5	3	180	540	100	35			35
⑮	23	0	0	0	4	10	40	100	0			0
⑲	23	10	1	0	2	180	360	78	34	230	460	43
⑳	23	5	1	1	2	165	330	100	22			22

※3時間の正答率=3時間の検査範囲/100×正答率

(3) 予備情報の有無による検知性能

鉄筋や PC 鋼材の配置や外観調査結果などの予備情報の有無が検査性能に与える影響を検証するために、D-1 供試体について予備情報なしの条件で検査を実施した後に、予備情報を与えて再度検査を実施した。検査は予備情報の有無で検査面を変更して行った。それぞれの検査対象範囲には、内部損傷の形状や位置（かぶり）がほぼ同様の条件で内包された損傷を模擬しているため、それらの損傷の検査結果を比較することで、予備情報の有無の影響を検証した。与えた予備情報は①鉄筋と PC 鋼材の位置、②検査範囲内に模擬されている内部損傷の種類、③供試体の外観調査結果である。

空洞、グラウト充填不良に対する検査結果の比較結果を表-4.2.5～表-4.2.6 に整理した。表中の黄色は予備情報によって検知性能が向上した場合、緑色は検知性能が低下した場合、水色は予備情報によって内部損傷を検知できるようになったが損傷種別が一致していない場合を意味している。なお、予備情報のなし、ありの両方で内部損傷が検知されていない検査ケースに関しては記載していない。

- ・表-4.2.5 のとおり、空洞について検知性能が向上したのは 1 ケースで、空洞を検知できなくなったのは 1 ケースである。
- ・表-4.2.6 のとおり、グラウト充填不良については検知性能が向上したのは 1 ケースで、グラウト充填不良を検知できなくなったのは 3 ケースである。
- ・予備情報なしでは内部損傷を検知できていないが、予備情報ありでグラウト充填不良を空洞として判定したのは 2 ケースである。

以上のとおり、予備情報が与えられたことで検知性能が向上した検査技術は、空洞において 1 技術、グラウト充填不良において 1 技術である。また、内部損傷の種別は一致していないが、内部損傷を検知できるようになったのは 2 技術である。検知性能が向上

した理由としては、鉄筋や PC 鋼材の配置情報が与えられることで、検査位置を特定しやすくなり、鉄筋や PC 鋼材の影響を考慮して検査結果を判断できるためと考えられる。しかし、中には予備情報が与えられたことで検知性能が低下する検査技術があった。また、予備情報の有無にかかわらず、グラウト充填不良を空洞と判定している検査技術もある。このように、予備情報によって検知性能が向上する技術があるものの、必ずしも有効であるとは限らないため、非破壊検査技術の検査性能を適切に評価するためには、予備情報の有無が検知性能に及ぼす影響を明確にすることは重要であると考えられる。

表-4.2.5 予備情報の有無による検査結果の比較（空洞）

検査 ケース	予備情報 有無	計測者回答	損傷検知 判定
⑨	なし	空洞	一致
	あり	空洞	一致
⑭	なし	検知できず	
	あり	空洞	一致
⑰	なし	空洞	一致
	あり	空洞	一致
⑳	なし	空洞	一致
	あり	検知できず	

表-4.2.6 予備情報の有無による検査結果の比較（グラウト充填不良）

検査 ケース	予備情報 有無	計測者回答	損傷検知 判定
⑤	なし	空洞orうき	空振り
	あり	検知できず	
⑧	なし	検知できず	
	あり	グラウト充填不良	一致
⑨	なし	空洞	空振り
	なし	空洞	空振り
	あり	空洞	空振り
	あり	空洞	空振り
⑪	なし	空洞	空振り
	なし	空洞	空振り
	なし	空洞	空振り
	あり	検知できず	
⑬	なし	検知できず	
	あり	空洞	空振り
	あり	空洞	空振り
	あり	空洞	空振り
⑰	なし	グラウト充填不足	一致
	あり	検知できず	
⑳	なし	検知できず	
	あり	空洞	空振り

(4) 検査供試体の違いによる検査性能（要素供試体と模擬損傷供試体）

要素供試体における非破壊検査技術の基本性能（純かぶり、部材厚さに対する損傷計測限界）が、模擬損傷供試体において同様に発揮できるか検証するために、模擬損傷供試体（D-2、D-1）に対する非破壊検査のうち、要素供試体とほぼ同一の条件（純かぶり、部材厚さ、損傷の規模）で模擬されている内部損傷に着目し、検査結果を比較した。

1) 純かぶりの計測限界の比較

純かぶりの比較は、空洞とうきの検査結果について整理した。空洞では純かぶりが 25～75mm、75～125mm で模擬されている箇所、うきでは純かぶりが 30～50mm で模擬されている箇所に対する検査結果を比較した。また、検査結果は損傷種別の規模毎に整理した。検知可能な限界純かぶりの比較結果を表-4.2.7～表-4.2.12 に示す。

- ・表-4.2.7 の通り、純かぶりが 25～75mm の位置に模擬された空洞（大）に対してすべての供試体で検知できたのは 2 ケースである。要素供試体と模擬損傷供試体 D-1 または D-2 のどちらかを検知できているのは 2 ケースである。
- ・表-4.2.8 の通り、純かぶりが 75～125mm の位置に模擬された空洞（大）に対して模擬損傷供試体で検知できたケースはない。
- ・表-4.2.9 の通り、純かぶりが 25～75mm の位置に模擬された空洞（小）に対してすべての供試体で検知できたケースはなく、要素供試体と模擬損傷供試体 D-1 または D-2 のどちらかを検知できているのは 2 ケースである。
- ・表-4.2.10 の通り、純かぶりが 75～125mm の位置に模擬された空洞（小）に対してすべての供試体で検知できたケースはなく、要素供試体と模擬損傷供試体 D-1 または D-2 のどちらかを検知できているのは 3 ケースである。
- ・表-4.2.11 の通り、純かぶりが 30～50mm の位置に模擬されたうき（大）に対して模擬損傷供試体で検知できたケースはないが、うきを空洞と判定しているケースが 1 ケースある。
- ・表-4.2.12 の通り、純かぶりが 30～50mm の位置に模擬されたうき（小）に対して模擬損傷供試体で検知できたケースはない。

以上の通り、空洞については一部の検査技術では模擬損傷供試体においても要素供試体と同様の検査性能を確認できたが、多くの検査技術では要素供試体と同様の性能を発揮できない結果であった。これは、要素供試体が 1 種類の内部損傷しか模擬していないのに対し、模擬損傷供試体ではその他の損傷も模擬しているため、隣接する内部損傷や鉄筋や PC 鋼材等の影響を受けている可能性が考えられる。このように、供試体の違いによって損傷のかぶりによる検査性能が異なる場合があるため、非破壊検査技術の検査性能を適切に評価するためには、供試体の違いによる損傷検出限界につい

て把握する必要がある。

表-4.2.7 検知可能な限界純かぶりの比較結果 空洞（大） 純かぶり：25～75mm

検査ケース	要素供試体 F-1、F-2	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③			
④	○		
⑤	○		
⑧			
⑨	○	○	○
⑪		○	
⑫	○		
⑬			
⑭	○	○	
⑱			
⑲	○		○
⑳	○	○	○

表-4.2.8 検知可能な限界純かぶりの比較結果 空洞（大） 純かぶり：75～125mm

検査ケース	要素供試体 F-1、F-2	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③			
④			
⑤			
⑧			
⑨	○		
⑪	○		
⑫			
⑬			
⑭	○		
⑱			
⑲	○		
⑳	○		

○：検知可能 △：不一致
空欄：計測データなしまたは検知不可

表-4.2.9 検知可能な限界純かぶりの比較結果 空洞（小） 純かぶり：25～75mm

検査ケース	要素供試体 F-1、F-2	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③			
④	○		
⑤			
⑧			
⑨	○		
⑪	○	○	
⑫			
⑬		○	
⑭	○		
⑱	○		
⑲	○		○
⑳			

表-4.2.10 検知可能な限界純かぶりの比較結果 空洞（小） 純かぶり：75～125mm

検査ケース	要素供試体 F-1、F-2	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③			
④			
⑤			
⑧			
⑨	○		○
⑪	○	○	
⑫	○		
⑬			
⑭	○		○
⑱			
⑲			○
⑳		○	○

○：検知可能 △：不一致
空欄：計測データなしまたは検知不可

表-4. 2. 11 検知可能な限界純かぶりの比較結果 うき（大） 純かぶり：30～50mm

検査ケース	要素供試体 F-3	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③	○		
④	○		
⑤	○		
⑧			
⑨	○		
⑪	○		
⑫	○		
⑬		△	
⑭			
⑱	○		
⑲			
⑳	○		

表-4. 2. 12 検知可能な限界純かぶりの比較結果 うき（小） 純かぶり：30～50mm

検査ケース	要素供試体 F-3	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③			
④	○		
⑤			
⑧			
⑨	○		
⑪			
⑫	○		
⑬			
⑭	○		
⑱	○		
⑲			
⑳			

○：検知可能 △：不一致
空欄：計測データなしまたは検知不可

2)部材厚さの計測限界の比較

部材厚さの比較は、空洞とうきの検査結果について整理した。要素供試体では部材厚さが 200mm または 300mm、500mm に模擬されている箇所、模擬損傷供試体 (D-1、D-2) では部材厚さが 250mm、500mm に模擬されている箇所に対する検査結果を比較した。検査結果は損傷種別の規模毎に整理した。検知可能な限界部材厚さの比較結果を表-4.2.13～表-4.2.20 に示す。

- ・表-4.2.13 の通り、部材厚さが 200～300mm の位置に模擬された空洞 (大) に対してすべての供試体で検知できたのは 2 ケースである。要素供試体と模擬損傷供試体 D-1 または D-2 のどちらかを検知できているのは 2 ケースである。
- ・表-4.2.14 の通り、部材厚さが 500mm の位置に模擬された空洞 (大) に対して模擬損傷供試体で検知できたケースはない。
- ・表-4.2.15 の通り、部材厚さが 200～300mm の位置に模擬された空洞 (小) に対してすべての供試体で検知できたケースはなく、要素供試体と模擬損傷供試体 D-1 または D-2 のどちらかを検知できているのは 3 ケースである。
- ・表-4.2.16 の通り、部材厚さが 500mm の位置に模擬された空洞 (小) に対してすべての供試体で検知できたケースはなく、要素供試体と模擬損傷供試体 D-1 または D-2 のどちらかを検知できているのは 1 ケースである。また、空洞とグラウト充填不良と判定しているケースが 1 ケースある。
- ・表-4.2.17 の通り、部材厚さが 200～300mm の位置に模擬されたうき (大) に対してすべての供試体で検知できたケースはなく、うきを空洞と判定しているケースが 1 ケースある。
- ・表-4.2.18 の通り、部材厚さが 500mm の位置に模擬されたうき (大) に対して模擬損傷供試体で検知できたケースはない。
- ・表-4.2.19～表-4.2.20 の通り、部材厚さが 200～300mm および 500mm の位置に模擬されたうき (小) に対して模擬損傷供試体で検知できたケースはない。

以上の通り、空洞については部材厚さが小さければ模擬損傷供試体においても要素供試体と同様の検査性能を発揮できる検査技術も確認できたが、部材厚さが大きくなると模擬損傷供試体の方が検査性能は低下する傾向であった。このように、要素供試体と模擬損傷供試体で部材厚さが検査性能与える影響が異なる場合があるため、非破壊検査技術の検査性能を適切に評価するためには、供試体の違いによる損傷検出限界について把握する必要がある。

表-4. 2. 13 検知可能な限界部材厚さの比較結果 空洞（大） 部材厚さ：200～300mm

検査ケース	要素供試体 F-1、F-2	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③			
④			
⑤	○		
⑧			
⑨	○	○	○
⑪	○	○	
⑫	○		
⑬			
⑭	○	○	
⑱	○		
⑲	○		
⑳	○	○	○

表-4. 2. 14 検知可能な限界部材厚さの比較結果 空洞（大） 部材厚さ：500mm

検査ケース	要素供試体 F-1、F-2	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③			
④			
⑤			
⑧			
⑨			
⑪			
⑫			
⑬			
⑭			
⑱	○		
⑲			
⑳	○		

○：検知可能 △：不一致
空欄：計測データなしまたは検知不可

表-4. 2. 15 検知可能な限界部材厚さの比較結果 空洞（小） 部材厚さ：200～300mm

検査ケース	要素供試体 F-1、F-2	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③			
④			
⑤			
⑧			
⑨	○		○
⑪	○	○	
⑫			
⑬	○	○	
⑭	○		
⑱	○		
⑲	○		○
⑳		○	○

表-4. 2. 16 検知可能な限界部材厚さの比較結果 空洞（小） 部材厚さ：500mm

検査ケース	要素供試体 F-1、F-2	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③			
④			
⑤			
⑧			
⑨			
⑪	○	△	
⑫			
⑬			
⑭	○		○
⑱			
⑲			
⑳			

○：検知可能 △：不一致
空欄：計測データなしまたは検知不可

表-4.2.17 検知可能な限界部材厚さの比較結果 うき（大） 部材厚さ：200～300mm

検査ケース	要素供試体 F-3	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③			
④	○		
⑤	○		
⑧			
⑨			
⑪			
⑫	○		
⑬		△	
⑭			
⑱	○		
⑲			
⑳			

表-4.2.18 検知可能な限界部材厚さの比較結果 うき（大） 部材厚さ：500mm

検査ケース	要素供試体 F-3	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③			
④	○		
⑤			
⑧			
⑨	○		
⑪	○		
⑫			
⑬			
⑭			
⑱	○		
⑲			
⑳	○		

○：検知可能 △：不一致
空欄：計測データなしまたは検知不可

表-4.2.19 検知可能な限界部材厚さの比較結果 うき（小） 部材厚さ：200～300mm

検査ケース	要素供試体 F-3	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③			
④	○		
⑤			
⑧			
⑨			
⑪			
⑫			
⑬			
⑭			
⑱	○		
⑲			
⑳			

表-4.2.20 検知可能な限界部材厚さの比較結果 うき（小） 部材厚さ：500mm

検査ケース	要素供試体 F-3	模擬損傷供試体 D-2	模擬損傷供試体 D-1
①			
③			
④	○		
⑤			
⑧			
⑨	○		
⑪	○		
⑫			
⑬			
⑭	○		
⑱	○		
⑲			
⑳			

○：検知可能 △：不一致
空欄：計測データなしまたは検知不可

(5) 検査供試体の違いによる検査性能（模擬損傷供試体と実損傷供試体）

実損傷供試体に対して検査範囲を限定して予備情報を与えた条件で検査を行い、同様に検査範囲を指定して予備情報を与えた条件で検査した模擬損傷供試体の検査結果と比較することで、模擬損傷供試体と実損傷供試体の検査性能について比較した。与えた予備情報は模擬損傷供試体及び実損傷供試体ともに①鉄筋と PC 鋼材の位置、②検査範囲内に模擬されている内部損傷の種別（実損傷供試体においては、第三者による非破壊検査結果から推定された内部損傷の種別）、③供試体の外観調査結果である。検査結果の比較は模擬損傷供試体 D-1 と実損傷供試体 C-3、C-5 について行った。実損傷供試体については、検査終了後に共同研究者によって推定された内部損傷位置に対して解体調査を実施し、検査結果について照合した。

1) 実損傷供試体の解体調査結果

検査終了後に実損傷供試体 C-3、C-5 について解体調査を実施した。なお、解体調査は共同研究者によって内部損傷が推定された位置に対して実施しており、実損傷供試体に生じているすべての損傷について確認したものではない。確認された内部損傷数を損傷種別ごとに整理した結果を表-4.2.21 に示す。

解体調査の結果、内部損傷が推定された位置で確認されたのは空洞とグラウト充填不良がほとんどであった。そこで、模擬損傷供試体と実損傷供試体の検査性能の比較は、空洞とグラウト充填不良について実施する。

表-4.2.21 解体調査によって確認された内部損傷数

	空洞	うき	ひび割れ	グラウト 充填不良	PC 鋼材の 健全性	鉄筋の健 全性
C-3	18	0	0	17	3	0
C-5	1	0	0	1	0	0
総数	19	0	0	18	3	0

(箇所)

2) 内部損傷正答率

空洞に対する正答率の比較結果を表-4.2.22、グラウト充填不良に対する正答率の比較結果を表-4.2.23 に示す。

- ・表-4.2.22 の通り、模擬損傷供試体と実損傷供試体の検査で空洞を検知できた検査ケースは少なく、両供試体で空洞を検知できたのは 2 ケースのみである。模擬損傷供試体で正答率が上がっているケースもあるが、いずれも正答率は低い結果である。
- ・表-4.2.23 の通り、模擬損傷供試体と実損傷供試体の検査において両供試体でグラウ

ト充填不良を検知できた検査ケースはない。

- ・模擬損傷供試体の検査には参加していないが、実損傷供試体に対する検査でグラウト充填不良の正答率が比較的高いケースが確認されている。この検査技術が模擬損傷供試体に対する検査を実施していないのは、供試体の寸法が小さいと入力波等が反射し正しく検査結果が得られないためである。

以上の通り、模擬損傷供試体と実損傷供試体に対する検査結果の比較では、データが少ないため、適切な検証ができなかった。一方で、検査原理や検査機器固有の性質等から要素供試体や模擬損傷供試体のような寸法が小さな供試体では、実構造物への適用性を適切に評価できない可能性のある検査技術もあることが確認された。そのため、非破壊検査技術の検査性能を適切に評価するためには、供試体の寸法や検査条件等を変えながら段階的な検査を実施し、それぞれの条件が検査性能に及ぼす影響を確認する方法が適していると言える。

表-4.2.22 内部損傷正答率の比較結果（空洞）

検査ケース	内部損傷正答率(%)	
	模擬損傷供試体 D-1	実損傷供試体 C-3、C-5
⑨	67	検知できず
⑪	17	32
⑬	検知できず	5
⑭	17	11
⑲	67	検知できず
⑳	33	検知できず

表-4.2.23 内部損傷正答率の比較結果（グラウト充填不良）

検査ケース	内部損傷正答率(%)	
	模擬損傷供試体 D-1	実損傷供試体 C-3、C-5
⑧	20	6
⑮	不参加	61
⑲	20	検知できず

4.2.8 まとめ

非破壊検査技術の適用性能の検証試験では、検査時間を制限することで検査時間が検査性能に及ぼす影響を確認した。また、模擬損傷供試体や実損傷供試体において検査範囲や損傷種別を限定し、予備情報を与えた状態で検査を行うことで、要素供試体における検査性能が模擬損傷供試体や実損傷供試体でどの程度発揮されるのか確認した。本検証試験から得られた知見は以下の通りである。

1)適用性能の検証試験結果の特徴

- ・ 模擬損傷供試体 1 体に対して検査時間を 3 時間に制限した検査では、ほとんどの検査技術で 3 時間以内に検査が完了している。
- ・ 予備情報の有無によって、検査性能が向上する検査技術があるが、反対に検査性能が低下する検査技術もある。
- ・ 要素供試体よりも模擬損傷供試体の方が、内部損傷を検知可能な計測限界かぶりや計測限界部材厚さはその範囲が小さくなる傾向である。
- ・ 模擬損傷供試体と実損傷供試体に対する検査性能を比較したが、計測データが少なかったために適切な検証ができていない。

2)評価試験法に反映すべき事項

①今回設定した 3 時間の制限時間では、ほとんどの検査技術が時間内に検査を完了してしまい、制限時間が正答率に及ぼす影響を確認できなかった。実構造物に対して非破壊検査を行う場合には、検査に要する時間は検査対象の形状や検査姿勢、検査空間などの計測条件や、天候、気温などの環境条件によって大きく変化するものと考えられる。そのため、検査技術の検査性能を適切に評価するためには、実構造物での検査時間の実態や検査面積等を参考にし、適切に検査時間を設定した上で、検査時間が検査性能に及ぼす影響を検証することが必要と考えられる。

②鉄筋や PC 鋼材の配置、内部損傷の種別、供試体の外観調査の予備情報が与えられたことで、検査性能が向上する検査技術が確認されたものの、すべての検査技術において必ずしも予備情報が有効であるとは限らないことが分かった。そのため、検査技術の検査性能を適切に評価するためには、予備情報の有無が検査性能に与える影響や、どのような予備情報が検査性能に影響するのか等について確認する必要がある。

③要素供試体における計測限界かぶりや計測限界部材厚さが、模擬損傷供試体では低下する傾向であることが確認された。これは、要素供試体に比べて複雑な配筋状態や隣接する他の内部損傷の影響を受けるためと考えられる。このように、供試体や

検査条件を変化させて検査を行うことで、様々な状況での検査性能について把握しておくことが望ましいと言える。

- ④模擬損傷供試体と実損傷供試体の検査性能の関係を確認できなかったが、検査技術によっては要素供試体や模擬損傷供試体よりも実損傷供試体の方が、内部損傷の正答率が高くなる可能性があることが確認された。そのため、検査技術の検査性能をより細かく把握するためには、供試体の形状や寸法、検査条件などを変化させた検査が必要であると言える。

以上の通り、模擬損傷供試体や実損傷供試体に対して、検査時間や検査面などを制限したり、予備情報を与えたりすることで、様々な要因によって要素供試体で発揮されていた検査性能が低下することが確認された。しかし、実構造物を対象にした検査では、検査空間の影響や構造物の表面に施工された補強・補修材の影響など、さらに検査性能に影響を及ぼす可能性のある要因が存在する。非破壊検査技術の実構造物への適用性を適切に評価するためには、このような条件についても検証が必要であると考えられる。

4.3 非破壊検査技術の実橋レベルの検証試験

4.3.1 概要

模擬損傷供試体や実損傷供試体を用いて、検査制限時間や予備情報の有無の条件を与えた検査を行うことで、検査性能に及ぼす影響を把握できることが確認された。しかし、実構造物に対する非破壊検査では、さらに検査性能に影響を及ぼす要因が存在することもある。そこで、本検証では、新たに作製する模擬損傷供試体及び実損傷供試体に対して特に条件を与えない全体検査や、作業スペースの制限がある場合や表面塗装されている場合の検査を行うことで、実橋レベルでの非破壊検査技術の検査性能について確認する。非破壊検査は共同研究者が実施し、国総研が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、実橋レベルでの各検査技術の検査性能について把握する。検査結果の整理では、共同研究者から提供された検査結果と模擬損傷供試体の内部損傷の正解値及び実損傷供試体の解体調査結果と照合する。

4.3.2 検証対象とした検査ケース

非破壊検査技術の実橋レベルの検証試験では4体の模擬損傷供試体と4体の実損傷供試体に対して非破壊検査を実施した。結果の整理にあたっては検査結果が特定の検査技術から得られたことが読み取れないように配慮した。各検査技術によって得られた結果は「検査ケース」と呼ぶこととし、①～②の番号を付して整理した。検査対象毎の検査ケース数を表4.3.1に示す。各検査技術が検知対象とする内部損傷が異なるため、検査対象によって検査ケース数が異なっている。22技術中、非破壊検査技術の実橋レベルの検証試験を実施した技術は12技術である。検査は共同研究者がそれぞれ行った。

表-4.3.1 非破壊検査技術の実橋レベルの検証試験の検査ケース数

検査対象	D-4	D-5	D-6	E-2	G-1	G-2	G-3	G-4
検査ケース数	11	11	8	7	12	12	12	12

4.3.3 検査に用いる供試体

非破壊検査技術の実橋レベルの検証試験では、予備情報や制約条件がない場合の検査性能や、作業スペースや供試体の表面塗装等の制約がある条件での検査性能について確認する。検査には新たに作製した模擬損傷供試体と撤去桁から作製した実損傷供試体を使用した。

(1) 模擬損傷供試体

模擬損傷供試体は、非破壊検査技術の基礎的調査で作製した模擬損傷供試体と同じ形状、供試体数とした。模擬損傷供試体は今回の共同研究での非破壊検査技術の検証の他に、今後の点検等で非破壊検査を使用する場合の検査機器の精度や作業性能等を検証し

ていくための性能評価試験用の供試体としても使用することを想定している。そのため、模擬損傷供試体の内部損傷の模擬方法および配筋状態等の詳細については本報告書では明記しない。

模擬損傷供試体の諸元を表-4.3.2に示す。作製した模擬損傷供試体の種類は、ポストテンション方式PC桁を模擬した供試体（D-4、D-5）、ポストテンション方式PC中空床版を模擬した供試体（D-6）、ボックスカルバートを模擬した供試体（E-2）の3種類、合計4体である。

表-4.3.2 模擬損傷供試体の諸元

橋梁名称	模擬する構造物の形式	供試体長さ	供試体幅	供試体高さ	作製数
D-4	ポストテンション方式PCT桁	7.6m	0.7m	0.5m	1体
D-5	ポストテンション方式PCT桁	7.6m	0.7m	0.5m	1体
D-6	ポストテンション方式PC中空床版	7.6m	1.0m	0.4m	1体
E-2	ボックスカルバート	2.55m	1.2m	2.55m	1体

模擬損傷供試体に模擬した内部不具合の種別と損傷数を表-4.3.3に示す。なお、模擬損傷供試体に模擬されている内部損傷の種別と損傷数の特定を避けるため、ここでは、D-4、D-5、D-6、E-2 それぞれの模擬損傷供試体にどの種別の内部損傷が模擬されているかについては明記せず、損傷数については4体の合計を示す。また、模擬した内部損傷のうち、「PC鋼材健全性」を模擬した箇所では、PC鋼材の腐食や破断、シースの損傷、定着具の損傷のうちいずれかの損傷を模擬している。同様に、「鉄筋健全性」は鉄筋腐食や鉄筋破断のいずれかの損傷を模擬している。また、これらの他にも検査性能に影響を及ぼすと考えられる内部損傷を複数模擬している。

表-4.3.3 模擬損傷供試体に模擬した内部損傷種別及び損傷数

内部損傷	損傷数(箇所)
空洞	58
うき	29
ひび割れ	15
グラウト充填不良	16
PC鋼材健全性 (腐食や破断、シースの損傷、定着具の損傷)	11
鉄筋健全性 (腐食や破断)	9

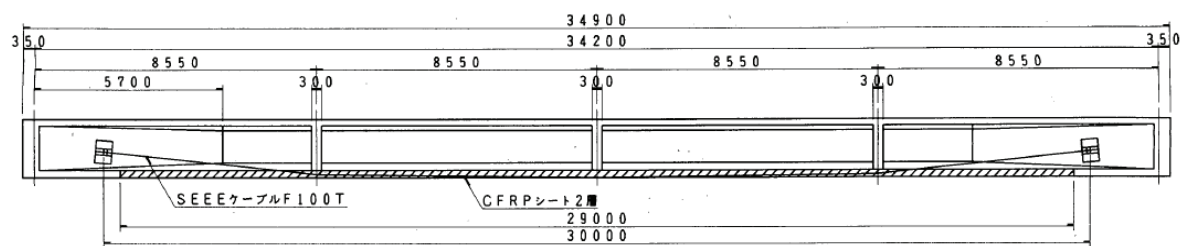
(2) 実損傷供試体

新たに作製した実損傷供試体の諸元と作製した供試体数を表-4.3.4 に示す。実損傷供試体は G 橋、I 橋の 2 橋から採取した撤去桁 4 部材（G 橋：4 部材）から作製した。撤去桁の形状を図-4.3.1、供試体全景を写真-4.3.1 に示す。

表-4.3.4 実橋レベルの検証試験に使用した撤去桁の諸元と供試体数

橋梁名称	橋梁形式	支間長	完成年度	撤去時期	供試体長さ	作製数
G橋	PC単純ポストテンションT桁橋	34.9m	1966年	2000年	約5m	4体

側面図



断面図

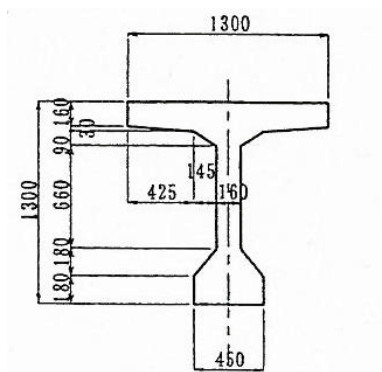


図-4.3.1 撤去桁の形状（G 橋）



写真-4.3.1 供試体設置状況（G 橋）

(3) 検証対象供試体と評価項目

検査に用いる供試体と、それぞれの供試体で確認する項目について表-4.3.5 に示す。

表-4.3.5 検証対象供試体と検証項目

供試体種類	検査範囲	検証項目
D-4、D-5、D-6、E-2 G-3、G-4	全面	・実橋を想定した制約がない条件での検査性能
G-1、G-2	全面	・実橋を想定した制約条件下における検査性能

4.3.4 調査項目と着目点

調査項目と着目点は表-4.3.6 の通りである。

表-4.3.6 調査項目と着目点

調査項目	着目点
実橋を想定した制約がない条件での検査性能	予備情報や様々な制限を与えない条件で供試体の全体検査を実施して、検査性能を把握する。
実橋を想定した制約条件下における検査性能	供試体の作業スペースの制限や供試体表面を塗装した条件で供試体の全体検査を実施し、実橋を模擬した条件での検査性能を把握する。

4.3.5 試験実施条件

(1) 実橋を想定した制約がない条件での検査性能

模擬損傷供試体（D-4、D-5、D-6、E-2）と実損傷供試体（G-3、G-4）に対して、特に制約条件等を設けずに検査を実施した。供試体設置場所は屋外とし、検査時間は 3 日以内（7h×3 日）とした。検査は単独で作業するものとし、複数の共同研究者が同時に検査を行わないようにした。また、供試体に跡が残るようなマーキングは禁止とした。なお、試験の公平性及び客観性を確保するため、試験開始時から終了時まで中立的な立場の立会者を配置した。

(2) 実橋を想定した制約条件下における検査性能

実損傷供試体（G-1、G-2）に対して、供試体間隔を狭くし、作業スペースを制限した検査（G-1）及び供試体に表面塗装がされた状態（G-2）で検査を実施した。供試体設置場所は屋外とし、検査時間は 2 日以内（7h×2 日）とした。検査は、複数の共同研究者が同時に検査を行わないようにした。また、供試体に跡が残るようなマーキングは禁止

とした。なお、試験の公平性及び客観性を確保するため、試験開始時から終了時まで立会者を配置した。

4.3.6 検査要領

検査要領は 4.1.6 検査要領と同様とした。

4.3.7 検査結果の整理

(1) 検査結果の評価方法

検査結果の評価方法は 4.1.7(1) 検査結果の評価方法と同様とした。

(2) 実橋を想定した制約がない条件での検査性能

新たに作製した模擬損傷供試体と実損傷供試体の内部損傷正答率を比較することで、模擬損傷供試体の実橋レベルの検査への適用性を確認する。実損傷供試体については、検査終了後に共同研究者によって推定された内部損傷位置に対して解体調査を実施し、検査結果について照合した。

1) 実損傷供試体の解体調査結果

検査終了後に実損傷供試体 G-3、G-4 について解体調査を実施した。なお、解体調査は共同研究者によって内部損傷が推定された位置に対して実施しており、実損傷供試体に生じているすべての損傷について確認したものではない。確認された内部損傷数を損傷種別ごとに整理した結果を表-4.3.7 に示す。

表-4.3.7 解体調査によって確認された内部損傷数

	空洞	うき	ひび割れ	グラウト 充填不良	PC鋼材の健全性 (腐食や破断、シースの 損傷、定着具 の損傷)	鉄筋の健全性 (腐食や 破断)
G-3	8	1	0	1	0	0
G-4	10	0	1	1	0	0
総数	18	1	1	2	0	0

2) 内部損傷の正答率

内部損傷の正答率を損傷種別毎に整理した。模擬損傷供試体の検査結果を表-4.3.8、実損傷供試体の検査結果を表-4.3.9 に示す。

- ・表-4.2.8 の通り、模擬損傷供試体 (D-4、D-5、D-6、E-2) で検知できた内部損傷は「空洞」と「グラウト充填不良」のみである。

- ・「空洞」については、6 ケース検知できており、正答率は 2～31%である。
- ・「グラウト充填不良」については、2 ケース検知できており、正答率は 6～31%である。
- ・表-4.2.9 の通り、実損傷供試体（G-3、G-4）で検知できた内部損傷は「空洞」のみである。
- ・「空洞」については、5 ケース検知できており、正答率は 6～61%である。

以上の通り、新たに作製した模擬損傷供試体を用いた非破壊検査では、「空洞」と「グラウト充填不良」以外の内部損傷を検知できた検査技術はなかった。新たに作製した模擬損傷供試体（D-4、D-5、D-6、E-2）は、検査の対象とした「空洞」、「うき」、「ひび割れ」、「グラウト充填不良」、「PC 鋼材の健全性」、「鉄筋の健全性」以外にも、様々な内部損傷を模擬しており、さらに、標準的に鉄筋や PC 鋼材が配置される位置以外にも、本来の構造からは想定できないような位置に内部損傷を模擬している。そのため、非破壊検査技術の基礎的調査で作製した模擬損傷供試体（D-1、D-2、D-3、E-1）を用いた検査よりも、配筋や隣接する内部損傷等の影響を受けやすかったために、検知性能が低下したものと推察される。このように、模擬損傷供試体を用いた検査でも、内部損傷の模擬条件等を適切に設定することで、非破壊検査技術の検査性能に影響を及ぼす要因等を把握することができるものと考えられる。また、実損傷供試体に対する検査結果は、実損傷供試体に対する検査結果と同じ傾向を示していることから、模擬損傷供試体に対する検査による検査結果の評価は、実橋レベルの検査に適用できるといえる。

表-4.3.8 模擬損傷供試体の内部損傷正答率

検査 ケース	空洞	うき	ひび割れ	グラウト 充填不良	PC鋼材の 健全性(腐食や 破断、シースの 損傷、定着具の 損傷)	鉄筋の 健全性 (腐食や破断)
①	0	0	0	0	0	0
③	2	0	0	0	0	0
④	0	0	0	0	0	0
⑤	10	0	0	0	0	0
⑧	0	0	0	6	0	0
⑨	10	0	0	0	0	0
⑪	12	0	0	0	0	0
⑫	0	0	0	0	0	0
⑬	0	0	0	0	0	0
⑭	3	0	0	0	0	0
⑱	0	0	0	0	0	0
⑲	28	0	0	31	0	0
⑳	31	0	0	0	0	0

単位：(%)

表-4.3.9 実損傷供試体の内部損傷正答率

検査 ケース	空洞	うき	ひび割れ	グラウト 充填不良	PC鋼材の 健全性(腐食や 破断、シースの 損傷、定着具の 損傷)	鉄筋の 健全性 (腐食や破断)
①	0	0	0	0	0	0
③	6	0	0	0	0	0
④	0	0	0	0	0	0
⑤	0	0	0	0	0	0
⑧	0	0	0	50	0	0
⑨	11	0	0	0	0	0
⑪	17	0	0	0	0	0
⑫	6	0	0	0	0	0
⑬	0	0	0	0	0	0
⑭	61	0	0	0	0	0
⑮	0	0	0	50	0	0
⑱	0	0	0	0	0	0
⑲	0	0	0	0	0	0
⑳	0	0	0	0	0	0

単位：(%)

(3) 実橋を想定した制約条件下における検査性能

供試体間隔を狭くし、作業スペースに制約がある場合の実損傷供試体（G-1）に対する非破壊検査結果と、制約のない実損傷供試体（G-3、G-4）の内部損傷正答率を比較することで、制約条件の有無が検査性能に及ぼす影響を確認する。また、一部表面保護塗装がある場合の実損傷供試体（G-2）に対する非破壊検査結果と、表面保護塗装がされていない実損傷供試体（G-3、G-4）の内部損傷正答率を比較することで、制約条件の有無が検査性能に及ぼす影響を確認する。検査終了後に共同研究者によって推定された内部損傷位置に対して解体調査を実施し、検査結果について照合した。

1) 実損傷供試体の解体調査結果

検査終了後に実損傷供試体 G-1、G-2 について解体調査を実施した。なお、解体調査は共同研究者によって内部損傷が推定された位置に対して実施しており、実損傷供試体に生じているすべての損傷について確認したものではない。確認された内部損傷数を損傷種別ごとに整理した結果を表-4.3.10 に示す。

表-4.3.10 解体調査によって確認された内部損傷数

	空洞	うき	ひび割れ	グラウト 充填不良	PC 鋼材の健 全性（腐食や 破断、シース の損傷、定着 具の損傷）	鉄筋の健全性 （腐食や 破断）
G-1	4	0	0	8	1	0
G-2	16	1	1	0	0	0
総数	20	1	1	8	0	0

(箇所)

2)作業スペース制約の有無による検査性能

供試体間を狭くし、作業スペースに制約のある状態で検査を行った G-1 の内部損傷正答率と制約のない状態で検査を行った G-3、G-4 の内部損傷正答率を比較することで、制約条件の有無による検査性能を把握する。比較結果を表-4.3.11 に示す。制約なしの検査結果よりも正答率が増加した場合は黄色、低下した場合は水色で示している。

- ・「空洞」の正答率については、2 ケースで増加し、2 ケースで低下している。
- ・「グラウト充填不良」は制約なしの G-3、G-4 の損傷数が少ないため傾向が大きく出ているが、正答率は低下する傾向である。

以上の通り、作業スペースの制約の有無によって、検査性能に影響を受ける検査技術があることが確認された。実構造物での検査では、狭隘部において検査を実施する可能性もあるため、本検証のような、作業スペースの制約の有無が検査性能に及ぼす影響を確認することは有効であると言える。

表-4.3.11 内部損傷正答率の比較結果（作業スペース制約の影響）

	空洞			グラウト充填不良		
	G-1	G-3	G-4	G-1	G-2	G-3
③	－	－	10%	－	－	0%
⑧	0%	－	0%	13%	－	100%
⑨	25%	－	20%	0%	－	0%
⑪	25%	38%	0%	0%	0%	0%
⑫	25%	－	10%	0%	－	0%
⑭	25%	50%	70%	0%	0%	0%
⑮	0%	0%	0%	50%	100%	0%
⑲	0%	－	－	25%	－	－
損傷数	4	8	10	8	1	1
制約	あり	なし	なし	あり	なし	なし

3)表面保護塗装の有無による検査性能

供試体表面が表面保護塗装で覆われている状態で検査を行った G-2 の内部損傷正答率と表面保護塗装のない状態で検査を行った G-3、G-4 の内部損傷正答率を比較することで、表面保護塗装の有無による検査性能を把握する。比較結果を表-4.3.12 に示す。制約なしの検査結果よりも正答率が増加した場合は黄色、低下した場合は水色で示している。

- ・「空洞」の正答率については、2 ケースで増加し、4 ケースで低下している。
- ・表面保護塗装の有無による正答率の増減はあるものの、その差はわずかである。

以上の通り、表面保護塗装の有無によって、検査性能に影響を受ける検査技術があるものの、その差はわずかであることが確認された。しかし、コンクリート構造物に設置される表面保護塗装や補強材等は多種多様である。それらの影響を適切に評価するためには、多様な表面保護等が設置された実損傷供試体群を準備し、非破壊検査を適用する現場の条件に合わせて非破壊検査技術の検査性能を確認することが重要である。

表-4.3.12 内部損傷正答率の比較結果（表面保護塗装の影響）

	空洞		
	G-2	G-3	G-4
③	13%	0%	10%
⑨	6%	0%	20%
⑪	6%	38%	0%
⑫	0%	0%	10%
⑭	69%	50%	70%
⑰	6%	0%	0%
損傷数	16	8	10
塗装	あり	なし	なし

4.3.8 まとめ

非破壊検査技術の実橋レベルの検証試験では、新たに作製した模擬損傷供試体の実橋レベルの検査への適用性を確認した。また、供試体間を狭くすることで作業スペースに制約を設けた状態や、供試体表面に表面保護塗装がされた状態で非破壊検査を行うことで、それらが検査性能に及ぼす影響について確認した。本検証試験から得られた知見は以下の通りである。

1)実橋レベルの検証試験結果の特徴

- ・新たに作製した模擬損傷供試体に対して非破壊検査を実施した結果、検知できた内部損傷は「空洞」と「グラウト充填不良」のみである。
- ・模擬損傷供試体の検査性能の評価は、実損傷供試体に対する検査性能と同様の傾向を示しており、模擬損傷供試体も実橋レベルの検証試験に適用できる可能性がある。
- ・供試体間を狭くして作業スペースに制約を設けた状態で非破壊検査を行った場合、検査性能に影響を及ぼす場合がある。
- ・供試体表面に表面保護塗装がされている状態で非破壊検査を行った場合、検査性能が低下する傾向ではあるが、その差はわずかである。

2)評価試験法に反映すべき事項

本検証で新たに作製した模擬損傷供試体は、検査対象とする内部損傷の他にも様々な条件や位置にその他の内部損傷を模擬することで、非破壊検査技術の検査性能に影響を及ぼす条件等をさらに詳細に把握することができる可能性がある。実損傷供試体は、事前に内部に生じている損傷の把握が困難であるため、模擬損傷供試体を使用して実橋レベルでの検査性能を確認することができれば、信頼性の高い非破壊検査技術の性能評価が可能となる。一方で、模擬損傷供試体のように実際にコンクリート内部に生じている損傷を模擬損傷供試体で再現することは困難である。本検証では、空洞やグラウト充填不良に対する正答率は高い傾向であったが、それらは内部損傷の模擬方法の影響を含んでいる可能性がある。そのため、非破壊検査技術の実橋レベルでの検査性能を適切に評価するためには、模擬損傷供試体に模擬した内部損傷に対する検査性能を確認しつつ、その性能が実損傷供試体に生じている内部損傷に対する検査性能とどのような関係にあるのかを把握することが重要である。

第5章 非破壊検査技術の性能評価試験法の提案に向けた考察

5.1 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) 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、検知対象とする内部損傷の種別や適用限界、計測原理、計測方法、さらには結果の表示方法等についても異なることがわかった(2.3)。そのため、非破壊検査技術の性能を適切に評価するためには、それらを事前に明確にし、性能評価手法が適用可能であるか確認するとともに、事前調査で示された計測原理や計測方法に則って検査が実施されていることを確認する必要がある。

(2) 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) 検知可能な内部損傷

検査技術によって検知可能な内部損傷は異なり、すべての内部損傷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内部損傷を事前に明らかにしたうえで、比較的形状や配筋状態が単純で、検査性能に影響を及ぼす要因をできる限り排除した供試体に対する非破壊検査を実施することで、その内部損傷に対する検査性能を明確にする必要がある(3.1)。

2) 検査技術の検査精度

検査技術によって内部損傷の位置や形状に対する検査精度には大きな相違があることがわかった(3.2)。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、計測可能な範囲)を事前に明らかにしたうえで非破壊検査を実施することで、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。

3) 検査技術の計測限界

検査技術によって内部損傷を検知可能な内部損傷のかぶりや部材厚さは異なることがわかった(4.1)。よって、評価手法では内部損傷のかぶりや部材厚さをばらつかせた供試体に対する非破壊検査を実施することで、検査技術の計測限界を確認する必要がある。

(3) 非破壊検査技術の実構造物への適用性を評価するための方法

1) 検査制限時間の有無による検査性能

非破壊検査による点検等を計画するためには、検査技術の検査時間や検査時間と検査性能の関係を把握しておくことが重要である。よって、評価手法では、実構造物での検査時間の実態や検査面積等を踏まえて検査時間を制限した非破壊検査を実施することで、検査技術の検査時間が検査性能に及ぼす影響を確認する必要がある。

2) 予備情報の有無による検査性能

鉄筋や PC 鋼材の配置、内部損傷の種別、供試体の外観調査の予備情報が与えられたことで、検査性能が向上する検査技術が確認されたものの、すべての検査技術において必ずしも予備情報が有効であるとは限らないことが分かった (4.2)。よって、評価手法では、予備情報の有無が検査性能に与える影響や、どのような予備情報が検査性能に影響するのか等について確認する必要がある。

3) 検査性能の再現性

要素供試体における計測限界かぶりや計測限界部材厚さが、模擬損傷供試体では低下する傾向であることが確認された (4.2)。これは、要素供試体に比べて複雑な配筋状態や隣接する他の内部損傷の影響を受けるためと考えられる。よって、評価手法では、比較的形状や配筋状態が単純で、検査性能に影響を及ぼす要因をできる限り排除した供試体に対する検査性能を確認した後に、供試体の形状や内部損傷の条件等を変化させた供試体や実構造物の同様の内部損傷が生じている供試体に対する非破壊検査を実施することで、様々な状況での検査性能について把握しておくことが望ましいと言える。

4) 実構造物における検査性能

実構造物では構造によっては、狭隘な作業空間となる場合も多く、また、表面に表面塗装等の補修・補強がされていることも少なくない。よって、評価手法では、作業スペースに制約を設けた状態や供試体の表面に塗装等が施工された状態で非破壊検査を実施することで、実構造物を想定した状況での検査性能について把握しておくことが望ましいと言える。

(4) 検査機器及び作業性

検査機器の寸法や検査機器の準備・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 (3.1、3.2、4.3)。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 (3.1)。一方で、作業時間と内部損傷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（3.1、3.2）。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。

(5) 検査要領書

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内部損傷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にするような要領とする必要がある。

5.2 非破壊検査技術の性能評価試験法の基本的な考え方

5.1 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、内部損傷や検査条件、予備情報の有無等について、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ものが存在するため、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-5.2.1）がよいと考えた。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のがよい。

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機器の能力・性能についての基礎的要件を事前に明らかにする。5.1 での整理をもとに、事前に明確にすべき項目として表-5.2.1 に示す事前評価項目が考えられる。

Step2 の基本性能試験は、検査対象損傷を限定し、形状・配筋状態、隣接する内部損傷等の影響をできるだけ排除した要素供試体を用いて行う試験である。事前調査で申告された検査性能の再現性の確認と内部損傷の位置や形状の計測精度、内部損傷の計測限界等を確認することで、基本的な性能について把握する。

Step3 の適用性能試験は、実構造物に生じる可能性のある様々な内部損傷を模擬した模擬損傷供試体や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。隣接する内部損傷や、配筋状態、予備情報の有無の影響や、Step1 で確認された基本性能の再現性を確認することで実構造物への適用性能について把握するものである。

Step4 の実橋レベルの性能試験は、内部損傷の模擬方法を複雑にした模擬損傷供試体や部材表面にも変状が生じている複雑な表面性状や表面被覆等の補修・補強等の影響等を含んだ実損傷供試体を用いて行う試験である。作業スペース等の制約条件を設けた状態で非破壊検査技術の検証を行い、実損傷供試体の検査性能との比較などから条件の相違

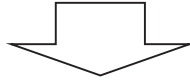
が検査性能に及ぼす影響について把握するものである。

以上は、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機器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「道路橋用非破壊検査技術の性能評価試験法」の形でまとめ直したものを巻末の付属資料 1 に示す。また、本試験法に用いる事前調査表、検査調書、結果報告様式を付属資料 2 に示す。今後、各道路管理者や業界団体においてこれを精査、さらに必要な事項を追加し、独自に活用をはかれ、統一的手法に基づく客観的なデータの蓄積が進むことを期待するものである。

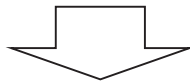
Step1 事前調査

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

模擬する内部損傷の種別を限定し、単純な配筋・形状の要素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。



Step3 適用性能試験

内部損傷を模擬した模擬損傷供試体、実構造物等から作製した実損傷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4通りをこの手順で行う。

- (1) 模擬損傷供試体を使用して検査時間を制限した全体検査
- (2) 模擬損傷供試体を使用して損傷の種類を提示し、検査範囲を限定した検査
- (3) 模擬損傷供試体を使用して損傷の種類を提示し、予備情報を与え、検査範囲を限定した検査
- (4) 実損傷供試体を使用して損傷の種類を提示し、予備情報を与え、検査範囲を限定した検査



Step4 実橋レベルの性能試験

内部損傷を模擬した模擬損傷供試体、実構造物等から作製した実損傷供試体に対して非破壊検査を実施し、様々な制約条件の存在する実構造物への非破壊検査技術の適用性能について確認する。検査は次の3通りをこの手順で行う。

- (1) 模擬損傷供試体を使用して制約条件がない全体検査
- (2) 実損傷供試体を使用して作業スペースに制約を設けた全体検査
- (3) 実損傷供試体を使用して表面塗装等の制約を設けた範囲に、検査範囲を限定した全体検査

図-5.2.1 性能評価フロー（本試験法の適用の範囲）

表-5. 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
	計測面の平坦性
	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
	計測位置の特定方法
	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6章 まとめ

6.1 非破壊検査技術の基礎的調査

非破壊検査技術の基礎的な性能を把握するために、実損傷供試体を用いた実橋レベルでの調査及び模擬損傷供試体を用いた調査を実施した。本調査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内部損傷の種類や程度は異なる。また、検査精度や誤差特性（誤差の範囲や偏り）も検査技術によって異なる。
- ・非破壊検査技術によって原理や仕様、作業条件などで検査性能に大きな差があり、実損傷供試体のみを検証では正確な検査性能の把握が困難である。
- ・表面の不整がない模擬損傷供試体を用いた検査においても、実損傷供試体を用いた検査と比較して内部損傷の正答率や検査精度が低下する検査技術がある。
- ・事前に検査対象の形状寸法や、配筋状態、ケーブル位置、使用材料等の情報を入手することを前提としている検査技術もあり、これらが無い場合検査精度が低下する可能性がある。

6.2 非破壊検査技術の性能評価手法の検討

(1) 非破壊検査技術の基本性能

非破壊検査技術の基本性能を把握するために、比較的供試体形状や配筋状態が単純で、内部損傷の種類を限定した要素供試体に対して、一定の予備情報や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。

- ・要素供試体を用いた検査では、ほとんどの検査技術において自己申告通りに内部損傷が検知できている。
- ・判別可能な内部損傷の詳細の項目は検査技術によって異なる。
- ・内部損傷の検査精度は、位置および形状ともに座標（方向）によって計測誤差範囲は異なる。
- ・内部損傷の種類によらず、検査技術によって内部損傷を検知可能な計測限界純かぶりや部材厚さの最小値と最大値は異なる。

(2) 非破壊検査技術の適用性能

非破壊検査技術の適用性能を把握するために、検査時間の制限の影響や、予備情報を与えた状態での検査を行うことで、要素供試体における検査性能の再現性を検証した。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。

- ・検査時間を制限した検証ではその影響を十分に確認できていないため、適切な検査時間を設定して検証する必要がある。

- ・予備情報の有無によって、検査性能が向上する検査技術があるが、検査技術によっては必ずしも有効とは限らない。
- ・要素供試体よりも模擬損傷供試体の方が、内部損傷を検知可能な計測限界かぶりや計測限界部材厚さの範囲は小さくなる傾向であり、要素供試体での検査性能を発揮できない検査技術が多い。

(3) 非破壊検査技術の実橋レベルの検査性能

非破壊検査技術の実橋レベルの検査性能を把握するために、作業スペースや表面塗装等の制約が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。

- ・作業スペースに制約を設けた場合、検査性能に影響を及ぼす場合があるため、適用現場を想定した制約を設けた検査によってその影響を把握することが望ましい。
- ・供試体表面に表面保護塗装がされている場合、検査性能が低下する傾向ではあるが、その差はわずかである。しかし、様々な補修・補強工法が存在するため、適用現場を想定した供試体によってその影響を把握することが望ましい。

6.3 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、主としてプレストレストコンクリート構造に対する非破壊検査技術の性能評価試験に含むべき内容を提案した。提案の内容は以下の通りである。

- ・検査対象損傷を限定し、形状・配筋状態、隣接する内部損傷等の影響をできるだけ排除した要素供試体を用いて非破壊検査技術の検証を行い、非破壊検査技術の基本性能を把握する。
- ・様々なコンクリートの内部損傷を模擬した模擬損傷供試体や実際に内部損傷が生じている実損傷供試体を用いて非破壊検査技術の検証を行い、検査条件や隣接損傷の存在、検査時間、予備情報の有無が検査性能に及ぼす影響を把握する。
- ・内部損傷の模擬方法を複雑にした模擬損傷供試体や部材表面にも変状が生じている複雑な表面性状や表面被覆等の補修・補強等の影響等を含んだ実損傷供試体を用いて、作業スペース等の制約条件を設けた状態で非破壊検査技術の検証を行い、実損傷供試体の検査性能との比較などから条件の相違が検査性能に及ぼす影響を把握する。

本研究では、模擬する内部損傷及び検査対象とする内部損傷の種別について、一般的にプレストレストコンクリートに生じる可能性のある内部損傷を設定した。そのため、コンクリート構造物に生じるすべての内部損傷をカバーできているかは不明であり、内部損傷の模擬方法についても実際の内部損傷を再現できていない可能性がある。また、

様々な検査機器について、供試体による試験結果と実務において得たデータの比較を行うことで、試験法としての質の向上や検査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 1

提案する道路橋調査用非破壊検査技術の性能評価試験法

付属資料の位置づけ

本付属資料は、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機器の選定や調査結果の解釈を行うことを想定し、試験法を試行的に提案するものである。

目 次

1 章	総則.....	付-5
1.1	適用の範囲.....	付-5
2 章	性能評価試験フロー.....	付-5
3 章	供試体.....	付-7
3.1	要素供試体.....	付-7
3.2	部材供試体.....	付-8
3.3	実損傷供試体.....	付-9
4 章	事前調査項目.....	付-10
4.1	計測原理.....	付-10
4.2	計測条件.....	付-11
4.3	予備情報.....	付-12
4.4	キャリブレーション.....	付-12
4.5	計測方法.....	付-13
4.6	計測値の出力.....	付-13
4.7	検査結果の報告に要する時間等.....	付-14
4.8	実施体制.....	付-14
5 章	検査方法.....	付-15
5.1	基本性能試験や適用性能試験、実橋レベルの性能試験における手順.....	付-15
5.2	結果の整理.....	付-17
6 章	性能試験.....	付-18
6.1	基本性能試験.....	付-18
6.2	適用性能試験.....	付-18
6.3	実橋レベルでの性能試験.....	付-19
7 章	報告.....	付-19
8 章	性能評価.....	付-20

1章 総則

1.1 適用の範囲

本試験法（案）は、コンクリートの内部損傷を対象とした非破壊検査技術について現地調査ごとの適用性の検討や得られた結果を利用するにあたって、検査結果の信頼性や適用限界、検知精度の事前情報を得ることを目的とした試験法について規定したものである。

2章 性能評価試験フロー

コンクリート内部損傷の非破壊検査技術の性能評価試験は図 2-1 に示す試験フローに従って行う。

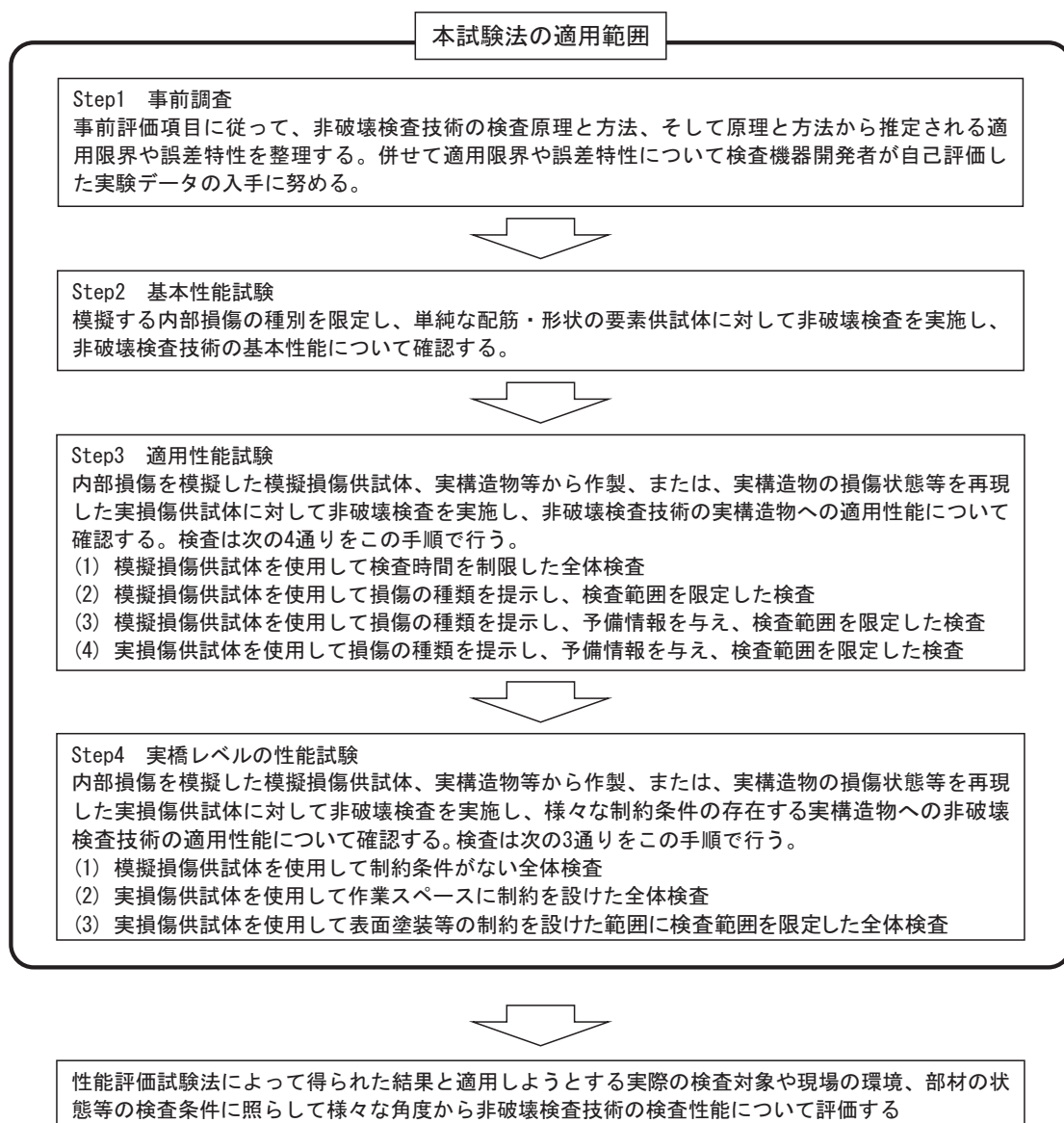


図 2-1 性能評価試験フロー

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～Step4 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考えてよい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、検査対象損傷を限定し、形状・配筋状態、隣接する内部損傷等の影響をできるだけ排除した要素供試体を用いて行う試験である。事前調査で申告された検査性能の再現性の確認と内部損傷の位置や形状の計測精度、内部損傷の計測限界等を確認することで、基本的な性能について把握するものである。

適用性能試験は、実構造物に生じる可能性のある様々な内部損傷を模擬した模擬損傷供試体や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。隣接する内部損傷や、配筋状態、予備情報の有無の影響や、Step2 で確認された基本性能の再現性を確認することで実構造物への適用性能について把握するものである。

実橋レベルの性能試験は、内部損傷の模擬方法を複雑にした模擬損傷供試体や部材表面にも変状が生じている複雑な表面性状や表面被覆等の補修・補強等の影響等を含んだ実損傷供試体を用いて行う試験である。作業スペース等の制約条件を設けた状態で非破壊検査技術の検証を行い、実損傷供試体の検査性能との比較などから条件の相違が検査性能に及ぼす影響について把握するものである。

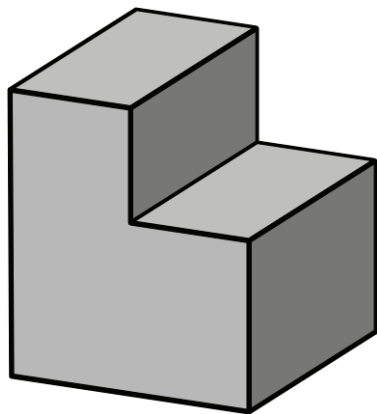
非破壊検査技術の性能評価は事前調査、基本性能試験、適用性能試験、実橋レベルの性能試験の各段階、または、すべての試験を実施した段階で、非破壊検査技術の自己評価結果や試験結果に基づき、実際の検査対象と想定される内部損傷や現場環境、部材状態などの検査条件に照らして様々な角度から総合的に評価を行うものであり、定期点検等における非破壊検査技術の利用者が個別に行うものである。

3章 供試体

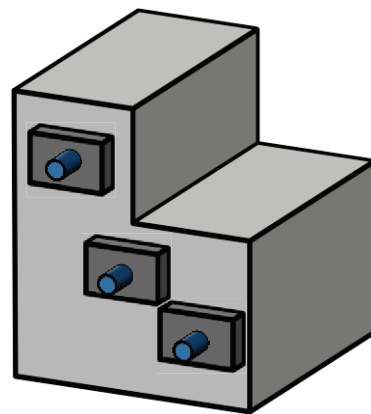
3.1 要素供試体

コンクリートの内部損傷について 1 種類のみ配置された供試体で、基本性能試験に使用する。

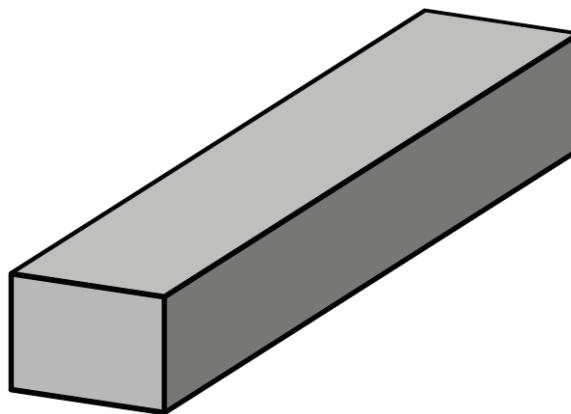
要素供試体の一例を図 3-1 に示す。



(a) うき、空洞、鉄筋腐食・破断



(b) グラウト充填不良、PC 鋼材健全性



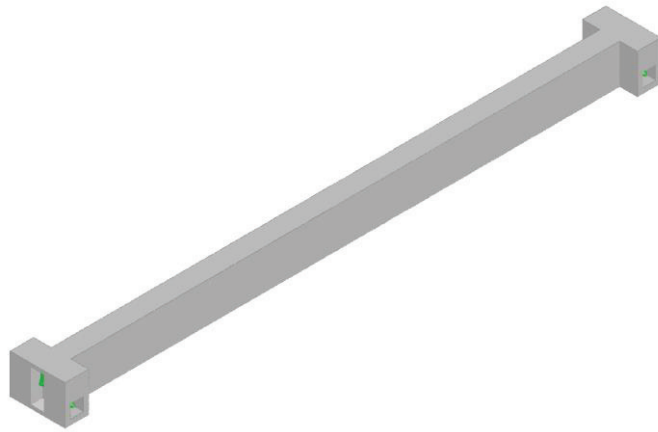
(c) ひびわれ

図 3-1 要素供試体の例図

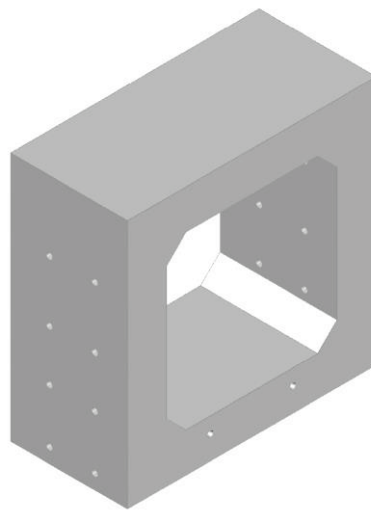
供試体に模擬する内部損傷の種別を 1 種類とし、配筋構造を単純にして他の損傷の影響を受けにくくした供試体であり、非破壊検査技術の損傷検出限界、損傷の位置や形状の計測精度についての基本的な性能の把握することを想定した検査を行うものである。

3.2 部材供試体

コンクリートの生じる様々な内部損傷を模擬した供試体で、適用性能試験に使用する。部材供試体の一例を図 3-2 に示す。



(a) PC 桁タイプ



(b) ボックスタイプ

図 3-2 模擬損傷供試体の例図

実際に構造物に発生する可能性のある様々な内部損傷を複数模擬し、実構造物と同様の配筋をした供試体であり、様々な検査条件が検査精度に及ぼす影響を把握することを想定した検査を行うものである。

3.3 実損傷供試体

部材表面にも変状が生じている複雑な表面性状や表面被覆等の補修・補強等の影響等を含んだ供試体で、適用性能試験や実橋レベルでの性能試験に使用する。

実損傷供試体の一例を図 3-3 に示す。



図 3-3 実損傷供試体の例図

コンクリートの劣化や様々な内部損傷が生じている撤去部材について、外観から内部損傷を推定できないように加工を施した供試体であり、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。

4章 事前調査項目

4.1 計測原理

検査機器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) 検知できると考えられる内部損傷の種別とその検出原理
- 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) 計測や結果の解釈に要する事項や検査の適用限界
- 6) 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内部損傷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内部損傷の種別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情報処理原理（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) 6) 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。

4.2 計測条件

検査機器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) 計測面の平坦性
- 6) 測定面の数（送受信機の有無）
- 7) 計測位置特定のためのけがきの必要性
- 8) 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) 現場で検査を行う場合は、検査対象付近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機器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。検査機器の設置空間も含め、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) コンクリートの表面に送受信機を設置して検査を行う場合は、表面の平坦性が検査結果に影響を与える場合もある。ここでは、計測対象の平坦性が示されている必要がある。
- 6) 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。
- 7) 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、計測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。

- 8) 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。

4.3 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（図面、外観調査結果）
- 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、構造物の図面や外観調査結果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、予備情報として構造物の図面を必要とする場合、外観調査結果を必要とする場合、または、その両者を必要とする場合が想定される。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構造物の図面が残っているとは限らず、事前の外観調査結果がない場合もある。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。

4.4 キャリブレーション

検査機器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
- 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、既設の健全な部分を計測したり、独自の基準を使用して行ったりなど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。

- 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、計測毎等）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を明確にする必要がある。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。

4.5 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、検査機器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、検査機器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) 1 箇所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、検査機器の設置、1 箇所あたりの計測、検査機器の移動、検査機器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。

4.6 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) 検査機器によって、計測結果を数値として表示するもの、グラフや波形等に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ボルト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。

4.7 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。

4.8 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。

5章 基本性能試験や適用性能試験、実橋レベルの性能試験における検査方法

5.1 手順

各供試体に対する非破壊検査は、図 5-1 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

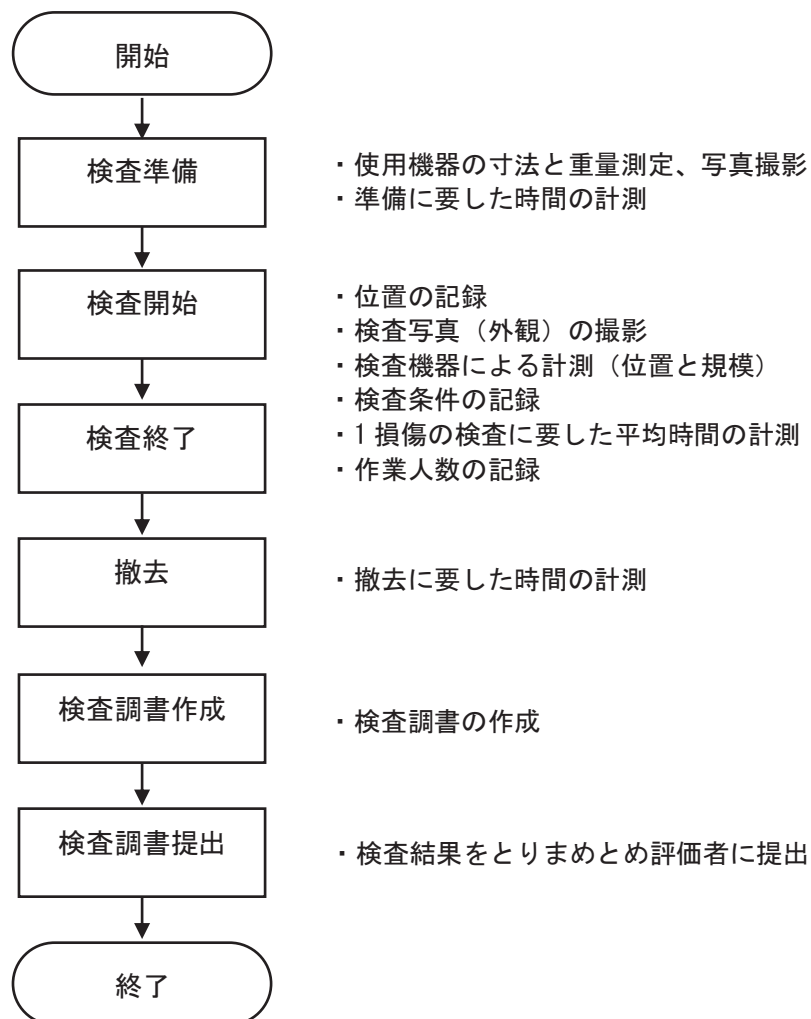


図 5-1 検査手順

- 1) 検査準備では、事前調査報告による検査機器との同一性を確認するため、検査機器の寸法と重量を測定し、その状況を写真撮影しなければならない。次に、最初の測定位置において検査機器の設置作業を行い、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、検査機器による計測（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、1箇所あたり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、検査機器の撤去を行い、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。

5.2 結果の整理

コンクリートの内部損傷の非破壊検査は、次に示す項目の計測及び検査条件等の整理を行わなければならない。

表 5-1 確認項目

確認項目	内容
1) コンクリート内部の空洞	①空洞の位置 (X、Y、Z) ②空洞の形状寸法 (x、y、z)
2) コンクリート内部のうき	①うきの位置 (X、Y、Z) ②うきの形状寸法 (x、y、z)
3) コンクリート内部のひび割れ	1. 測定面Cから測定 ①ひび割れの検査位置 (X、Y、Z) ②ひび割れの長さ (L) 2. 測定面A及びBから測定 ③ひび割れの深さ
4) グラウト充填状態及びPC鋼材の健全性	①グラウト未充填の位置 (X、Y、Z) ②グラウト未充填の形状寸法 (x、y、z) ③グラウト充填率 ④PC鋼材損傷 (腐食、破断) の位置 (X、Y、Z) ⑤PC鋼材損傷 (腐食、破断) の形状寸法 (x、y、z) ⑥PC鋼材の錆の有無 ⑦PC鋼材の径 ⑧PC鋼材の断面欠損率 (破断を含む)
5) 鉄筋の健全性	①鉄筋損傷 (腐食、破断) の位置 (X、Y、Z) ②鉄筋損傷 (腐食、破断) の形状寸法 (x、y、z) ③鉄筋の錆の有無 ④鉄筋の径 ⑤鉄筋の断面欠損率 (破断を含む)
6) 損傷判定方法	①代表的な検査箇所において、損傷判定方法について次の3項目から選択 1) 数値による判定 (健全と損傷の境界値) 2) 診断による判定 (診断の目安とする事象) 3) その他の方法による判定 ②判定の根拠となるデータを示し、判定手順の詳細を記載
7) 検査条件	①検査の条件を詳細に記載 (様式自由) ②測点ごとに検査条件が異なる場合は、測点ごとに条件を記載 ③検査調書に示す展開図で測定不可能な箇所がある場合、その理由 ④計測結果のとりまとめに要した時間
8) 検査精度の評価	①検査の推定精度 (誤差) についての自社評価と根拠について記載

コンクリート内部損傷の検査は、各試験段階における所定の方法 (検査範囲や検査条件) によって行い、検査結果が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、それを明記される必要がある。

PC 鋼材および鉄筋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、コンクリート内部に生じている損傷の内

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、内部損傷と検知されたものの、その損傷の種別が 5.2 の検査項目に該当しないと考えられる場合は、その内部損傷の種別や状態が具体的にかつ詳細に示されている必要がある。

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、測定毎に検査条件を示される必要がある。

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、検査機器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。

事前調査報告による検査機器との同一性を証明するため、使用検査機器の写真を撮影し、その諸元を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。

6章 性能試験

6.1 基本性能試験

基本性能試験では、次に示す検査を実施しなければならない。

(1) 要素供試体を使用したコンクリート内部損傷の種別を 1 つに限定した検査

(1) 非破壊検査技術が検知対象とするコンクリートの内部損傷が模擬された要素供試体について検査が行われる必要がある。

6.2 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) 模擬損傷供試体を使用して検査時間を制限した全体検査

(2) 模擬損傷供試体を使用して損傷の種類を提示し、検査範囲を限定した検査

(3) 模擬損傷供試体を使用して損傷の種類を提示し、予備情報を与え、検査範囲を限定した検査

(4) 実損傷供試体を使用して損傷の種類を提示し、予備情報を与え、検査範囲を限定した検査

(1) 模擬損傷供試体に対して、指定された検査時間で検査が行われる必要がある。

(2) 模擬損傷供試体に対して、内部損傷の種別が提示された検査範囲のうち、非破壊検査技術が検知対象とする内部損傷が模擬された検査範囲に対して検査が行われる必要がある。

(3) 模擬損傷供試体に対して、内部損傷の種別が提示され、予備情報が与えられる検査範囲と予備情報が与えられない検査範囲のうち、非破壊検査技術が検知対象とする内部損傷が模擬された検査範囲に対して検査が行われる必要がある。

(4) 実損傷供試体に対して、内部損傷の種別が提示され、予備情報が与えられる検査範囲と予備情報が与えられない検査範囲のうち、非破壊検査技術が検知対象とする内部損傷

が模擬された検査範囲に対して検査が行われる必要がある。

6.3 実橋レベルでの性能試験

実橋レベルでの性能試験は、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) 模擬損傷供試体を使用して制約条件がない全体検査
- (2) 実損傷供試体を使用して作業スペースに制約を設けた全体検査
- (3) 実損傷供試体を使用して表面塗装等の制約を設けた範囲に、検査範囲を限定した検査全体検査

- (1) 模擬損傷供試体に対して、制約がない条件で全体検査が行われる必要がある。
- (2) 実損傷供試体に対して、供試体間隔を狭くすることで作業スペースに制約を設けた全体検査が行われる必要がある。作業スペースは、非破壊検査技術の適用が想定される現場の条件等を考慮して設定される必要がある。
- (3) 実損傷供試体に対して、表面塗装やその他の補修・補強等が施工された範囲に対して検査が行われる必要がある。表面塗装等の制約条件は、非破壊検査技術の適用が想定される現場の条件等を考慮して設定される必要がある。

7章 報告

検査結果を検査調書に取りまとめて、次の事項を報告されなければならない。

- 1) 検査結果
 - ・コンクリート内部の空洞
 - ・コンクリート内部のうき
 - ・コンクリート内部のひび割れ
 - ・グラウト充填状態及びP C鋼材の健全性
 - ・鉄筋の健全性
- 2) 検査条件
- 3) 検査精度の評価
- 4) 仕様機器及び作業性
 - ・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。

8章 性能評価

- (1) 事前調査、基本性能試験、適用性能試験、実橋レベルでの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コンクリートの内部損傷や現場環境、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、空振り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、4.1の5)及び6)の既往の知見との関係を明らかにする。
- (3) 正答率、空振り率、見逃し率の定義は以下の通りとしてよい。
 - 1) 正答率：内部損傷一致数/内部損傷数
 - 2) 空振り率：内部損傷空振り数/内部損傷推定数
 - 3) 見逃し率：内部損傷見逃し数/内部損傷数

- (3) 1) 内部損傷一致数とは、非破壊検査によって推定された内部損傷と供試体に生じている内部損傷が一致した数とする。
- 2) 内部損傷空振り数とは、内部損傷が生じていない箇所について、誤って内部損傷ありと推定された数とする。
- 3) 内部損傷見逃し数とは、内部損傷が生じている箇所について非破壊検査によって損傷なしと判定した数とする。

付属資料 2

非破壊検査技術の性能評価試験法で用いる様式（案）

- (1) 事前調査票
- (2) 検査調書
- (3) 結果報告様式

非破壊検査 事前調査票

検査実施者

検査手法

提出日

年 月 日

提出期限

年 月 日

所属

氏名

事前調査票(その1) 計測原理		検査手法
(1) 対象とする損傷とその検出原理 ・対象とする損傷 ・検出原理 ・判定の程度(定性的or定量的)		

事前調査票(その1) 計測原理		検査手法	
計測原理			
(1)入力値			
・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)			
・入力値の大きさ			
・入力箇所			
(2)計測する応答			
・応答の種類(音、波形、伝搬速度等)			
・応答を受信する方法			

事前調査票(その1) 計測原理		検査手法
計測原理		
(3)計測応答の情報処理原理		
・取得できるデータ		
・データの变换・解析方法		
・処理結果からどのように不具合を判定するか		
(4)計測精度について公表されているデータの内容		
・計測誤差		
・判定の程度(定性的or定量的)		

事前調査票(その1) 計測原理		検査手法
(5)計測精度 ・計測誤差 ・検出率(空振、見逃しの可能性) ※空振とは、不具合と判定した場合に実際の事象と判定の内容が異なっていること 計測原理		

事前調査票(その2) 計測条件			検査手法
(1)計測機器寸法 ・計測機器本体及び付属品の寸法			
計測条件 ・電源(発電機)の有無 (2)環境条件の制約 ・天候、気温、湿度の影響 ・コンクリート表面の温度、湿度の影響 ・その他			

事前調査票(その2) 計測条件		検査手法
(3)計測姿勢 計測面(下面、上面、側面)ごとの姿勢		
(4)計測に必要な空間		
(5)計測面の平坦性		
計測条件		

事前調査票(その2) 計測条件		検査手法
計測条件	(7)測定面の数	
	・入力面と受信面の関係(同一面、対面等)	
	・内部損傷1箇所の場合の計測に必要な測定面の数	
	(8)計測位置特定のためのけがきの必要性	
	・必要性の有無	
	・けがきの方法	
	・けがきできない場合の影響	

事前調査票(その2) 計測条件			検査手法
(9)計測にあたっての許認可事項			
・許認可事項の有無			
・申請先、申請許可までの期間			
・計測日拘束の有無			
計測条件			

事前調査票(その3) 予備情報			検査手法
(1) 予備情報の必要性の有無			
(2) 必要な予備情報の種類			
(3) 予備情報の影響			
・予備情報が検査性能に与える影響の有無			
・具体的な影響			

予 備 情 報

事前調査票(その4) キャリブレーション		検査手法
(1)キャリブレーションの方法 ・キャリブレーションの方法 ・キャリブレーションの実施場所 (2)キャリブレーションの基準としている対象物 ・現地の構造物で行う場合はその詳細 ・独自の基準を用いる場合はその詳細		
キャリブレーション		

事前調査票(その4) キャリブレーション		検査手法
(3)キャリブレーションの所要時間 ・キャリブレーションの頻度(最初のみ、計測毎等) ・キャリブレーションの所要時間 (4)計測値の感度調整方法 ・環境条件やコンクリートの状態によって送受信機の感度調整を必要とする場合		
キャリブレーション		

事前調査票(その5) 計測手順		検査手法
(1)計測作業項目 計測手順 (2)計測手順 ・検査機器の設置から撤去までの詳細		

事前調査票(その5) 計測手順			検査手法
(3)作業時間 ・検査機器の設置 ・1箇所あたりの計測(計測向きごとに示す) ・検査機器の移動 ・検査機器の撤去			
計測条件			

事前調査票(その6) 結果の出力		検査手法
(1)現地での計測結果の出力方法 ・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、変換データ等) (2)現地での検査結果(検出した不具合等)の表示の可否		
結果の出力		

事前調査票(その6) 計測結果			検査手法
(3)計測当日に提出可能な計測結果及び検査結果 ・計測結果(計測生データ、処理データ) ・検査結果(検出した不具合等) ・提出形態(データ、メモ、報告書、写真等)			
結果の出力			

事前調査票(その7) 検査結果の報告		検査手法
(1)検査結果の作成期間 ・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) (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		
検査結果の報告		

事前調査票(その8) 実施体制		検査手法
(1) 人員体制 ・標準的な人数及び役割(測定者、記録者、補助員、その他等) ・必要な最低限の人員体制(狭隘空間を想定)		
実施体制		

非破壊検査 検査結果記入シート

基本性能試験

検査実施者

検査手法

検査年月日

年 月 日 ~

年 月 日

提出日

年 月 日

提出期限

年 月 日

所属

氏名

注意事項

※1 検査調書(その1)の展開図に示す指定面について計測を実施して下さい。計測手法及び計測機器の性能から計測ができない損傷については計測不可でも構いません。

※2 供試体は他の共同研究者も使用するため、供試体には測定箇所や結果が判別できる跡(マーキング等)を残さないでください。マーキング等がどうしても必要な場合は、シールやテープ等を介して行い、作業終了後は全て剥がして作業を終えて下さい。

※3 検査調書(その1)から(その4)は、必要に応じてシートを追加してください。

※4 検査位置は各測定面の左下の原点からの座標系(X、Y、Z)で表記してください。(この場合、検査面がX軸・Y軸面、深さ方向がZ軸となります。)検査結果は検査調書の展開図に①損傷種別、②検査位置(X、Y、Z)、③損傷形状(Δx 、 Δy 、 Δz)を旗揚げして記入し、可能であればCAD図にも記入して提出してください。

※5 測定できない項目は「測定不可」と記入し、対象ではない項目には「対象外」と記入してください。

※6 使用した検査手法のマニュアル等、参考となる資料があれば別途添付してください。

※7 本検査は使用した検査手法の精度等を確認するために実施するものです。そのため、使用した検査手法に関係ない手法(目視等)で計測した損傷は記録しないでください。

※詳細位置は検査調書の展開図を参照

検査調査書(その1-1) 検査位置図		供試体番号	検査年月日	年 月 日
実施者	検査手法			

(背面)

(平面)

(左側面)

(右側面)

(下面)

(正面)

立体図

凡 例

ひ	橋軸方向	〰
ひ	直角方向	〰
わ	2 方向	井
れ	剥 離	〰
	鉄筋露出	〰
	遊離石灰	〰
	豆板・空洞	〰
	漏水・滞水	〰
	欠 損	〰
	腐 食	〰

※ 図中の検査面①②④⑤⑧⑩を検査対象とし、検査調査書を作成する。

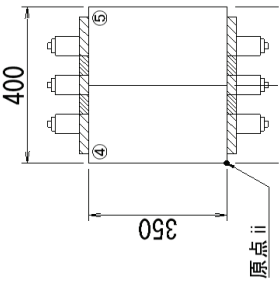
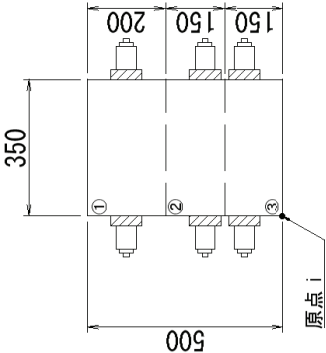
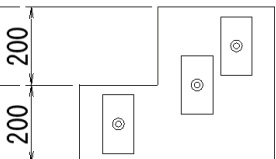
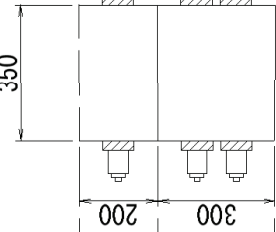
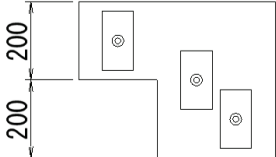
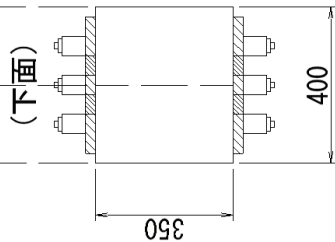
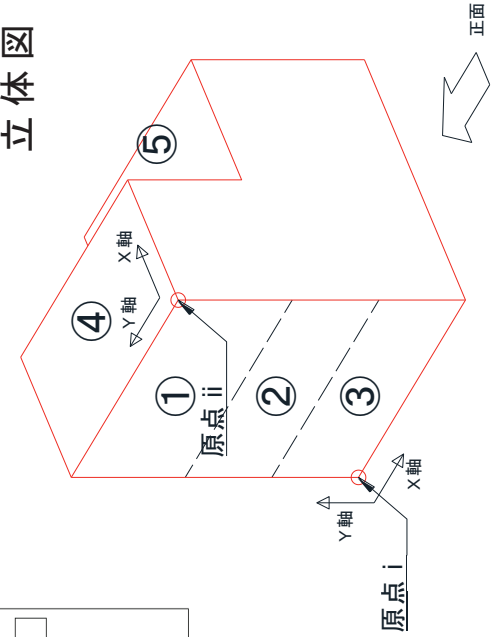
検査調査書(その1-2) 検査位置図		供試体番号	検査年月日	年	月	日																														
実施者	検査手法																																			
検査位置図 (背面) 原点 ii (左側面) 原点 i (平面) 原点 iii (右側面) (下面) 立体図 正面 原点 i 原点 ii 原点 iii 凡 例 <table border="1"><tr><td>ひび</td><td>橋軸方向</td><td>～</td></tr><tr><td>われ</td><td>直角方向</td><td>⋈</td></tr><tr><td></td><td>2 方向</td><td>井</td></tr><tr><td></td><td>剥 離</td><td>○</td></tr><tr><td></td><td>鉄筋露出</td><td>⦶</td></tr><tr><td></td><td>遊離石灰</td><td>⦶</td></tr><tr><td></td><td>豆板・空洞</td><td>⦶</td></tr><tr><td></td><td>漏水・滞水</td><td>⦶</td></tr><tr><td></td><td>欠 損</td><td>⦶</td></tr><tr><td></td><td>腐 食</td><td>⦶</td></tr></table> ※ 図中の検査面①②④⑤⑧⑩を検査対象とし、検査調査を作成する。							ひび	橋軸方向	～	われ	直角方向	⋈		2 方向	井		剥 離	○		鉄筋露出	⦶		遊離石灰	⦶		豆板・空洞	⦶		漏水・滞水	⦶		欠 損	⦶		腐 食	⦶
ひび	橋軸方向	～																																		
われ	直角方向	⋈																																		
	2 方向	井																																		
	剥 離	○																																		
	鉄筋露出	⦶																																		
	遊離石灰	⦶																																		
	豆板・空洞	⦶																																		
	漏水・滞水	⦶																																		
	欠 損	⦶																																		
	腐 食	⦶																																		

検査調査書(その1-3) 検査位置図		供試体番号	検査年月日	年	月	日																														
実施者	検査手法																																			
検査位置図 (背面) 2@175=350 2@200=400 (左側面) 2@175=350 200 300 500 ① ② ③ ④ 原点 i (平面) 200 200 200 300 500 ⑨ ⑩ ⑪ (右側面) 350 500 (下面) 200 200 200 300 立体図 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ 原点 iii Y 軸 X 軸 原点 i Y 軸 X 軸 原点 ii Y 軸 X 軸 正面 凡 例 <table><tr><td>ひ</td><td>橋軸方向</td><td>〰</td></tr><tr><td>び</td><td>直角方向</td><td>〰</td></tr><tr><td>れ</td><td>2 方向</td><td>井</td></tr><tr><td></td><td>剥 離</td><td>〰</td></tr><tr><td></td><td>鉄筋露出</td><td>〰</td></tr><tr><td></td><td>遊離石灰</td><td>〰</td></tr><tr><td></td><td>豆板・空洞</td><td>〰</td></tr><tr><td></td><td>漏水・滲水</td><td>〰</td></tr><tr><td></td><td>欠 損</td><td>〰</td></tr><tr><td></td><td>腐 食</td><td>〰</td></tr></table> ※ 図中の検査面①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪を検査対象とし、検査調査書を作成する。							ひ	橋軸方向	〰	び	直角方向	〰	れ	2 方向	井		剥 離	〰		鉄筋露出	〰		遊離石灰	〰		豆板・空洞	〰		漏水・滲水	〰		欠 損	〰		腐 食	〰
ひ	橋軸方向	〰																																		
び	直角方向	〰																																		
れ	2 方向	井																																		
	剥 離	〰																																		
	鉄筋露出	〰																																		
	遊離石灰	〰																																		
	豆板・空洞	〰																																		
	漏水・滲水	〰																																		
	欠 損	〰																																		
	腐 食	〰																																		

検査調査書(その1-4) 検査位置図				供試体番号	検査年月日	年	月	日
実施者		検査手法						
検査位置図 (背面) (左側面) 測定位置 測定位置 測定位置 原点 ii (平面) (右側面) 測定位置 測定位置 測定位置 検査面 A 原点 i (下面) 200 250 200 150 800 検査面 B 検査面 C 200 250 200 150 200 250 立体図 原点 iii 原点 ii 原点 i A面 B面 C面 X軸 Y軸 Z軸 正面 橋軸方向 直角方向 2方向 剥離 鉄筋露出 遊離石灰 豆板・空洞 漏水・滯水 欠損 腐食 ひびわれ ～ ～ ～								

※ 図中の検査面A, B, Cを検査対象とし、検査調査書を作成する。

※ 測定位置は図中点線部を参考とする。

検査調査書(その1-5) 検査位置図		供試体番号	検査年月日	年	月	日																														
実施者	検査手法																																			
検査位置図 (平面)  (左側面)  (正面)  (右側面)  (背面)  (下面)  立体図  凡 例 <table border="1"><tr><td>ひ</td><td>橋軸方向</td><td>～</td></tr><tr><td>び</td><td>直角方向</td><td>∩</td></tr><tr><td>わ</td><td>2方向</td><td>井</td></tr><tr><td>れ</td><td>剥離</td><td>○</td></tr><tr><td></td><td>鉄筋露出</td><td>●</td></tr><tr><td></td><td>遊離石灰</td><td>○</td></tr><tr><td></td><td>豆板・空洞</td><td>⋯</td></tr><tr><td></td><td>漏水・滲水</td><td>■</td></tr><tr><td></td><td>欠損</td><td>■</td></tr><tr><td></td><td>腐食</td><td>■</td></tr></table> ※ 図中の検査面①②③④⑤を検査対象とし、検査調査書を作成する。							ひ	橋軸方向	～	び	直角方向	∩	わ	2方向	井	れ	剥離	○		鉄筋露出	●		遊離石灰	○		豆板・空洞	⋯		漏水・滲水	■		欠損	■		腐食	■
ひ	橋軸方向	～																																		
び	直角方向	∩																																		
わ	2方向	井																																		
れ	剥離	○																																		
	鉄筋露出	●																																		
	遊離石灰	○																																		
	豆板・空洞	⋯																																		
	漏水・滲水	■																																		
	欠損	■																																		
	腐食	■																																		

検査調査書(その1-6) 検査位置図		供試体番号	検査年月日	年	月	日																														
実施者	検査手法																																			
検査位置図 (平面) 400 350 500 200 150 150 350 200 200 400 原点 i 原点 ii 1 2 3 4 5 (左側面) 350 200 150 150 350 200 原点 i 原点 ii 1 2 3 (正面) 400 350 200 150 150 350 200 原点 i 原点 ii 1 2 3 4 5 (右側面) 350 200 150 150 350 200 原点 i 原点 ii 1 2 3 4 5 (背面) 400 350 200 150 150 350 200 原点 i 原点 ii 1 2 3 4 5 立体図 500 400 200 150 150 350 200 原点 i 原点 ii 1 2 3 4 5 正面 凡例 <table><tr><td>ひび</td><td>橋軸方向</td><td>～</td></tr><tr><td>われ</td><td>直角方向</td><td>∩</td></tr><tr><td>れ</td><td>2方向</td><td>井</td></tr><tr><td>剥</td><td>離</td><td>○</td></tr><tr><td>鉄筋露出</td><td></td><td>●</td></tr><tr><td>遊離石灰</td><td></td><td>○</td></tr><tr><td>豆板・空洞</td><td></td><td>○</td></tr><tr><td>漏水・滯水</td><td></td><td>○</td></tr><tr><td>欠損</td><td></td><td>○</td></tr><tr><td>腐食</td><td></td><td>○</td></tr></table> ※ 図中の検査面①②③④⑤を検査対象とし、検査調査を作成する。 付-47							ひび	橋軸方向	～	われ	直角方向	∩	れ	2方向	井	剥	離	○	鉄筋露出		●	遊離石灰		○	豆板・空洞		○	漏水・滯水		○	欠損		○	腐食		○
ひび	橋軸方向	～																																		
われ	直角方向	∩																																		
れ	2方向	井																																		
剥	離	○																																		
鉄筋露出		●																																		
遊離石灰		○																																		
豆板・空洞		○																																		
漏水・滯水		○																																		
欠損		○																																		
腐食		○																																		

検査調査書(その1-7) 検査位置図		供試体番号	検査年月日	年	月	日																											
実施者	検査手法																																
検査位置図 (平面) (左側面) (正面) (右側面) (背面) (下面) 立体図 ※ 図中の検査面①②③④⑤を検査対象とし、検査調査書を作成する。 凡 例 <table><tr><td>ひび</td><td>橋軸方向</td><td>～</td></tr><tr><td>ひび</td><td>直角方向</td><td>⋈</td></tr><tr><td>われ</td><td>2 方向</td><td>井</td></tr><tr><td>剥離</td><td>鉄筋露出</td><td>○</td></tr><tr><td>遊離石灰</td><td>遊離石灰</td><td>○</td></tr><tr><td>豆板・空洞</td><td>豆板・空洞</td><td>○</td></tr><tr><td>漏水・滯水</td><td>漏水・滯水</td><td>○</td></tr><tr><td>欠損</td><td>欠損</td><td>○</td></tr><tr><td>腐食</td><td>腐食</td><td>○</td></tr></table> 付－48							ひび	橋軸方向	～	ひび	直角方向	⋈	われ	2 方向	井	剥離	鉄筋露出	○	遊離石灰	遊離石灰	○	豆板・空洞	豆板・空洞	○	漏水・滯水	漏水・滯水	○	欠損	欠損	○	腐食	腐食	○
ひび	橋軸方向	～																															
ひび	直角方向	⋈																															
われ	2 方向	井																															
剥離	鉄筋露出	○																															
遊離石灰	遊離石灰	○																															
豆板・空洞	豆板・空洞	○																															
漏水・滯水	漏水・滯水	○																															
欠損	欠損	○																															
腐食	腐食	○																															

検査調査書(その1-8) 検査位置図		供試体番号	検査年月日	年	月	日
実施者	検査手法					
検査位置図 (平面) (左側面) (正面) (右側面) (背面) (下面) 立体図 ※ 図中の検査面①②③④⑤を検査対象とし、検査調査書を作成する。						

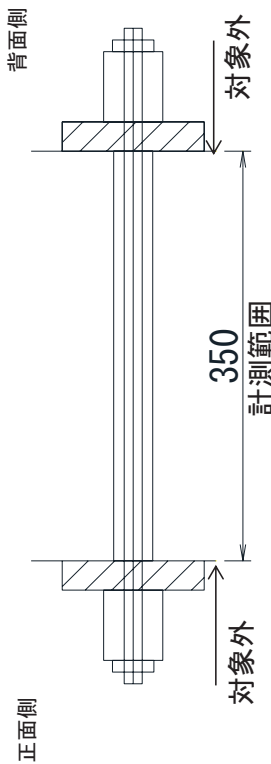
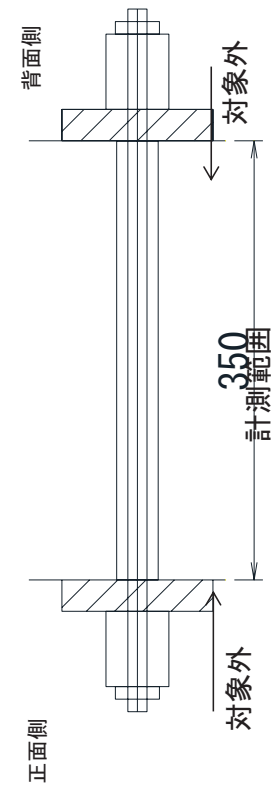
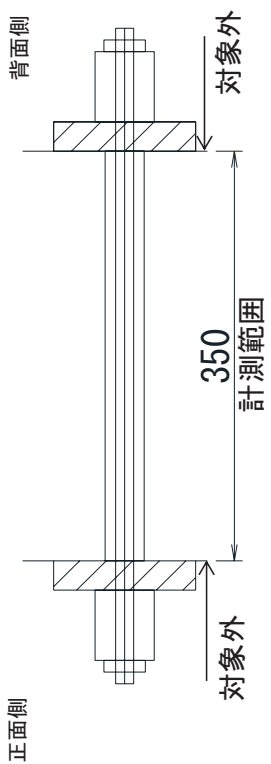
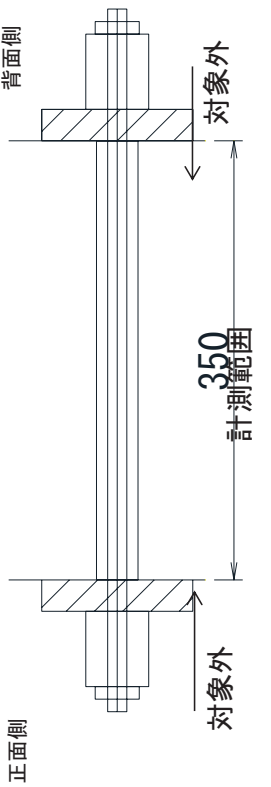
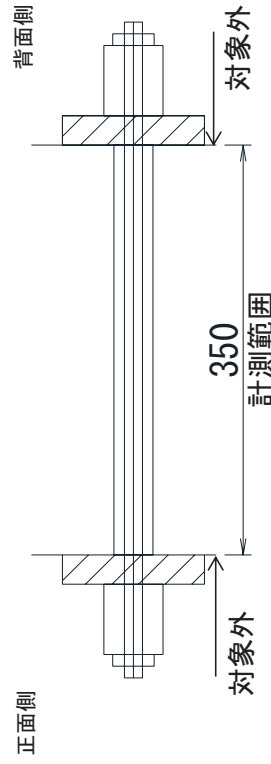
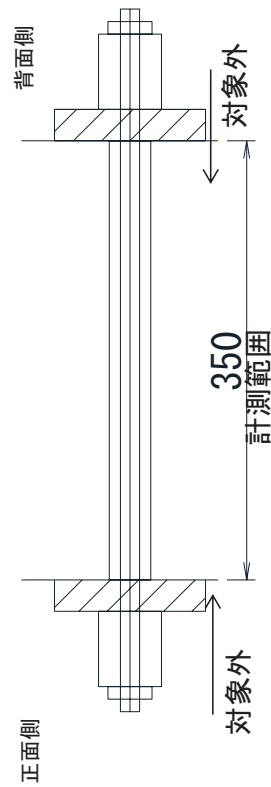
検査調書(その2) 検査写真					年	月	日
実施者				供試体番号	検査年月日		
測点番号		外観		検査手法	検査結果※1		
検査対象		写真番号			写真番号		
メモ							
検査写真							
測点番号		外観			検査結果※1		
検査対象		写真番号			写真番号		
メモ							

※1 検査結果が画像、分布図等別紙になる場合はその旨記載して、添付資料として提出してください。

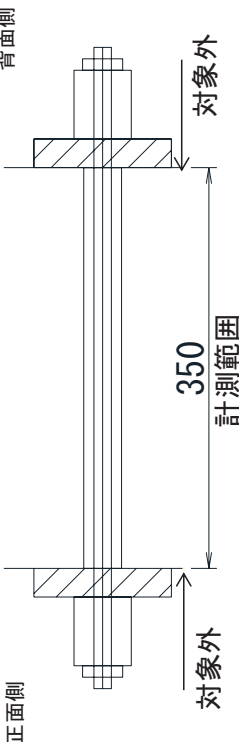
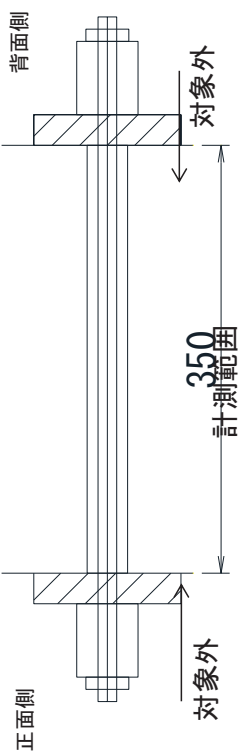
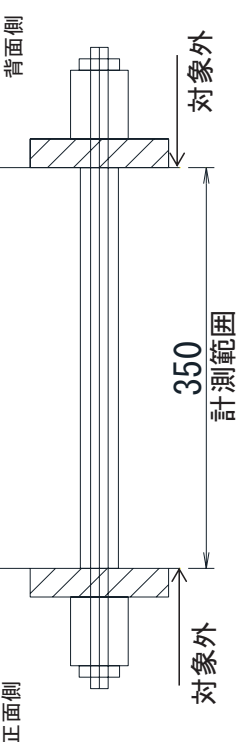
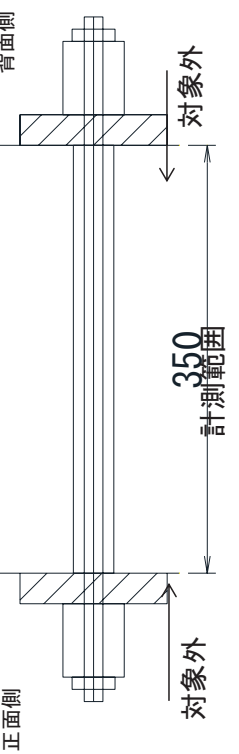
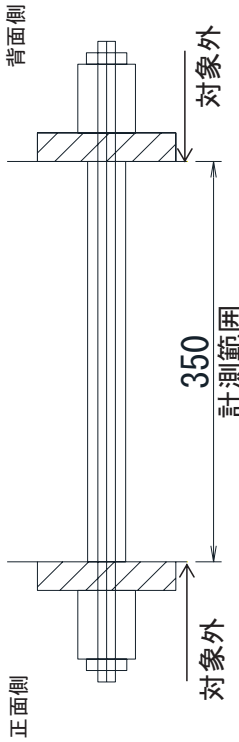
[illegible]

検査調書(その3ー2) 検査結果				1)コンクリート内部の空洞		供試体番号		検査年月日		年 月 日						
実施者		測定可否		検査位置(mm)		検査手法		空洞の形状寸法 (mm)								
検査面 番号	原点 番号	検査 対象	測定 可否	かぶりの定 義	X	Y	Z									
空洞								ΔX				ΔY		ΔZ		摘要 ※1 測点が多い場合は、複数枚作成してください。 ※2 検査位置を判断するため原点は各測定面の左下からの座標(X、Y、Z)で表記してください。 また、かぶりの定義(純かぶり or 芯かぶり)を記入して下さい。 ※3 測定できない項目は「測定不可」と記入し、対象ではない項目には「対象外」と記入してください。 ※4 検査結果のアウトプットが画像、分布図等別紙になる場合はその旨記載して、添付資料として提出してください。
①	原点 i	空洞														
②	原点 i	空洞														
④	原点 i	空洞														
⑤	原点 ii	空洞														
⑧	原点 ii	空洞														
⑩	原点 iii	空洞														

検査調査書(その3-5) 検査結果										供試体番号		検査年月日		年 月 日					
実施者		4)グラウト充填状態及びPC鋼材の健全性										検査手法							
検査面 番号	原点 番号	検査 対象	測定 可否	かぶりの定 義	損傷内容	検査位置(mm)			グラウト充填状態			PC鋼材の健全性				摘要			
						X	Y	Z	形状寸法 (mm)			グラウト 充填率	形状寸法 (mm)				鋼の有 無 (mm)	PC鋼 材の径 (mm)	PC鋼材 の断面欠 損率(%)
									ΔX	ΔY	ΔZ		ΔX	ΔY	ΔZ				
①	i	グラウト充填状態																	※1 測点が多い場合は、複数枚作成してください。 ※2 検査位置を判断するため原点は各測定面の左下からの座標(X、Y、Z)で表記してください。またかぶりは純かぶりで評価しますが、計測機器によって芯かぶりしか測定できない場合は、かぶりの定義を記入して下さい。 ※3 測定できない項目は「測定不可」と記入し、対象ではない項目には「対象外」と記入して下さい。 ※4 検査結果のアウトプットが画像、分佈図等別紙になる場合はその旨記載して、添付資料として提出してください。
②	i	グラウト充填状態																	
③	i	グラウト充填状態																	
④	ii	グラウト充填状態																	
⑤	iii	グラウト充填状態																	
①	i	PC鋼材の健全性																	
②	i	PC鋼材の健全性																	
③	i	PC鋼材の健全性																	
④	ii	PC鋼材の健全性																	
⑤	iii	PC鋼材の健全性																	

検査調査書(その3-6) 検査結果		4)グラウト充填状態及びPC鋼材の健全性		供試体番号	検査年月日	年	月	日
実施者	検査手法							
検査面①		検査面④		※ 左図にグラウト充填状態(未充填範囲、充填率)、PC鋼材の健全性(PC鋼材の径、PC鋼材の断面欠損率、破断、錆の有無)についてその発生箇所及び範囲について記入して下さい。				
								
検査面②		検査面⑤						
								
検査面③		※平面から検査面④と⑤の間のPC鋼材が検査可能な場合記入						
								

P C 鋼 材 詳 細 図

検査調査書(その3-8) 検査結果		4)グラウト充填状態及びPC鋼材の健全性		供試体番号	検査年月日	年	月	日
実施者		検査手法						
検査面①		検査面④		※ 左図にグラウト充填状態(未充填範囲、充填率)、PC鋼材の健全性(PC鋼材の径、PC鋼材の断面欠損率、破断、錆の有無)についてその発生箇所及び範囲について記入して下さい。				
								
検査面②		検査面⑤						
								
検査面③		※平面から検査面④と⑤の間のPC鋼材が検査可能な場合記入						
								

P C 鋼 材 詳 細 図

検査調査書(その3ー9) 検査結果										5)鉄筋の健全性		供試体番号	検査年月日		年	月	日		
実施者												検査手法							
検査面 番号	原点 番号	検査 対象	測定 可否	かぶりの定 義	損傷内容	検査位置(mm)			鉄筋の健全性				鉄筋の有 無 (mm)	鉄筋の腐 食断面欠 損率(%)	摘要				
						X	Y	Z	形状寸法(mm)										
①	原点 i	鉄筋の健全性															※1 測点が多い場合は、複 数枚作成してください。 ※2 検査位置を判断するた め原点は各測定面の左下か らの座標(X、Y、Z)で表記して ください。またかぶりは純か ぶりで評価しますが、計測機 器によって芯かぶりしか測定 できない場合は、かぶりの定 義を記入して下さい。 ※3 測定できない項目は「測 定不可」と記入し、対象では ない項目には「対象外」と記 入してください。 ※4 検査結果のアウトプット が画像、分布図等別紙にな る場合はその旨記載して、添 付資料として提出してくださ い。		
②	原点 i	鉄筋の健全性																	
③	原点 i	鉄筋の健全性																	
④	原点 ii	鉄筋の健全性																	
⑤	原点 ii	鉄筋の健全性																	

検査調査書(その3-10) 検査結果		5)鉄筋の健全性		供試体番号		検査年月日		年 月 日	
実施者		検査手法							
検査面①		検査面④		検査面⑤				概要	
正面側 背面側 計測範囲 300		正面側 背面側 計測範囲 300		正面側 背面側 計測範囲 300				※ 左図に鉄筋の健全性(鉄筋の径、鉄筋の断面欠損率、破断、錆の有無)についてその発生箇所及び範囲について記入して下さい。	
検査面②		検査面③							
正面側 背面側 計測範囲 300		正面側 背面側 計測範囲 300							
鉄筋詳細図									

検査調査書(その3-12) 検査結果		5)鉄筋の健全性		検査手法		供試体番号		検査年月日		年 月 日			
実施者		鉄筋詳細図											
検査面①		正面側 計測範囲 300 背面側				検査面④				正面側 計測範囲 300 背面側		摘要 ※ 左図に鉄筋の健全性(鉄筋の径、鉄筋の断面欠損率、破断、錆の有無)についてその発生箇所及び範囲について記入して下さい。	
検査面②		正面側 計測範囲 300 背面側				検査面⑤				正面側 計測範囲 300 背面側			
検査面③		正面側 計測範囲 300 背面側								正面側 計測範囲 300 背面側			

検査調査書(その4) 損傷判定方法				
実施者		供試体番号		検査年月日
測点番号		検査手法		
■ 損傷判定方法 代表的な検査箇所において、損傷判定方法について次の3項目から選択し、判定手順の詳細を具体的に記載してください。				
☐ 数値による判定	健全と損傷の境界値：	(単位：	)	
☐ 診断による判定	診断の目安とする事象：	※ 色、コンター、波形、スペクトル、画像、圧力など		
☐ その他方法による判定				
判定手順の詳細 判定の根拠となるデータを示し、判定手順の詳細を記述してください。				

検査調書(その5-1) 検査条件		供試体番号	-	検査年月日	年	月	日
実施者		検査手法					
※1 本検査の条件を詳細に記載してください。(様式自由) ※2 測点ごとに検査条件が異なる場合は、測点ごとに条件を記載してください。 ※3 枚数が足りない場合は追加してください。 ※4 検査調書に示す展開図で測定不可能な箇所がある場合は、検査結果を提出される時にその理由についてご記入下さい。 ※5 今回の検査の測定データを対象に検査結果をとりまとめるのに要した時間をご記入下さい。 ※6 枚数が足りない場合は追加してください。							
検査条件							

検査調書(その5-2) 検査精度の評価		供試体番号	-	検査年月日	年	月	日
実施者		検査手法					
※1 本検査の推定精度(誤差)についての自社評価と根拠について記載して下さい。(様式自由) ※2 枚数が足りない場合は追加してください。							
検査条件							

非破壊検査 検査結果記入シート

適用性能試験、実橋レベルの性能試験

検査実施者

検査手法

検査年月日

年 月 日 ~

年 月 日

提出日

年 月 日

提出期限

年 月 日

所属

氏名

注意事項

※1 検査調書(その1)の展開図に示す指定面について計測を実施して下さい。計測手法及び計測機器の性能から計測ができない損傷については計測不可でも構いません。

※2 供試体は他の共同研究者も使用するため、供試体には測定箇所や結果が判別できる跡(マーキング等)を残さないでください。マーキング等がどうしても必要な場合は、シールやテープ等を介して行い、作業終了後は全て剥がして作業を終えて下さい。

※3 検査調書(その1)から(その4)は、必要に応じてシートを追加してください。

※4 検査位置は各測定面の左下の原点からの座標系(X、Y、Z)で表記してください。(この場合、検査面がX軸・Y軸面、深さ方向がZ軸となります。)検査結果は検査調書の展開図に①損傷種別、②検査位置(X、Y、Z)、③損傷形状(Δx 、 Δy 、 Δz)を旗揚げして記入し、可能であればCAD図にも記入して提出してください。

※5 測定できない項目は「測定不可」と記入し、対象ではない項目には「対象外」と記入してください。

※6 使用した検査手法のマニュアル等、参考となる資料があれば別途添付してください。

※7 本検査は使用した検査手法の精度等を確認するために実施するものです。そのため、使用した検査手法に関係ない手法(目視等)で計測した損傷は記録しないでください。

※8 隅角部などで検査面と原点を指定できない場合は、原点①を原点とし、損傷の中心位置との距離を座標系(X、Y、Z)で表記してください。ただし、座標軸については起点から終点に向けてX軸、左側面から右側面に向けてY軸、鉛直下向き方向をZ軸として記入してください。

検査調査書(その1-1) 検査位置図				供試体番号	検査年月日	年	月	日
実施者		検査手法						

検査位置図

凡例

ひ	橋軸方向	～
び	直角方向	Σ
れ	2方向	井
	剥離	○
	鉄筋露出	●
	遊離石灰	○
	豆板・空洞	○
	漏水・滲水	○
	欠損	○
	腐食	○

原点① 原点② 原点③ 原点④ 原点⑤ 原点⑥

起点側 終点側

上面 下面

7000 2250 300 500 700 225 250 225

検査調査書(その1-2) 検査位置図		供試体番号		検査年月日		年	月	日
実施者	検査手法							

検査位置図

外面展開図

検査調書(その2) 検査写真				供試体番号		検査年月日	年	月	日
実施者				検査手法					
測点番号		外観				検査結果※1			
検査対象		写真番号				写真番号			
メモ									
検査写真									
測点番号		外観				検査結果※1			
検査対象		写真番号				写真番号			
メモ									
※1 検査結果が別紙になる場合はその旨記載して、添付資料として提出してください。									

[illegible]

[illegible]

検査調書(その3-3) 検査結果				3)コンクリート内部のひび割れ			供試体名		検査年月日			年 月 日			
実施者							検査手法								
検査面 番号	原点 番号	検査 対象	測定 可否	かぶりの 定義	検査位置(mm)			内部ひび割れ			ひび割れの 長さl (mm)	ひび割れの 最大幅b (mm)	ひび割れの 最大深さd (mm)	摘要	
					X	Y	Z	X	Y	Z					
															※1 測点が多い場合は、複数枚作成してください。 ※2 検査位置を判断するため原点は各測定面の 左下からの座標(X、Y、Z)で表記してください ※3 測定できない項目は「測定不可」と記入し、対 象ではない項目には「対象外」と記入してください。 ※4 検査結果のアウトプットが画像、分布図等別紙 になる場合はその旨記載して、添付資料として提出 してください。

[illegible]

検査調査書(その4) 検査条件		検査年月日		年	月	日
実施者		供試体番号	検査手法			
※1 本検査の条件を詳細に記載してください。(様式自由) ※2 測点ごとに検査条件が異なる場合は、測点ごとに条件を記載してください。 ※3 枚数が足りない場合は追加してください。						
検査条件						

検査調書(その5) 検査精度の評価			供試体番号		検査年月日	年	月	日
実施者			検査手法					
※1 本検査の推定精度(誤差)についての自社評価と根拠について記載して下さい。(様式自由) ※2 枚数が足りない場合は追加して下さい。								
検査条件								

検査調査書(その6) 使用機器及び作業性							年	月	日
実施者				供試体番号	検査年月日				
実施者				検査手法					
使用 機器	寸法(mm)			使用機器写真					
	高さ	幅	奥行き	写真番号		写真番号			
	重量(kg)								
	本体重量		総重量						
	／								
作業性	準備に要した時間 (時間)			写真番号		検査状況写真 写真番号			
	1損傷の検査に要した平均時間(時間)								
	撤去に要した時間 (時間)								
	作業人数(人)								

※1 作業性のうち、準備、検査、撤去に要した時間はおよその平均時間を記載してください。

※2 枚数が足りない場合は追加してください。

非破壊検査結果の通知

検査実施者名 : _____

計測対象損傷 : _____

◇評価基準

【損傷の検知判定】

供試体 損傷有無	計測者回答		種別判定	判定
	損傷有無	損傷種別		
あり	あり	特定	一致	一致
		未特定	不一致	不一致
	なし	—	—	見逃し
なし	なし	—	—	損傷なし
	あり	—	—	空振り

※「未特定」は何かしらの損傷が生じていることを検知できても、損傷の種別までは判定できなかったことを意味します。

【計測誤差の評価】

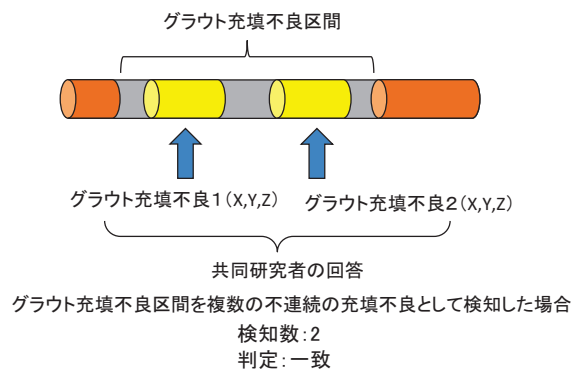
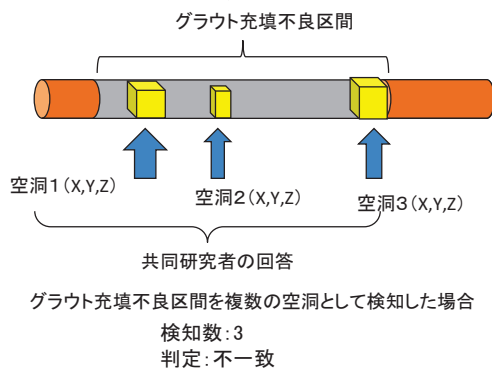
- ・模擬損傷の「位置」に対する誤差と「形状」に対する誤差をXY分布とZ分布で示しています。
(模擬損傷供試体はXZ分布とY分布)
- ・誤差分布は全体の結果を示すとともに、当該技術の結果も合わせて示しています。

【結果に関する注意点】

- ・要素供試体の座標はZ軸が深さ方向です。
- ・模擬損傷供試体における損傷位置座標は共同研究者からの回答をすべて原点①の座標に変換しています。
- ・模擬損傷供試体の損傷数については、検査対象供試体すべての模擬損傷を損傷種別毎に足し合わせた数値です。
- ・模擬損傷供試体の検知箇所数の表の網掛け部は検査対象外である損傷種別を示しています。
ただし、検査対象外であっても回答があった場合は結果に含めています。
- ・模擬損傷供試体の損傷検知数については、のべ数を示しています。

例えば、「グラウト充填不良」が1mの範囲にわたって生じている箇所に対し、それを「グラウト充填不良」と検知できずに、「空洞」が3箇所生じているという回答だった場合は、損傷検知数は「3」となり、結果の評価は「不一致」となります。

※1つの損傷について複数の損傷とカウントされる例



1. 要素供試体

検査対象【空洞】

(1)検査結果概要

①供試体種類

F-1、F-2

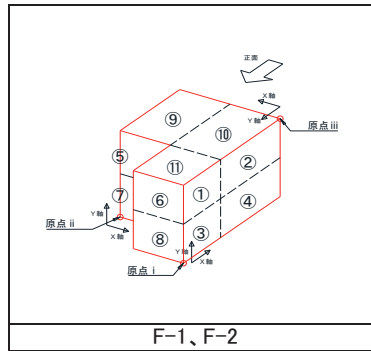
②検査面

F-1:①②④⑤⑧⑩

F-2:①②④⑤⑧⑩

③回答数(空洞を検知できた箇所数)

検査対象 損傷数	回答数
12	



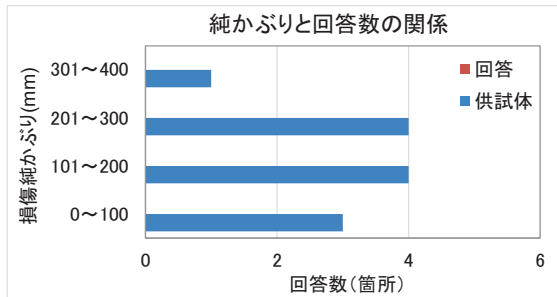
※1つ内部損傷に対して複数の面から検査を行っているため、対象となった損傷数と内部損傷数は必ずしも一致しません。

(2)結果の分析(全ケースの回答との相対比較)

①純かぶりと回答数の関係

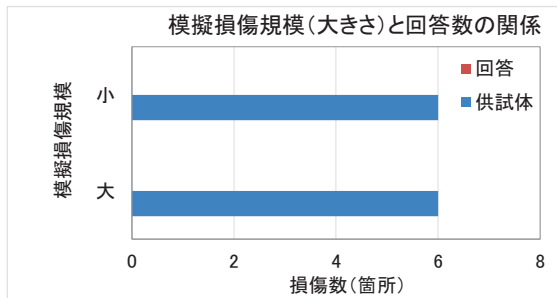
純かぶり (mm)	損傷数		損傷 検知率
	供試体	回答	
0～100	3		0%
101～200	4		0%
201～300	4		0%
301～400	1		0%
合計	12		0%

※純かぶりは検査面から内部損傷表面までの距離を示しています。

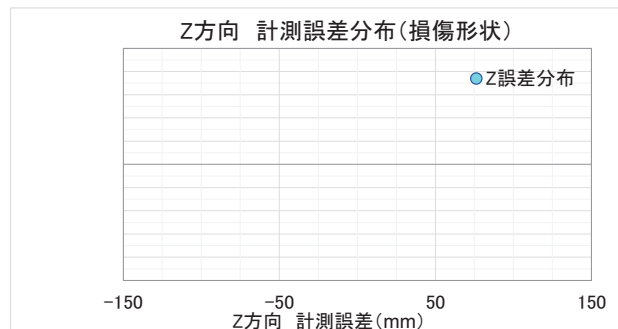
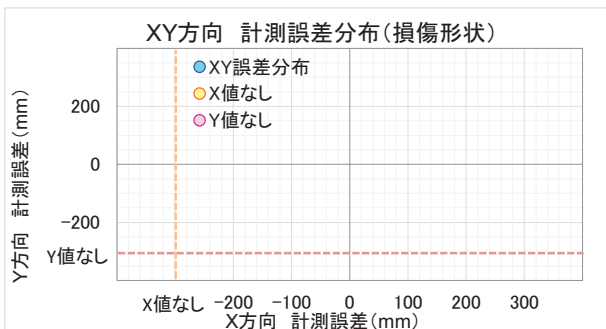
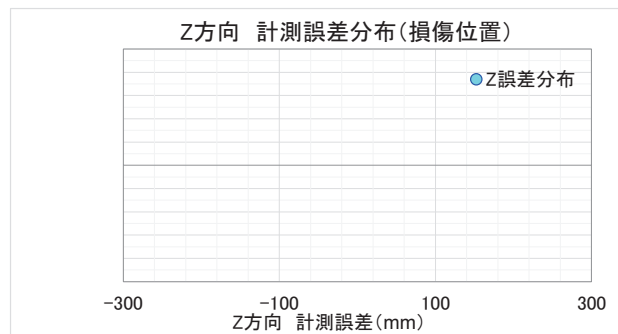
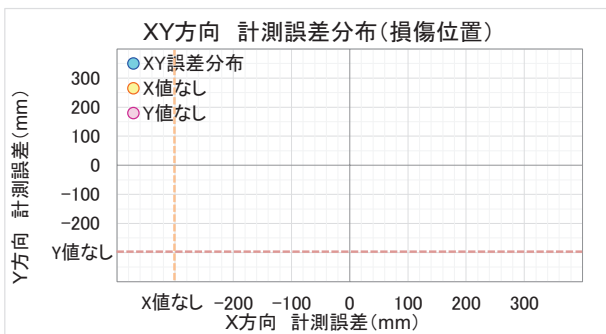


②模擬損傷規模(大きさ)と回答数の関係

損傷規模	損傷数		損傷 検知率
	供試体	回答	
大	6		0%
小	6		0%
合計	12		0%

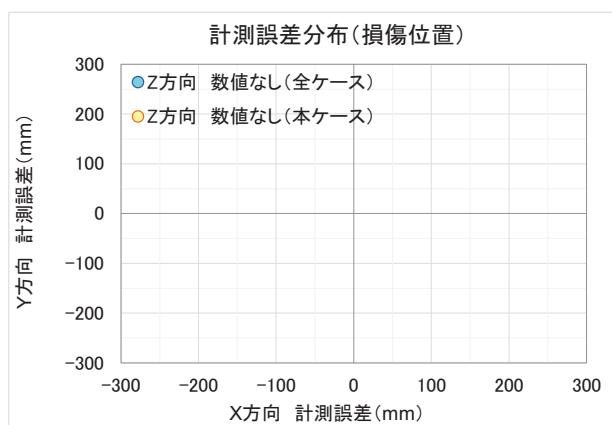


③計測誤差分布(全ケース)

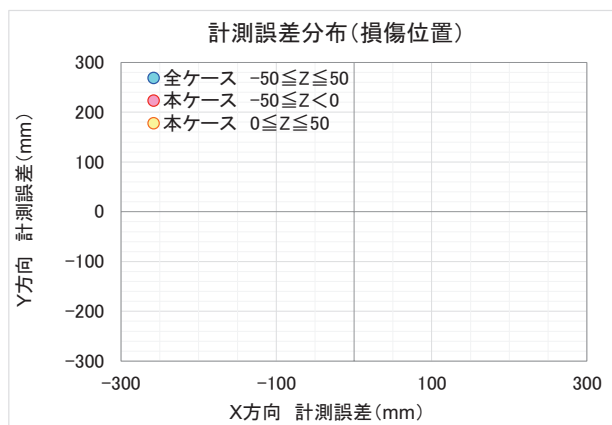


④損傷位置 計測誤差分布(本ケース)

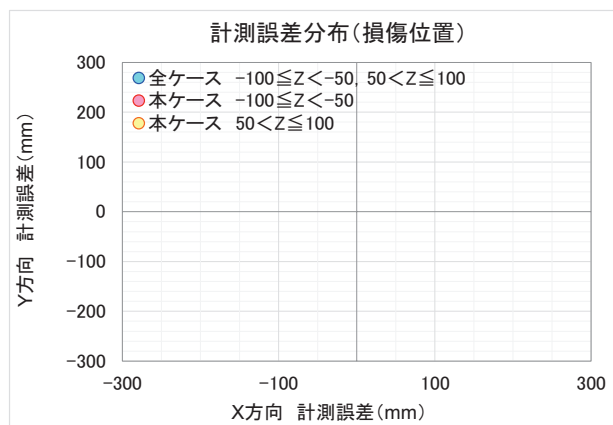
1) Z方向の計測値なし



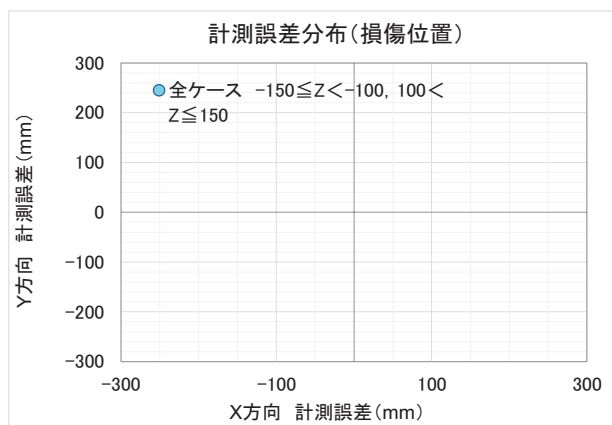
2) Z方向の誤差範囲 $-50 \leq Z \leq 50$



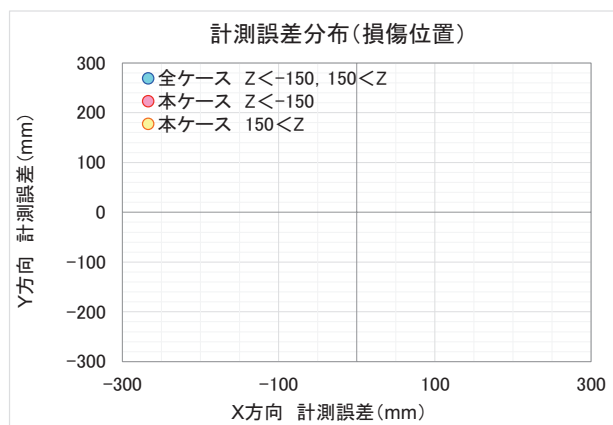
3) Z方向の誤差範囲 $-100 \leq Z < -50$, $50 < Z \leq 100$



4) Z方向の誤差範囲 $-150 \leq Z < -100$, $100 < Z \leq 150$

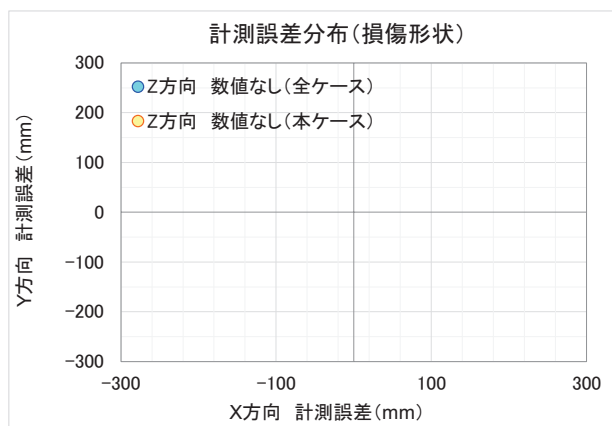


5) Z方向の誤差範囲 $Z < -150$, $150 < Z$

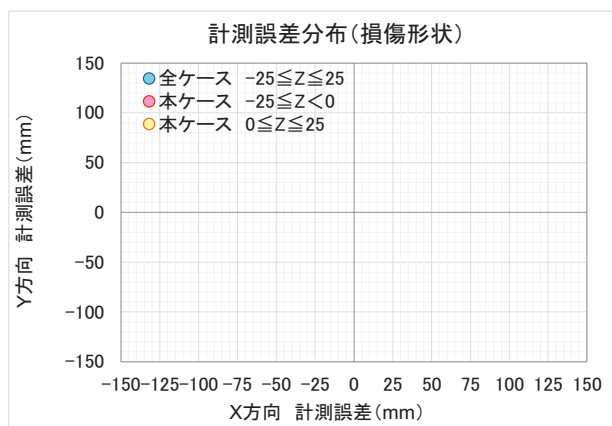


⑤ 損傷形状 計測誤差分布(本ケース)

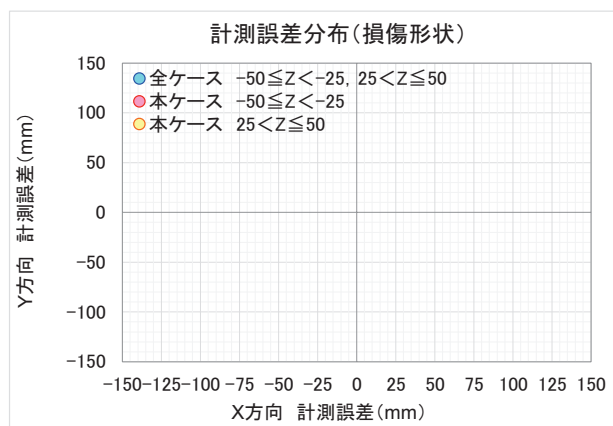
1) Z方向の計測値なし



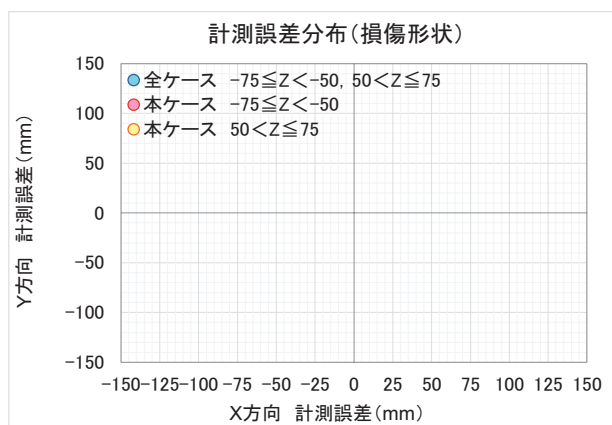
2) Z方向の誤差範囲 $-25 \leq Z \leq 25$



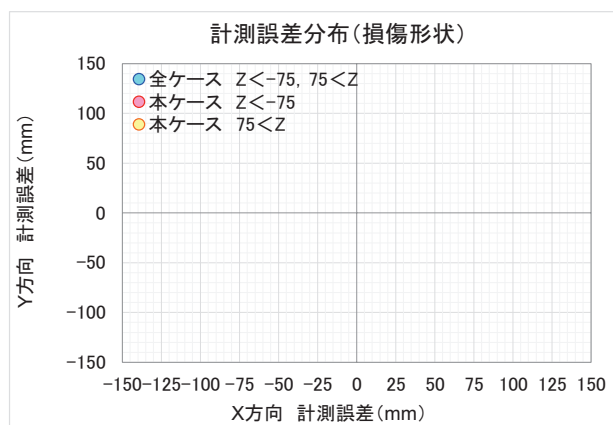
3) Z方向の誤差範囲 $-50 \leq Z < -25, 25 < Z \leq 50$



4) Z方向の誤差範囲 $-75 \leq Z < -50, 50 < Z \leq 75$



5) Z方向の誤差範囲 $Z < -75, 75 < Z$



1. 要素供試体

検査対象 【うき】

(1)検査結果概要

①供試体種類

F-1、F-2

②検査面

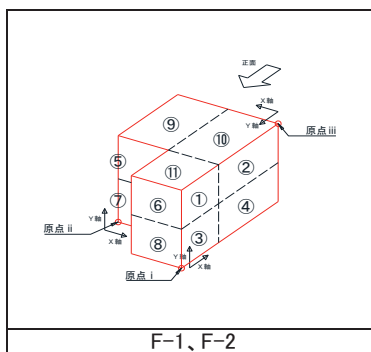
F-1: ①②④⑤⑧⑩

F-2: ①②④⑤⑧⑩

③回答数(うきを検知できた箇所数)

検査対象 損傷数	回答数
12	

※1つ内部損傷に対して複数の面から検査を行っているため、対象となった損傷数と内部損傷数は必ずしも一致しません。

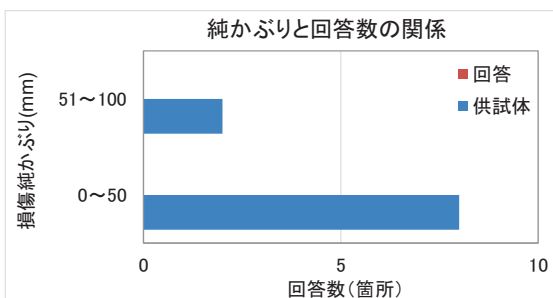


(2)結果の分析(全ケースの回答との相対比較)

①純かぶりと回答数の関係

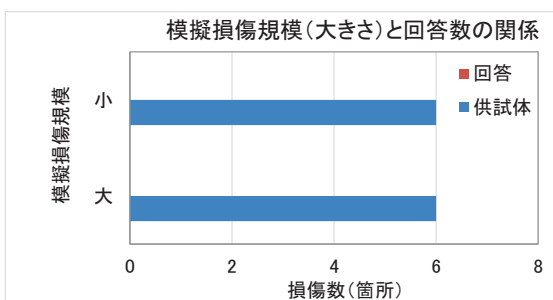
純かぶり (mm)	損傷数		損傷 検知率
	供試体	回答	
0～50	8		0%
51～100	2		0%
合計	10		0%

※純かぶりは検査面から内部損傷表面までの距離を示しています。

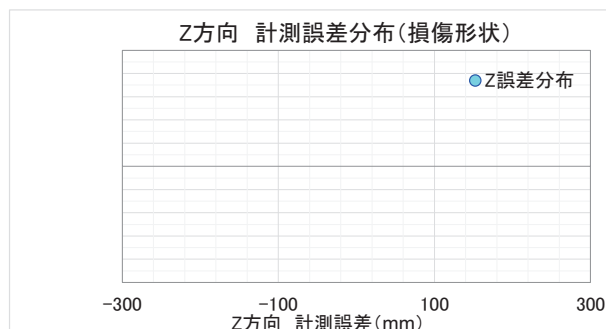
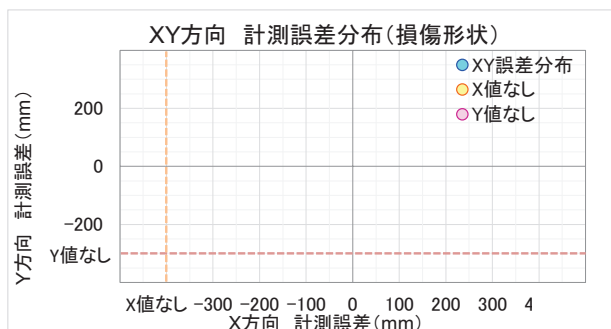
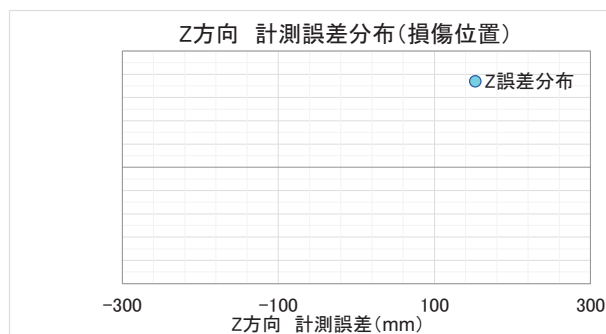
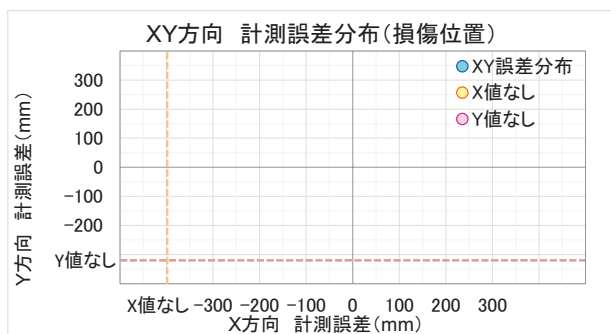


②模擬損傷規模(大きさ)と回答数の関係

損傷規模	損傷数		損傷 検知率
	供試体	回答	
大	6		0%
小	6		0%
合計	12		0%



③計測誤差分布(全ケース)



検査対象【グラウト充填状態及びPC鋼材の健全性】

(1)検査結果概要

①供試体種類

F-4、F-5

②検査面

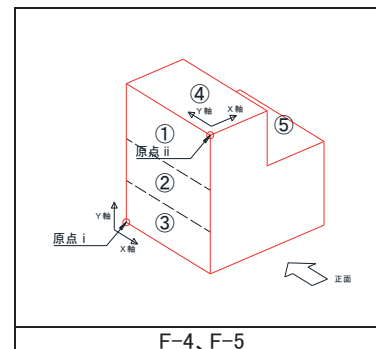
F-4:①②③④⑤

F-5:①②③④⑤

③回答数(グラウト充填状態及びPC鋼材の健全性を検知できた箇所数)

検査対象	検査対象 損傷数	回答数	回答内訳					
			一致	不一致	未特定	見逃し	損傷なし	空振り
グラウト充填	5	0	0	0	0	0	0	0
グラウト充填不良	5	0	0	0	0	0	0	0
PC鋼材の健全性	11	0	0	0	0	0	0	0

※1つ内部損傷に対して複数の面から検査を行っているため、対象となった損傷数と内部損傷数は必ずしも一致しません。

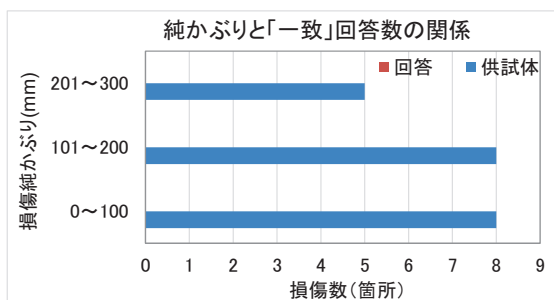


(2)結果の分析

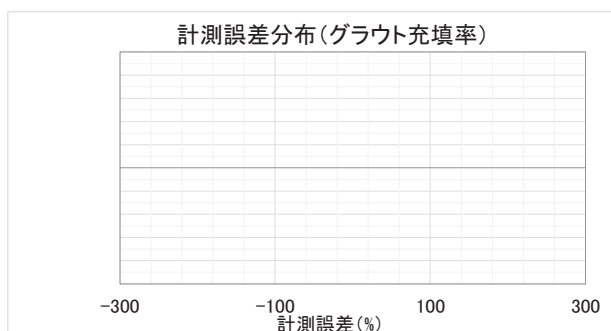
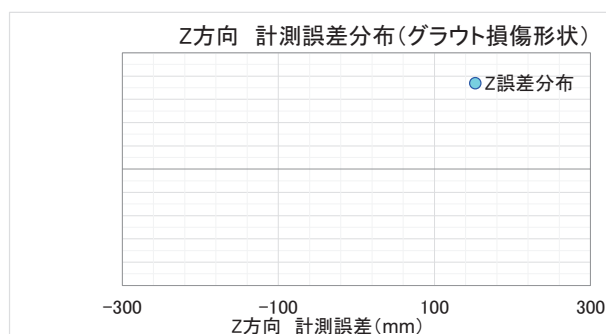
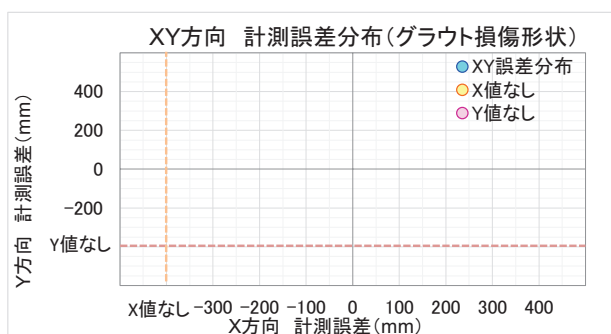
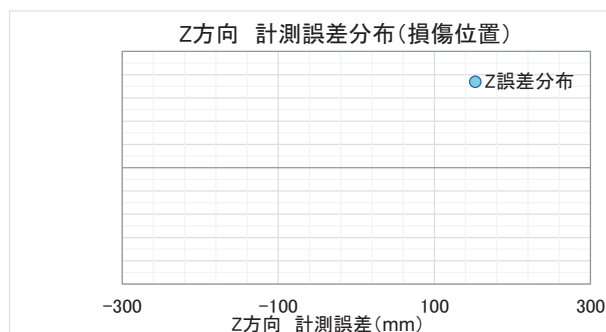
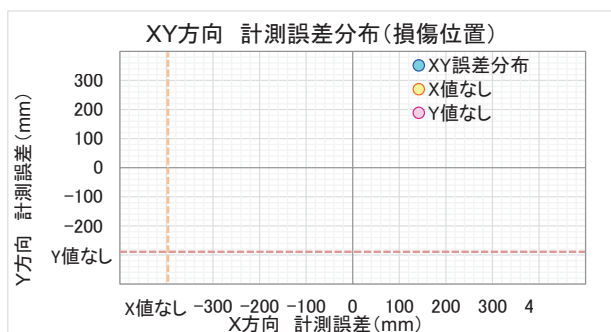
①純かぶりと「一致」回答数の関係

純かぶり (mm)	損傷数		損傷 検知率
	供試体	回答	
0～100	8	0	0%
101～200	8	0	0%
201～300	5	0	0%
合計	21	0	0%

※純かぶりは検査面から内部損傷表面までの距離を示しています。



③計測誤差分布(全ケース)



検査対象【鉄筋の健全性】

(1)検査結果概要

①供試体種類

F-6、F-7

②検査面

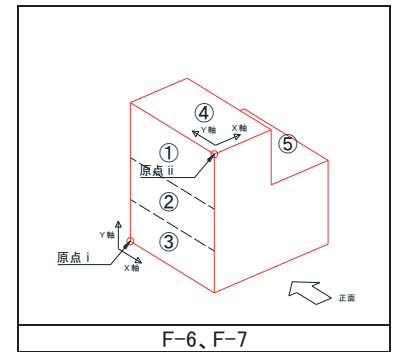
F-6:①②③④⑤

F-7:①②③④⑤

③回答数(鉄筋の健全性を検知できた箇所数)

検査対象	検査対象 損傷数	回答数	回答内訳					
			一致	不一致	未特定	見逃し	損傷なし	空振り
健全	4		0	0	0	0	0	0
不健全	6		0	0	0	0	0	0

※1つ内部損傷に対して複数の面から検査を行っているため、対象となった損傷数と内部損傷数は必ずしも一致しません。

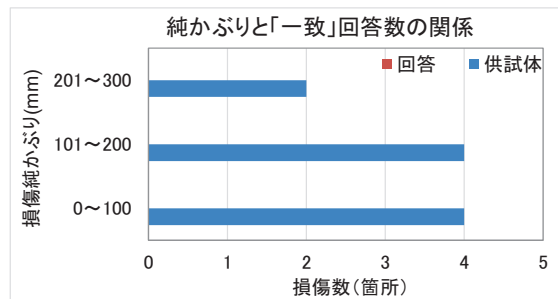


(2)結果の分析

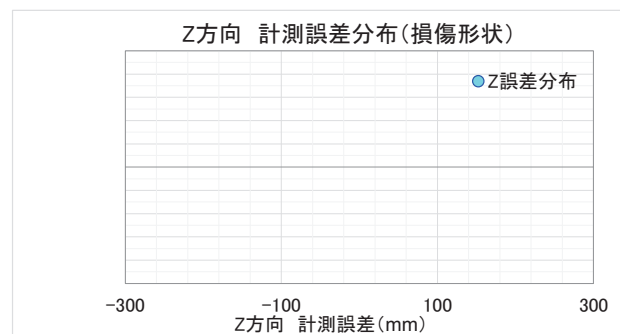
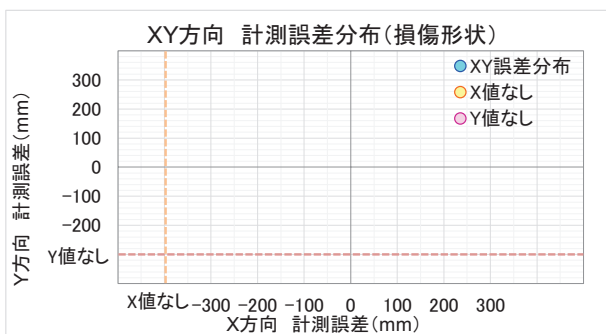
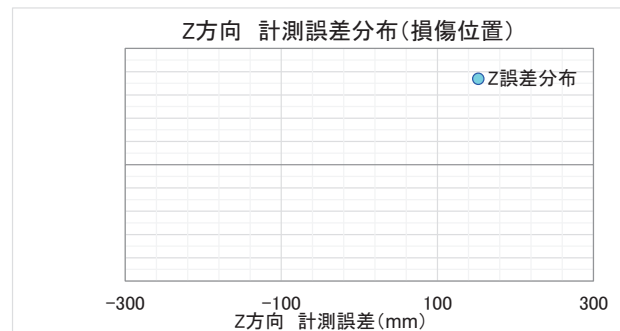
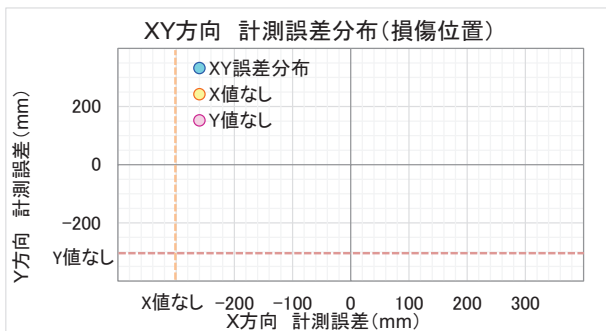
①純かぶりと「一致」回答数の関係

純かぶり (mm)	損傷数		損傷 検知率
	供試体	回答	
0～100	4		0%
101～200	4		0%
201～300	2		0%
合計	10		0%

※純かぶりは検査面から内部損傷表面までの距離を示しています。



③計測誤差分布(全ケース)



検査対象【ひび割れ】

(1)検査結果概要

①供試体種類

F-8

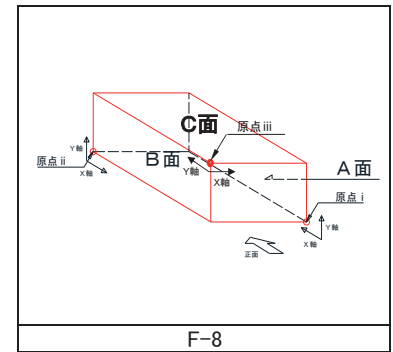
②検査面

A面、B面、C面

③回答数(ひび割れおよび内部ひび割れの位置、長さ、深さのいずれかを検知できた箇所数)

検査対象	検査対象 損傷数	回答数
ひび割れ	6	
内部ひび割れ	6	

※1つ内部損傷に対して複数の面から検査を行っているため、対象となった損傷数と内部損傷数は必ずしも一致しません。

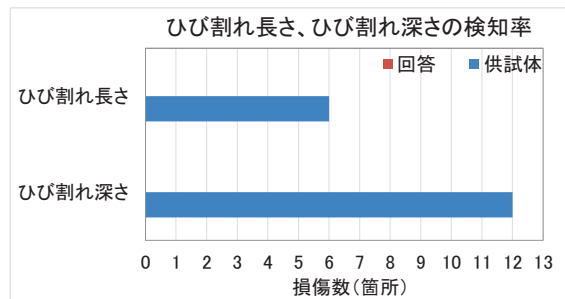


(2)結果の分析

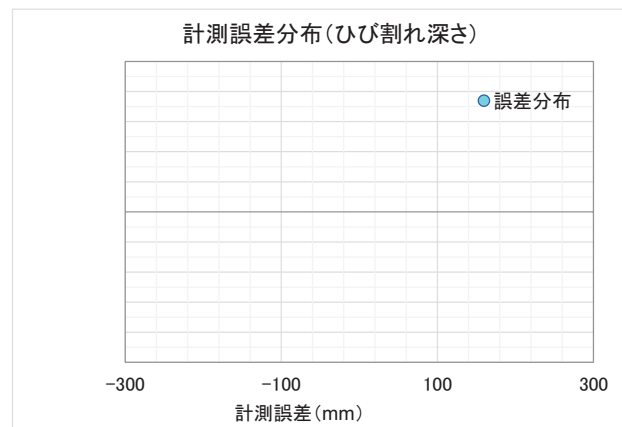
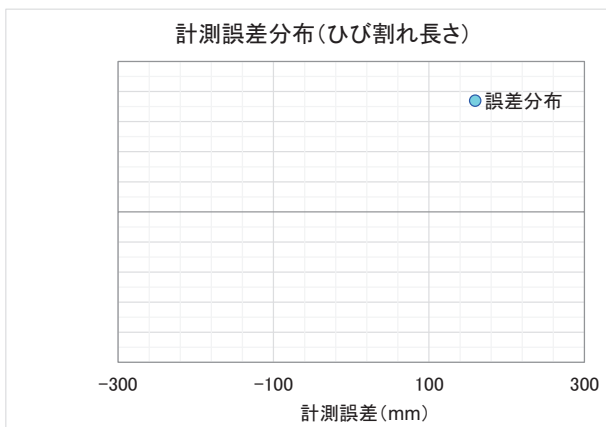
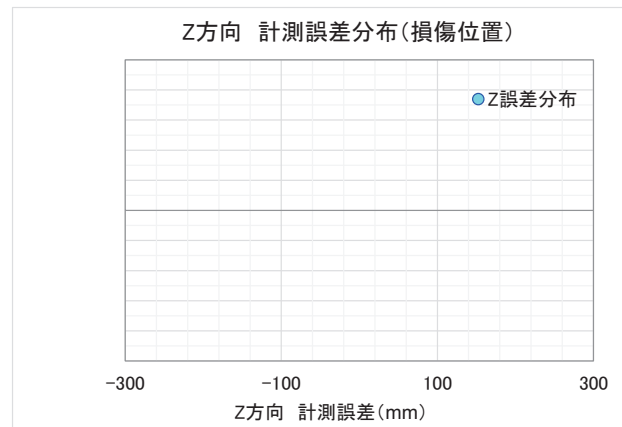
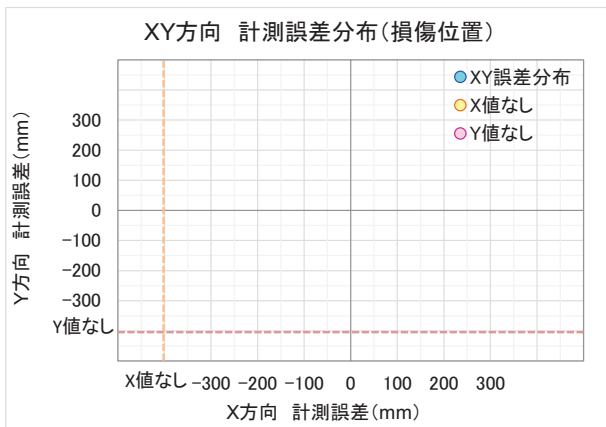
①ひび割れ長さ、ひび割れ深さの検知率

検査対象	損傷数		損傷 検知率
	供試体	回答	
ひび割れ長さ	6		0%
ひび割れ深さ	12		0%
合計	18		0%

※A面、B面は表面に模擬ひび割れが見えているので、ひび割れ深さのみを計測の対象としています。

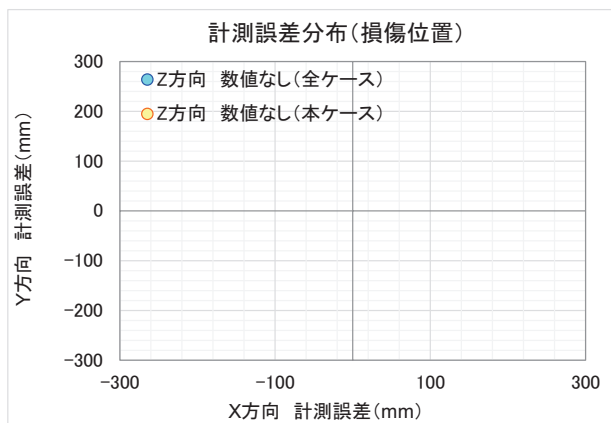


③計測誤差分布(全ケース)

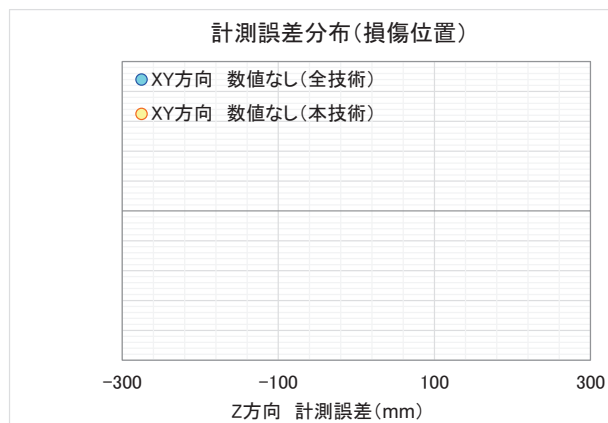


④損傷位置 計測誤差分布(本ケース)

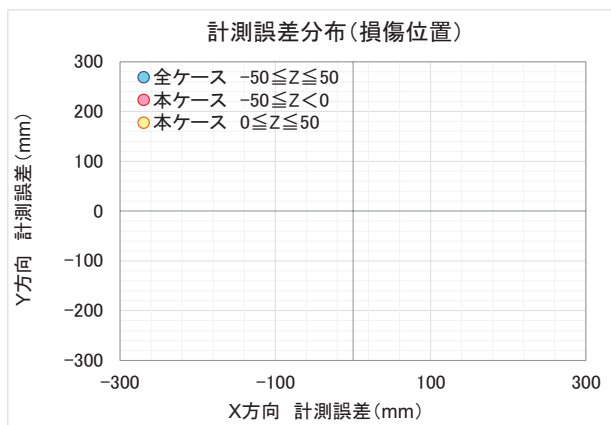
1) Z方向の計測値なし



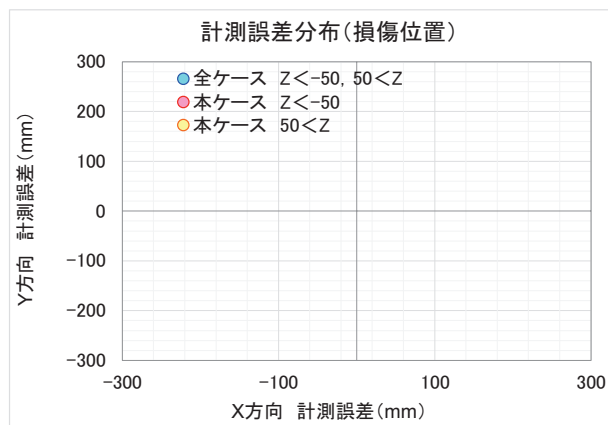
2) XY方向の計測値なし



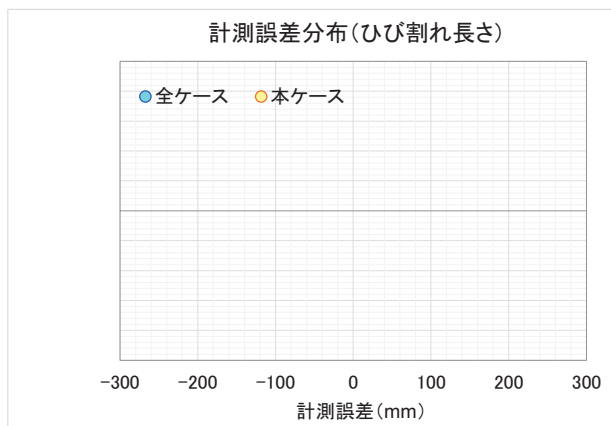
2) Z方向の誤差範囲 $-50 \leq Z \leq 50$



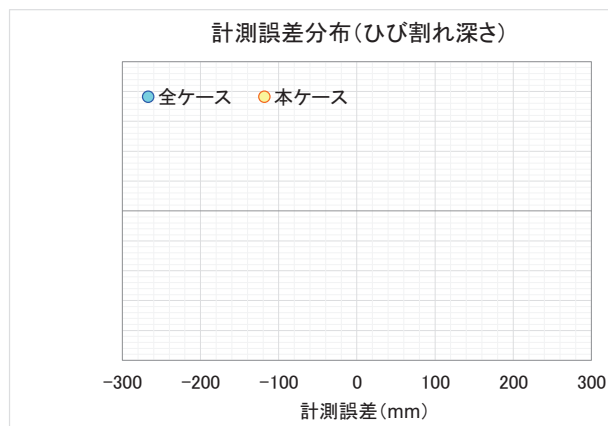
3) Z方向の誤差範囲 $-100 \leq Z < -50$, $50 < Z \leq 100$



⑤ひび割れ長さ 計測誤差分布(本ケース)



⑥ひび割れ深さ 計測誤差分布(本ケース)



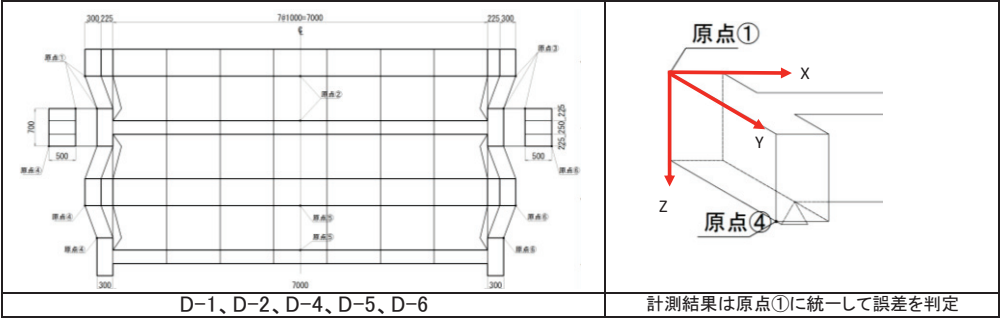
2. 模擬損傷供試体

供試体種類： PCT桁

(1)検査結果概要

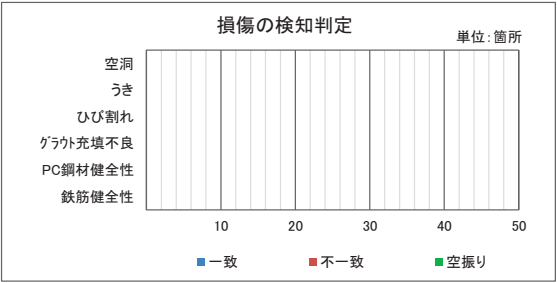
①供試体種類

D-1、D-2、D-4、D-5、D-6



②回答数(各種損傷を検知できた箇所数)

計測結果 損傷種別	模擬 損傷数	回答数	回答内訳		
			一致	不一致	空振り
1 空洞	46	0			
2 うき	17	0			
3 ひび割れ	0	0			
4 グラウト充填不良	24	0			
5 PC鋼材健全性	11	0			
6 鉄筋健全性	22	0			
合計	120	0			

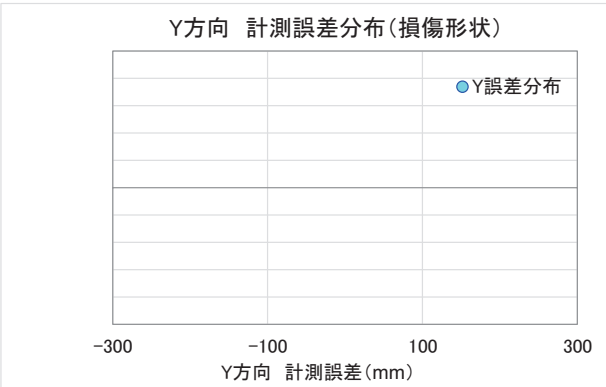
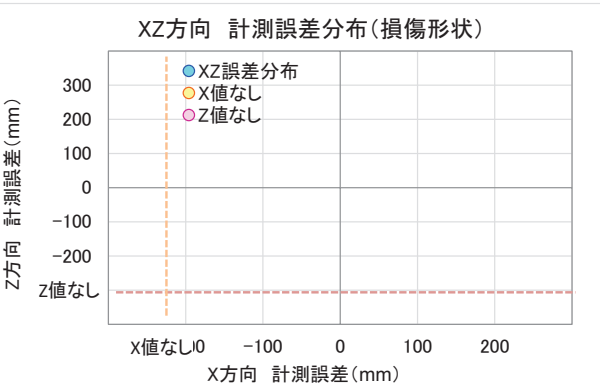
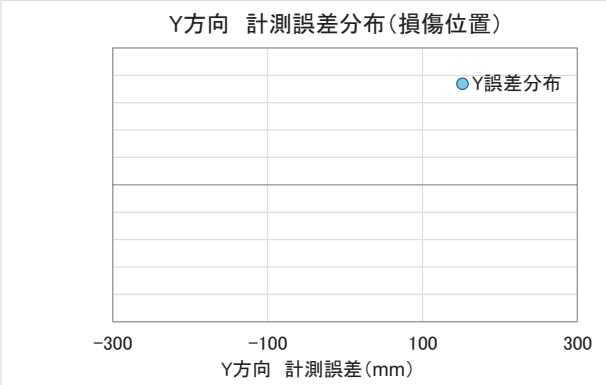
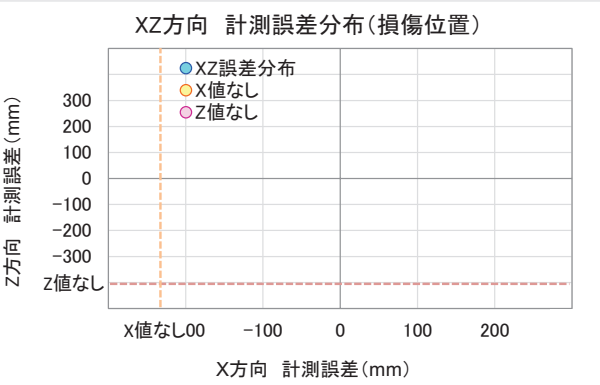


(2)計測誤差詳細

検査対象：

供試体種類：PCT桁

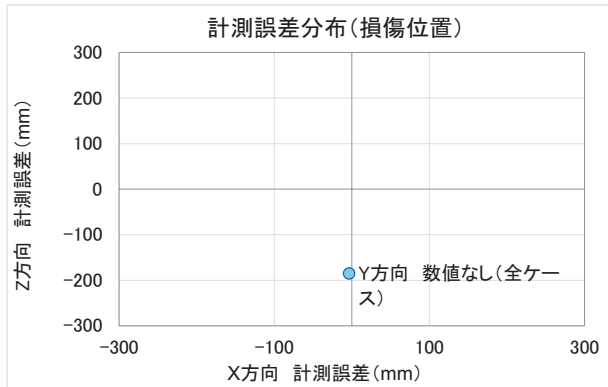
①計測誤差分布(全ケース)



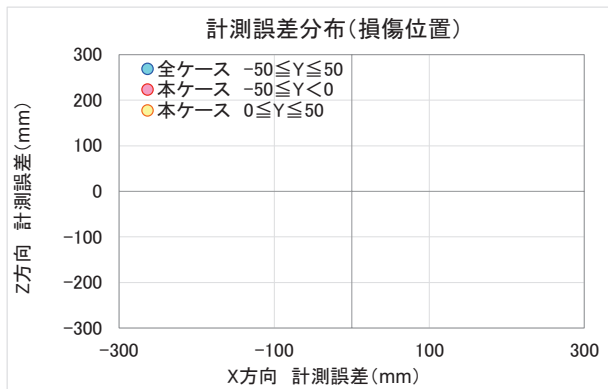
検査対象：

②損傷位置 計測誤差分布(本ケース)

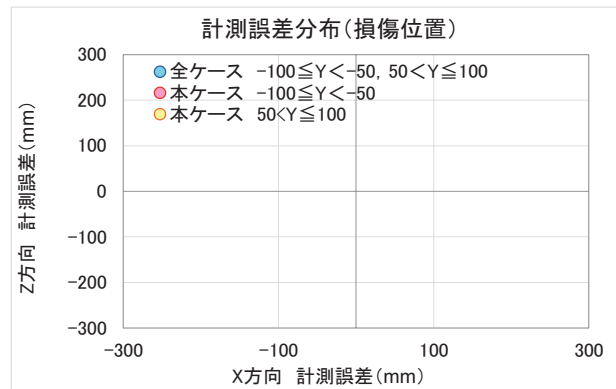
1) Y方向の計測値なし



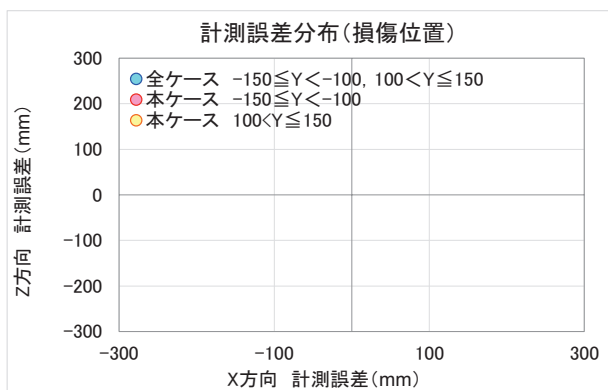
2) Y方向の誤差範囲 $-50 \leq Y \leq 50$



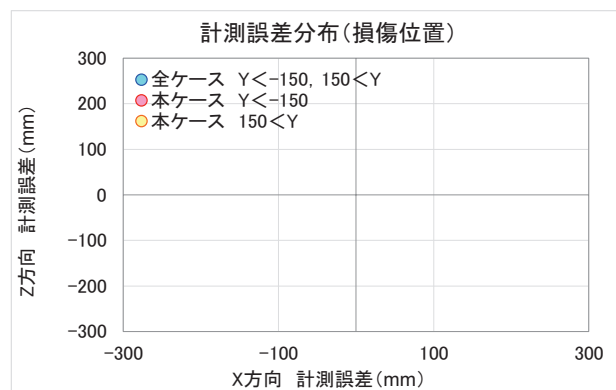
3) Y方向の誤差範囲 $-100 \leq Y < -50$, $100 < Y \leq 50$



4) Y方向の誤差範囲 $-150 \leq Y < -100$, $150 < Y \leq 100$



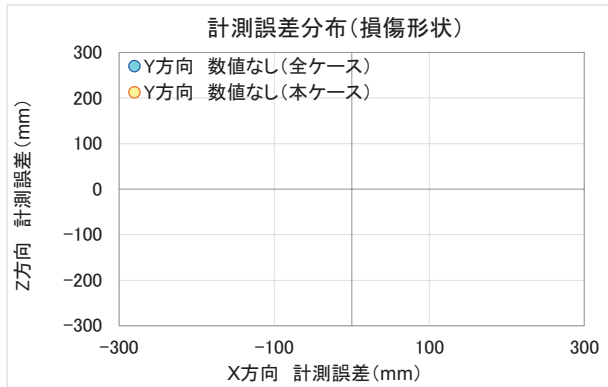
5) Y方向の誤差範囲 $Y < -150$, $150 < Y$



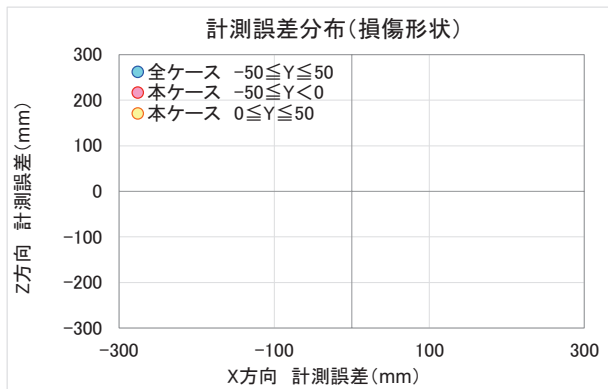
検査対象 :

③ 損傷形状 計測誤差分布(本ケース)

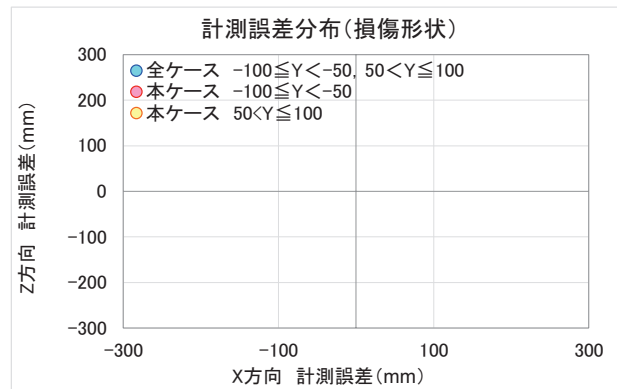
1) Y方向の計測値なし



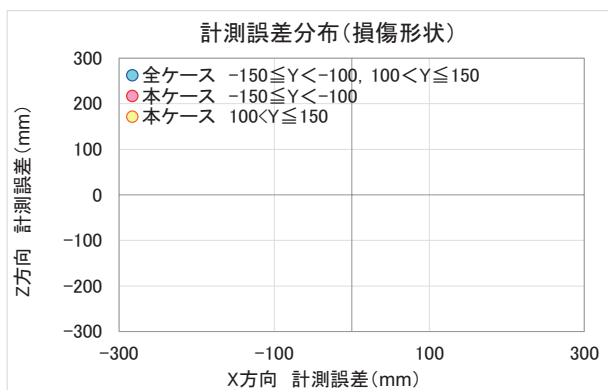
2) Y方向の誤差範囲 $-50 \leq Y \leq 50$



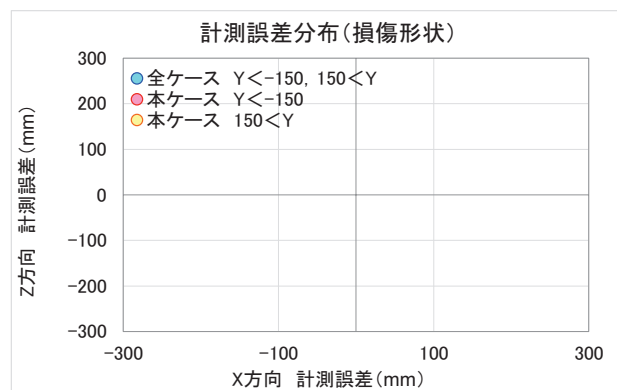
3) Y方向の誤差範囲 $-100 \leq Y < -50$, $100 < Y \leq 50$



4) Y方向の誤差範囲 $-150 \leq Y < -100$, $150 < Y \leq 100$



5) Y方向の誤差範囲 $Y < -150$, $150 < Y$

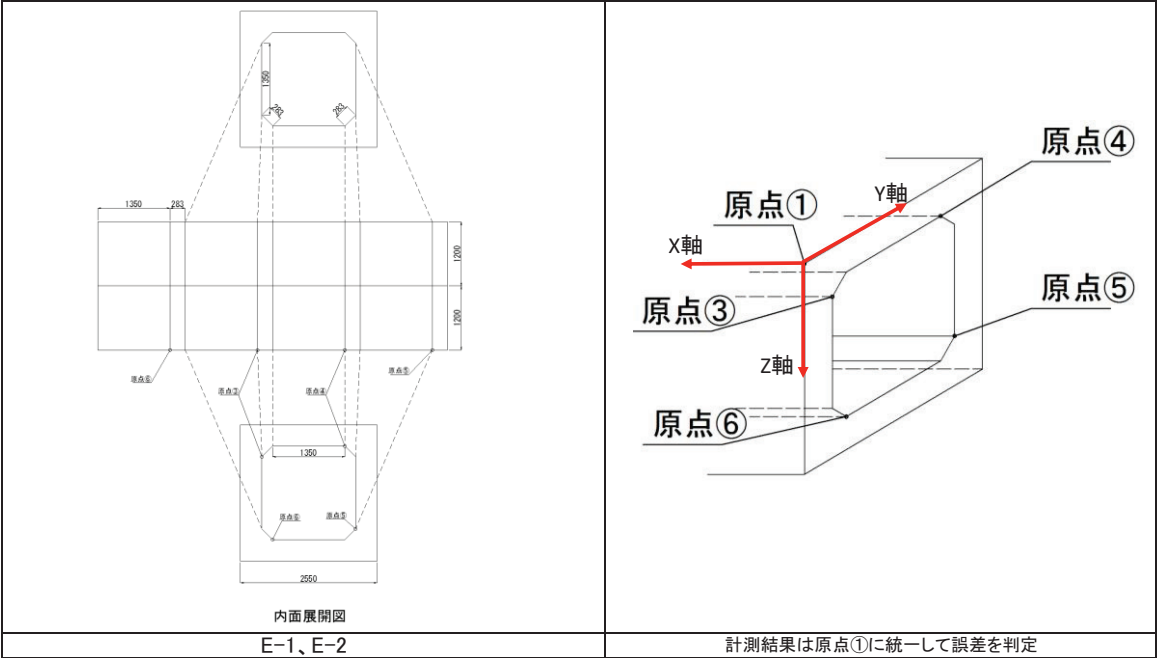


2. 模擬損傷供試体

供試体種類: C-BOX

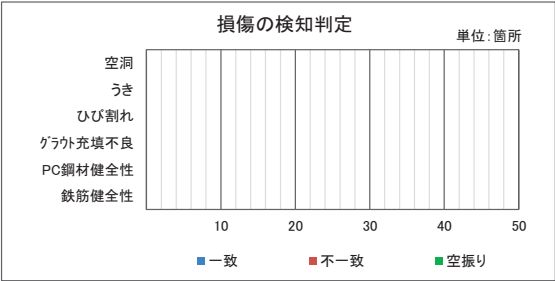
(1)検査結果概要

①供試体種類
E-1、E-2



②回答数(各種損傷を検知できた箇所数)

計測結果 損傷種別	模擬 損傷数	回答数	回答内訳		
			一致	不一致	空振り
1 空洞	63	0			
2 うき	28	0			
3 ひび割れ	28	0			
4 グラウト充填不良	0	0			
5 PC鋼材健全性	0	0			
6 鉄筋健全性	33	0			
合計	152	0			

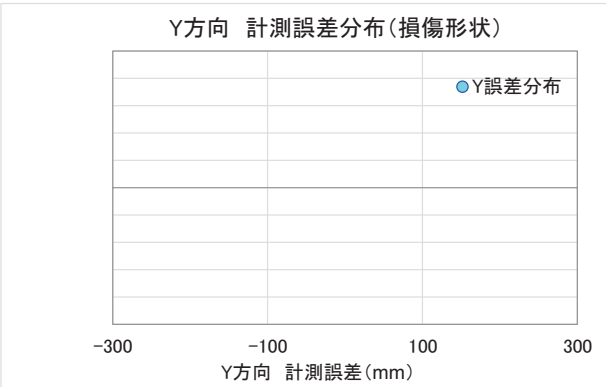
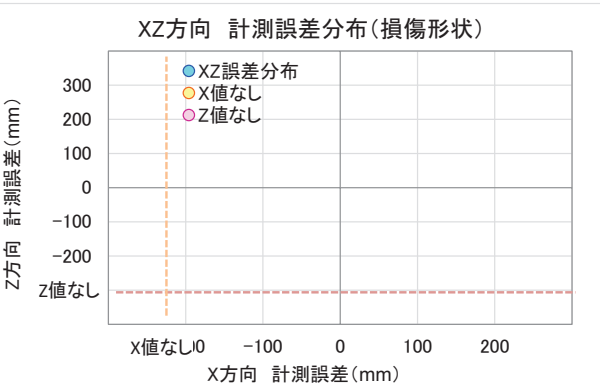
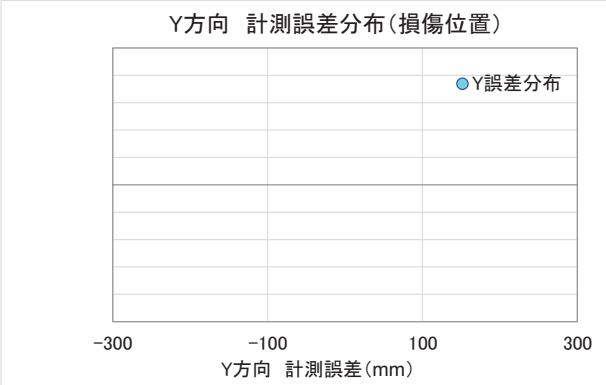
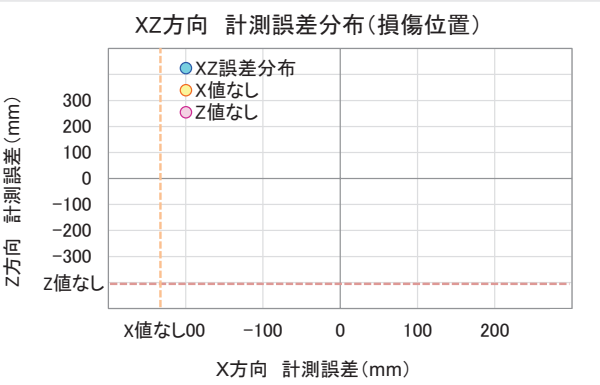


(2)計測誤差詳細

検査対象：

供試体種類：C-BOX

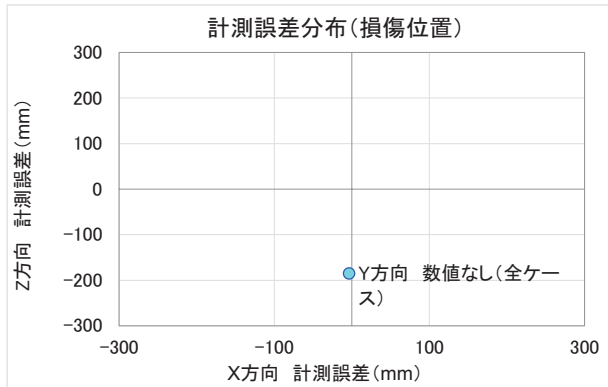
①計測誤差分布(全ケース)



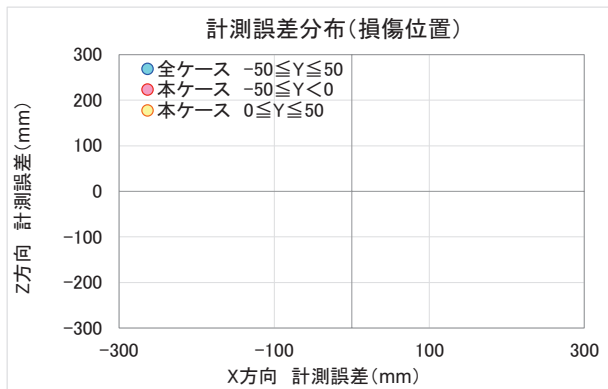
検査対象：

②損傷位置 計測誤差分布(本ケース)

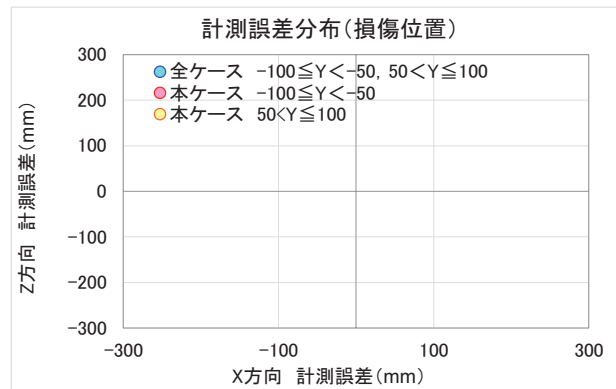
1) Y方向の計測値なし



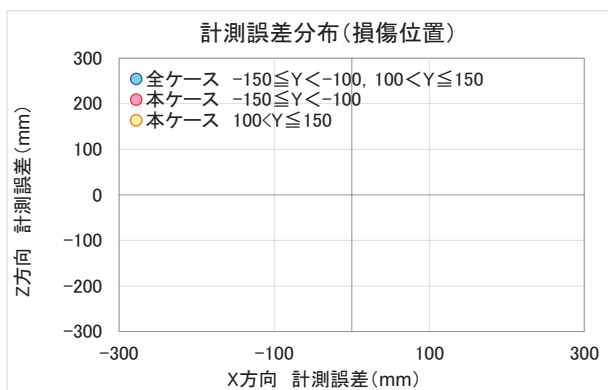
2) Y方向の誤差範囲 $-50 \leq Y \leq 50$



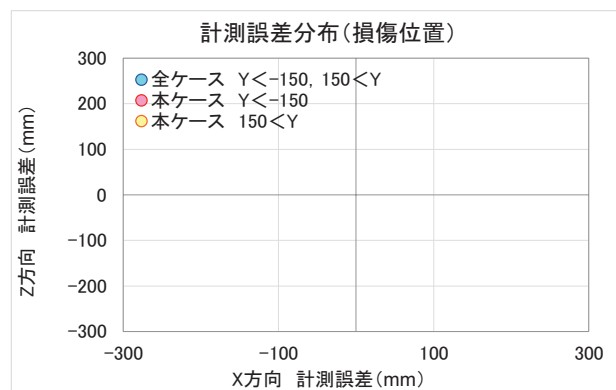
3) Y方向の誤差範囲 $-100 \leq Y < -50$, $100 < Y \leq 50$



4) Y方向の誤差範囲 $-150 \leq Y < -100$, $150 < Y \leq 100$



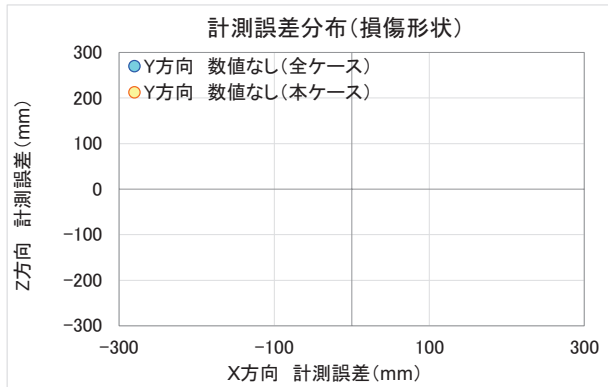
5) Y方向の誤差範囲 $Y < -150$, $150 < Y$



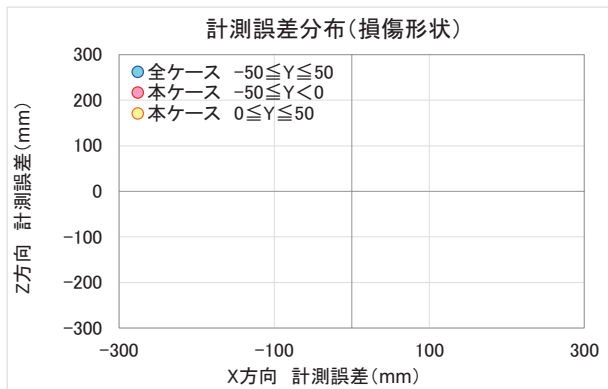
検査対象 :

③損傷形状 計測誤差分布(本ケース)

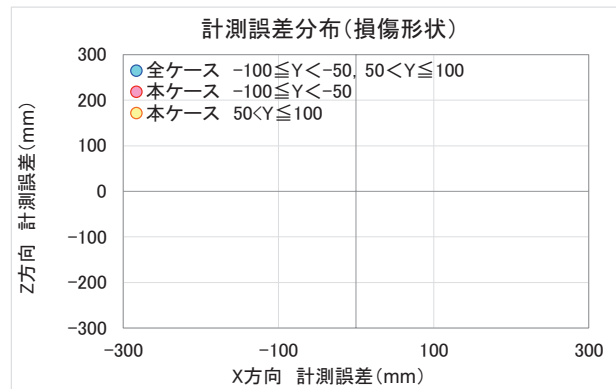
1) Y方向の計測値なし



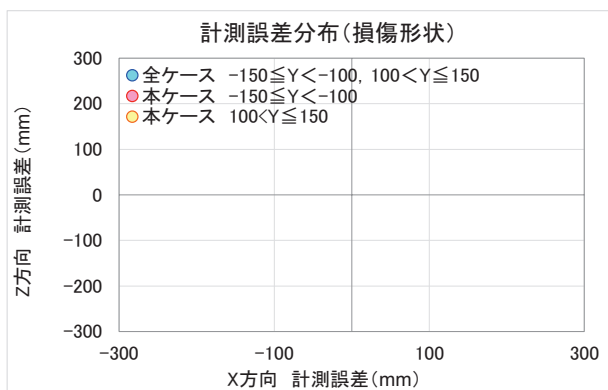
2) Y方向の誤差範囲 $-50 \leq Y \leq 50$



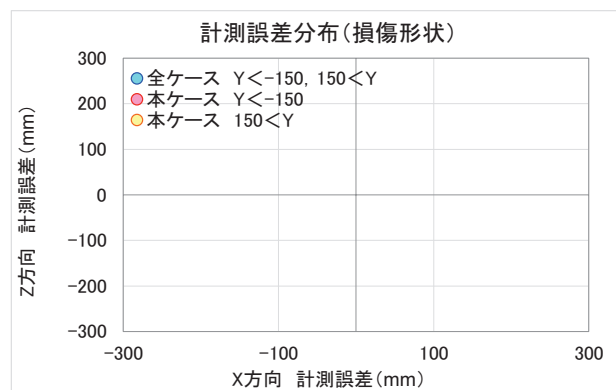
3) Y方向の誤差範囲 $-100 \leq Y < -50$, $100 < Y \leq 50$



4) Y方向の誤差範囲 $-150 \leq Y < -100$, $150 < Y \leq 100$



5) Y方向の誤差範囲 $Y < -150$, $150 < Y$



付属資料 3

非破壊検査技術の基礎的調査で用いた様式

- (1) 検査調書
- (2) 結果報告様式

非破壊検査 検査結果記入シート

共同研究者							
検査手法							
検査年月日	年	月	日	～	年	月	日
所属							
氏名							

注意事項

※1 供試体は他の共同研究者も使用するため、供試体には測定の箇所や結果が判別できる跡(マーキング等)を残さないでください。マーキング等がどうしても必要な場合は、シールやテープ等を介して行い、作業終了後は全て剥がして作業を終えて下さい。

※2 検査調書(その1)から(その4)は、必要に応じてシートを追加してください。

※3 検査位置の水平距離と鉛直距離は、側面の中間横桁とウェブと下フランジ(ハンチ上端)の交点を原点として測定してください(下図及び検査調書(その1)参照)。また、深さは表面からの距離としてください。

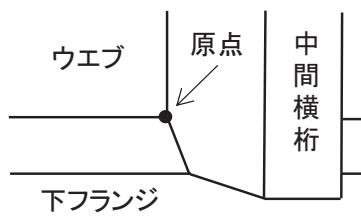
※4 測定できない項目は「測定不可」と記入し、対象ではない項目には「対象外」と記入してください。

※5 使用した検査手法のマニュアル等、参考となる資料があれば別途添付してください。

※6 本検査は使用した検査手法の精度等を確認するために実施するものです。そのため、使用した検査手法に関係ない手法(目視等)で計測した損傷は記録しないでください。

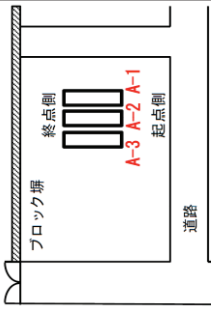
■ 検査位置を判断するための原点の位置

供試体番号:C-1～C-6



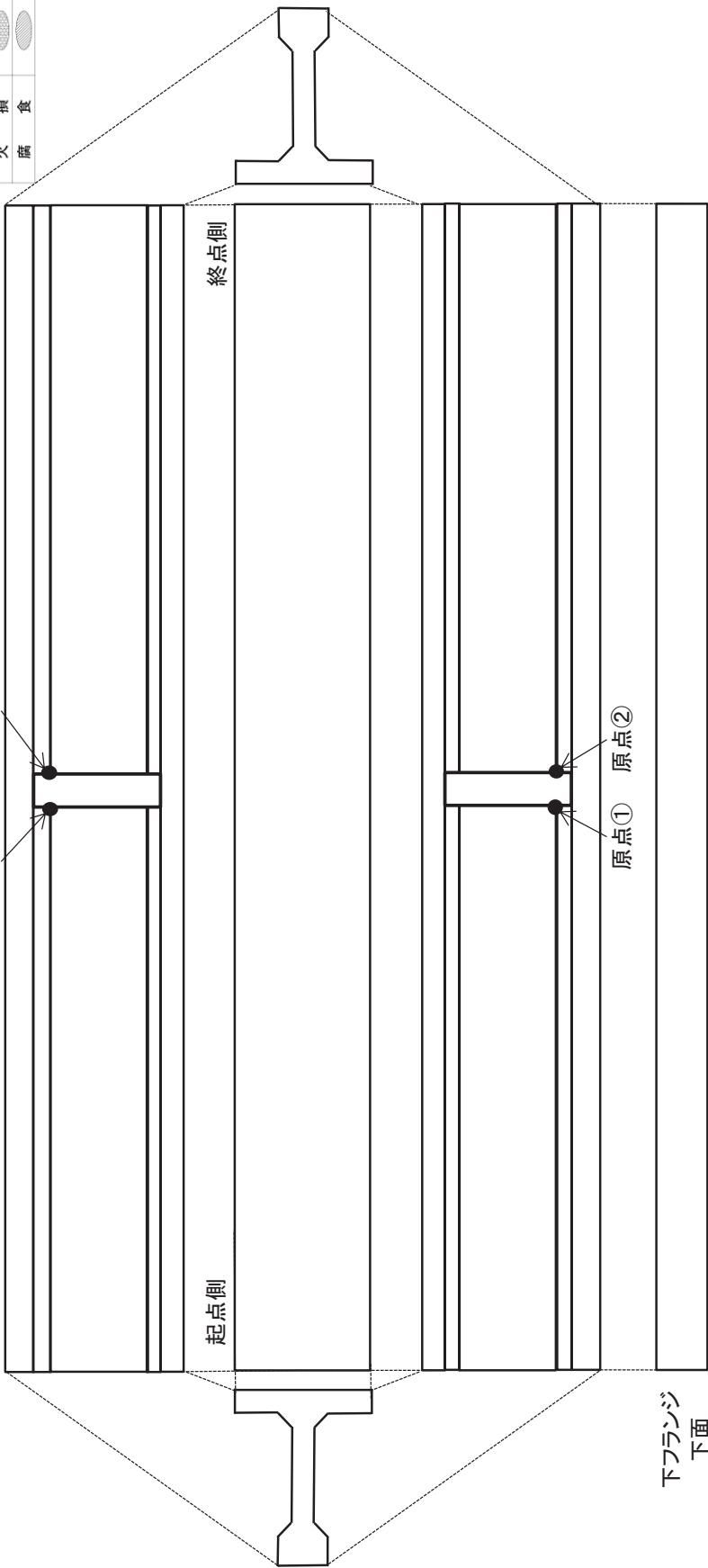
検査調査書(その1) 検査位置図		検査年月日	年 月 日
共同研究者	供試体番号	検査手法	

ヤードA



凡 例

ひびわれ	橋軸方向	～
剥離	直角方向	⋈
2方向		
剥離		
鉄筋露出		
遊離石灰		
豆粒・空洞		
漏水・滞水		
欠損		
腐食		



検査位置図

[illegible]

検査調書(その3-2) 鉄筋配置図及びPC鋼材配置図		供試体番号	検査年月日	年	月	日
共同研究者		検査手法				

※検査調書(その3-1)の検査結果等を基に、鉄筋配置図及びPC鋼材配置図を作成して下さい。

検査位置図

ヤードA

道路

検査調書(その4-1) 検査条件		供試体番号	検査年月日	年	月	日
共同研究者		検査手法				
※1 本検査の条件を詳細に記載してください。(様式自由) ※2 測点ごとに検査条件が異なる場合は、測点ごとに条件を記載してください。 ※3 機器性能等の性能により測定が不可能な場合、その理由 ※4 計測結果のとりまとめに要した時間 ※5 枚数が足りない場合は追加してください。						
検査条件						

検査調書(その4-2) 検査精度の評価		供試体番号	検査年月日	年	月	日
共同研究者		検査手法				
※1 本検査の推定精度(誤差)についての自社評価と根拠について記載して下さい。(様式自由) ※2 枚数が足りない場合は追加して下さい。						
検査条件						

検査調査書(その5) 使用機器及び作業性					検査年月日	年	月	日	
共同研究者					供試体番号		検査手法		
使用機器		寸法(mm)			使用機器写真				
		高さ	幅	奥行き	写真番号	写真番号			
		重量(kg)							
		本体重量	総重量						
作業性		準備に要した時間 (時間)			検査状況写真				
		写真番号			写真番号				
		1損傷の検査に要した平均時間(時間)							
		撤去に要した時間 (時間)							
作業人数(人)									
※1 作業性のうち、準備、検査、撤去に要した時間はおおよその平均時間を記載してください。 ※2 枚数が足りない場合は追加してください。									

平成25年度 非破壊検査の計測結果

H25年度は撤去桁4橋(主桁数:9体)と模擬損傷供試体(PCT桁:2体、PC中空:1体、G-BOX:1体)について非破壊検査の計測を実施していただきましたが、このうちH25年度に解体した撤去桁(主桁数:2体)と模擬損傷供試体(PCT桁:2体、PC中空:1体、G-BOX:1体)について非破壊検査の計測結果と実際の内部損傷について照合確認を実施しましたのでその結果について通知します。

共同研究者名 :

計測対象損傷 :

【計測結果】

◇評価基準

(1)損傷の検知

損傷種別	判定
一致	正解
不一致	空振
未発見	見逃

(2)計測精度

①損傷位置(X, Y, Z)

誤差範囲 (mm)	判定
～50	◎
～100	○
～300	△
300～	空振
未発見	見逃

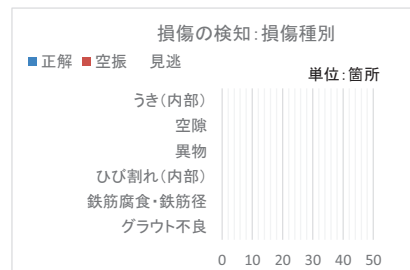
②損傷形状

誤差範囲 (cm ²)	判定
～25	◎
～100	○
～900	△
900～	空振
未発見	見逃

①撤去桁

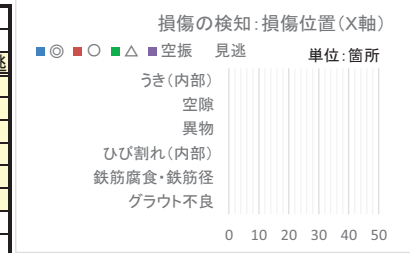
(1)損傷の検知

測定対象項目	計測結果	単位:箇所			
		合計	撤去桁		
			損傷種別		
			正解	空振	見逃
1 グラウト不良					
2 鉄筋腐食・鉄筋径					
3 ひび割れ(内部)					
4 異物					
5 空隙					
6 うき(内部)					
合計					
計測精度比率					



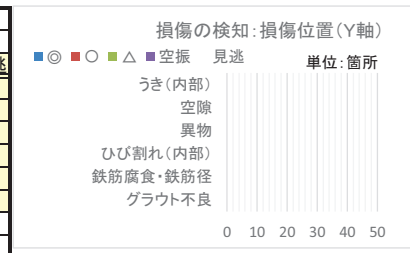
(2)計測精度

測定対象項目	計測結果	単位:箇所					
		合計	撤去桁				
			損傷位置(X軸)				
			◎	○	△	空振	見逃
1 グラウト不良							
2 鉄筋腐食・鉄筋径							
3 ひび割れ(内部)							
4 異物							
5 空隙							
6 うき(内部)							
合計							
計測精度比率							



単位:箇所

測定対象項目	計測結果	単位:箇所					
		合計	撤去桁				
			損傷位置(Y軸)				
			◎	○	△	空振	見逃
1 グラウト不良							
2 鉄筋腐食・鉄筋径							
3 ひび割れ(内部)							
4 異物							
5 空隙							
6 うき(内部)							
合計							
計測精度比率							

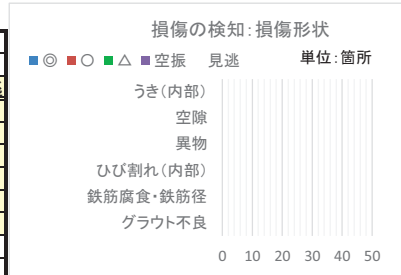


単位:箇所

測定対象項目	計測結果	単位:箇所					
		合計	撤去桁				
			損傷位置(Z軸)				
			◎	○	△	空振	見逃
1 グラウト不良							
2 鉄筋腐食・鉄筋径							
3 ひび割れ(内部)							
4 異物							
5 空隙							
6 うき(内部)							
合計							
計測精度比率							



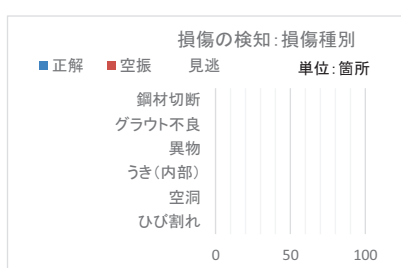
計測結果		単位:箇所					
		撤去桁					
		損傷形状					
測定対象項目	合計	◎	○	△	空振	見逃	
1) グラウト不良							
2) 鉄筋腐食・鉄筋径							
3) ひび割れ(内部)							
4) 異物							
5) 空隙							
6) うき(内部)							
合計							
計測精度比率							



②模擬損傷供試体

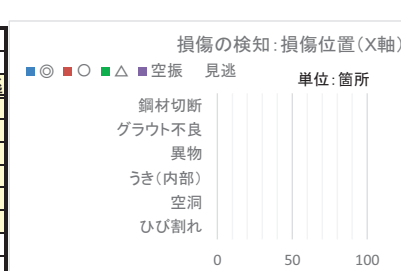
(1)損傷の検知

計測結果		単位:箇所			
		模擬損傷供試体			
		損傷種別			
測定対象項目	合計	正解	空振	見逃	
1) ひび割れ					
2) 空洞					
3) うき(内部)					
4) 異物					
5) グラウト不良					
6) 鋼材切断					
合計					
計測精度比率					

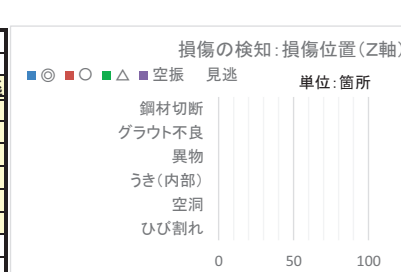


(2)計測精度

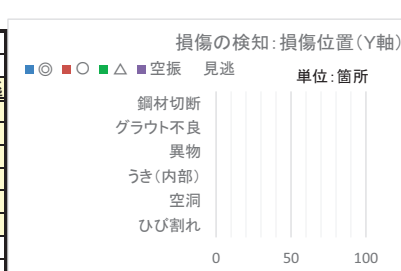
計測結果		単位:箇所					
		模擬損傷供試体					
		損傷位置(X軸)					
測定対象項目	合計	◎	○	△	空振	見逃	
1) ひび割れ							
2) 空洞							
3) うき(内部)							
4) 異物							
5) グラウト不良							
6) 鋼材切断							
合計							
計測精度比率							



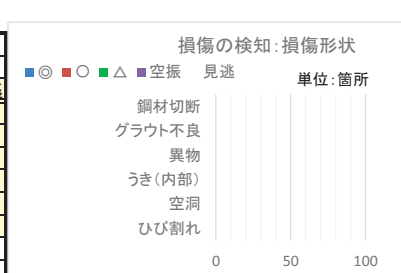
計測結果		単位:箇所					
		模擬損傷供試体					
		損傷位置(Z軸)					
測定対象項目	合計	◎	○	△	空振	見逃	
1) ひび割れ							
2) 空洞							
3) うき(内部)							
4) 異物							
5) グラウト不良							
6) 鋼材切断							
合計							
計測精度比率							



計測結果		単位:箇所					
		模擬損傷供試体					
		損傷位置(Y軸)					
測定対象項目	合計	◎	○	△	空振	見逃	
1) ひび割れ							
2) 空洞							
3) うき(内部)							
4) 異物							
5) グラウト不良							
6) 鋼材切断							
合計							
計測精度比率							



計測結果		単位:箇所					
		模擬損傷供試体					
		損傷形状					
測定対象項目	合計	◎	○	△	空振	見逃	
1) ひび割れ							
2) 空洞							
3) うき(内部)							
4) 異物							
5) グラウト不良							
6) 鋼材切断							
合計							
計測精度比率							



正解率の推移のまとめ

】

【共同研究者：

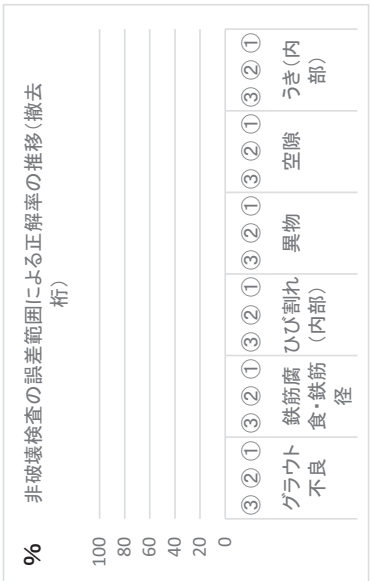
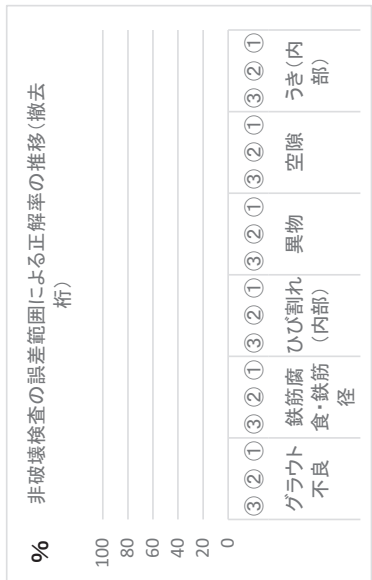
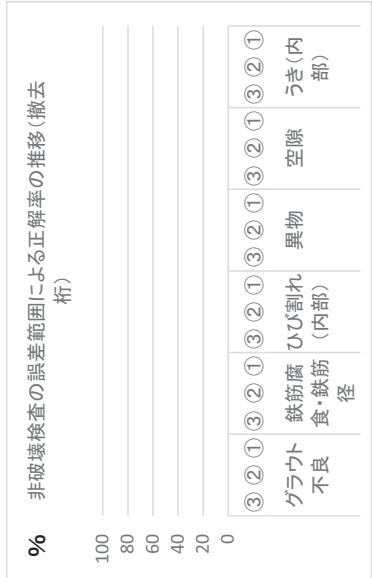
【撤去桁】

平面 (XY)

【撤去桁】

深さ (Z)

損傷形状 (A)



【模擬損傷桁】

平面 (XZ)

【模擬損傷桁】

深さ (Y)

【模擬損傷桁】

損傷形状 (A)

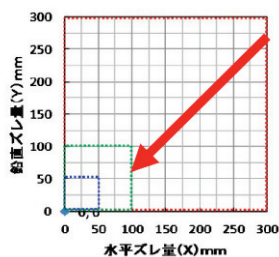


STEP1:各共同研究者毎の各損傷に対する計測結果の整理
 【共同研究者: 〃】

No.		種別	供試体番号	損傷種別								形状検知の有無	形状検知の誤差
				損傷種別	形状	損傷の大きさ (mm)	損傷検知有 無	損傷位置(X)	損傷位置(Y)	損傷位置(Z)			
A401(RT3)		撤去桁	A-4	グラウト不良									
A402(RT12)													
A403(RT13)													
A404(a)(RT17)				グラウト不良、鉄筋径									
A404(b)(RT17)													
A405(RT18)				鉄筋腐食、鉄筋径									
A406(RT19)													
A407(RT5)				グラウト不良									
A408(RT4)													
A409(RT14)				内部ひび割れ									
A410(RT21)													
A411(RT22)													
A412(RT20)				グラウト不良									
A417(1-14B)				グラウト不良									
A421(1-16A)				異物									
A427(2-03D)													
A429(2-04D)				グラウト不良									
A430(2-05C)													
A439(CR-1)				グラウト不良									
A440(a)(CR-1A)													
A440(b)(CR-1A)				グラウト不良・異物									
A601(RT2)			A-6	グラウト不良									
A602(RT1)				空隙									
A603(RT10)													
A604(a)(RT8)				内部ひび割れ									
A604(b)(RT8)													
A604(c)(RT8)													
A605(RT9)													
A606(RT11)				うき(内部)									
A607(RT7)				内部ひび割れ									
A608(RT6)													
A609(RT15)				グラウト不良									
A610(RT16)													
A612(D)				グラウト不良									
A619(4-2U)				グラウト不良									
A633(6-3)				グラウト不良									
A636(6-A1)													
A637(6-A2)													
A638(6-A3)													
A639(6-B0)													
A441(CR-3A)													
B426			E-1	ひび割れ (幅と深さ変更)									
B427													
B428													
B523													
B524			D-1										
B102													
B103													
B104													
B202			D-2										
B204													
B205													
B207													
B208			D-3										
B209													
B301													
B302													
B303			E-1										
B304													
B305													
B306													
B307			D-2	空洞 (位置、形状、大きさ変更)									
B409													
B410													
B411													
B412			E-1										
B413													
B414													
B415													
B416			D-2										
B507													
B508													
B509													
B510			E-1										
B511													
B512													
B201					E-1								
B203													
B401													
B402													
B403			E-1										
B404													
B407													
B408													
B501			E-1										
B502													
B503													
B504													
B505			E-1										
B506													
B514													
B515					E-1								
B516													
B419													
B418													
B513			E-1										
B417													

B105	H25模擬 損傷桁	D-1								
B106		D-2								
B210		D-3								
B211										
B313										
B314										
B308										
B309		D-3								
B310										
B311										
B101		D-1								
B206		D-2								
B405			空洞 (シース、鉄筋、貫通 パターン)							
B406		E-1								
B502										
B505										
B425		E-1	ジャンカ							
B522										
B109		D-1	うき							
B214		D-2								
B315		D-3								
B316										
B108		D-1								
B213		D-2								
B318		D-3								
B421										
B424		E-1								
B519										
B520										
B107		D-1								
B212		D-2								
B317		D-3								
B420										
B422										
B423		E-1								
B517										
B518										
B521										
B117		D-1	異物の混入							
B118		D-2								
B219		E-1								
B534		D-2								
B218		E-1								
B436										
B110		D-1	PC鋼線 (グラウト充填率 模擬)							
B112										
B124		D-2								
B126										
B223		D-3								
B225										
B319										
B322		D-1								
B334		D-2								
B337										
B125		D-3								
B222										
B320										
B323										
B335										
B336										
B112		D-1	鋼材破断							
B113		D-2								
B114		D-3								
B127										
B226										
B319										
B323										

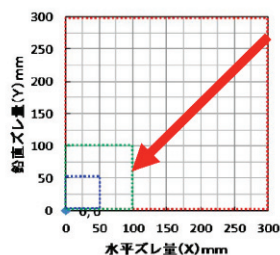
STEP2: 各損傷に対する計測結果の整理(STEP1)から誤差の範囲が狭くなった場合の正解率の推移分析
 【共同研究者: 〃】



(エリア③:300mm → エリア②:100mm → エリア①:50mm)

鉛直ズレ量 (撤去桁:Y軸、 模擬損傷:Z軸)	0	50	100	300
(○、△エリア)	(○、△エリア)	(○、△エリア)	(△、△エリア)	
(○、△エリア)	(○、△エリア)	(○、△エリア)	(△、△エリア)	
(○、△エリア)	(○、△エリア)	(○、△エリア)	(△、△エリア)	
(○、△エリア)	(○、△エリア)	(○、△エリア)	(△、△エリア)	
(○、○エリア)	(○、○エリア)	(○、○エリア)	(△、○エリア)	
(○、○エリア)	(○、○エリア)	(○、○エリア)	(△、○エリア)	
(○、○エリア)	(○、○エリア)	(○、○エリア)	(△、○エリア)	
水平ズレ量 (撤去桁・模擬損傷桁:X軸)				

種別	供試体番号	損傷種別									
		損傷種別	エリア	組合せ		損傷位置(X)	損傷位置(Y)	各エリア小計	エリア合計	各エリアの検知率(%)	
		【全体】	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
			①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
			①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= 3 のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
		【内訳③】内部ひびわれ(気泡)	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
			①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
			①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
		【内訳④】異物	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
			①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
			①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
		【内訳⑤】空隙	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
			①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
			①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
		【内訳⑥】うき(内部)	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
			①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	
			①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0	
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0	
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)	○	○			0	0	0.0	
			合計(①+②+③)	○	○	(総数ΣN= のうち)		0	0	(③:0%→②:0%→①:0%)	



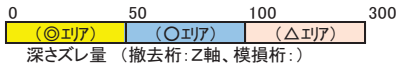
(エリア③:300mm → エリア②:100mm → エリア①:50mm)

鉛直ズレ量 (撤去桁:Y軸、 模擬損傷桁:Z軸)	0	50	100	300
0	(○、△エリア)	(○、△エリア)	(△、△エリア)	
50	(○、△エリア)	(○、△エリア)	(△、△エリア)	
100	(○、△エリア)	(○、△エリア)	(△、△エリア)	
300	(○、△エリア)	(○、△エリア)	(△、△エリア)	
	(○、○エリア)	(○、○エリア)	(△、○エリア)	
	(○、○エリア)	(○、○エリア)	(△、○エリア)	
	(○、○エリア)	(○、○エリア)	(△、○エリア)	
水平ズレ量 (撤去桁・模擬損傷桁:X軸)	0	50	100	300

種別	供試体番号	損傷種別	エリア	組合せ		損傷位置(X)	損傷位置(Z)	各エリア小計	エリア合計	各エリアの検知率(%)
				X	Z					
		【全体】	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	○	△			0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	123のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳①】ひび割れ(幅と深さ変更)	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	○	△			0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	5のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳②】空洞(位置、形状、大きさ変更)	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	○	△			0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	61のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳③】空洞(シーす、鉄筋、貫通パターン)	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	○	△			0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	6のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳④】ジャンカ	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	○	△			0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	2のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳⑤】うき	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	○	△			0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	20のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳⑥】異物の混入	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	○	△			0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	6のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳⑦】PC鋼線(グラウト充填率模擬)	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	○	△			0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	16のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳⑧】鋼材切断	①(50×50mm)	○	○			0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	○	○			0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	○	△			0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	7のうち		③:0→②:0→①:0	

STEP2:各損傷に対する計測結果の整理(STEP1)から誤差の範囲が狭くなった場合の正解率の推移分析
【共同研究者: 〽

(エリア③:300mm →エリア②:100mm →エリア①:50mm)



種別	供試体番号	損傷種別	エリア	損傷種別		-	損傷位置(Z)	各エリア小計	エリア合計	各エリアの検知率(%)
				-	Z					
		【全体】	①(50×50mm)		◎		0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○		0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)		△		0	0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	のうち		(3):0%→(2):0%→(1):0%	
		【内訳①】グラウト不良	①(50×50mm)		◎		0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○		0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)		△		0	0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	のうち		(3):0%→(2):0%→(1):0%	
		【内訳②】鉄筋腐食、鉄筋径	①(50×50mm)		◎		0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○		0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)		△		0	0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	のうち		(3):0%→(2):0%→(1):0%	
		【内訳③】内部ひびわれ(気泡)	①(50×50mm)		◎		0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○		0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)		△		0	0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	のうち		(3):0%→(2):0%→(1):0%	
		【内訳④】異物	①(50×50mm)		◎		0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○		0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)		△		0	0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	のうち		(3):0%→(2):0%→(1):0%	
		【内訳⑤】空隙	①(50×50mm)		◎		0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○		0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)		△		0	0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	のうち		(3):0%→(2):0%→(1):0%	
		【内訳⑥】うき(内部)	①(50×50mm)		◎		0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○		0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)		△		0	0	0	0.0
			合計((1)+(2)+(3))			(総数ΣN=	のうち		(3):0%→(2):0%→(1):0%	

(エリア③:300mm →エリア②:100mm →エリア①:50mm)



種別	供試体番号	損傷種別	エリア	損傷種別		組合せ	-	損傷位置(Y)	各エリア小計	エリア合計	各エリアの検知率(%)
				-	Y						
		【全体】	①(50×50mm)		◎			0	0	0	0.0
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)		○			0	0	0	0.0
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)		△			0	0	0	0.0
			合計(①+②+③)				(総数ΣN=	123のうち		③:0%→②:0%→①:0%	
		【内訳①】ひび割れ(幅と深さ変更)	①(50×50mm)		◎			0	0	0	0.0
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)		○			0	0	0	0.0
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)		△			0	0	0	0.0
			合計(①+②+③)				(総数ΣN=	5のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳②】空洞(位置、形状、大きさ変更)	①(50×50mm)		◎			0	0	0	0.0
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)		○			0	0	0	0.0
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)		△			0	0	0	0.0
			合計(①+②+③)				(総数ΣN=	61のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳③】空洞(シー、鉄筋、貫通パターン)	①(50×50mm)		◎			0	0	0	0.0
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)		○			0	0	0	0.0
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)		△			0	0	0	0.0
			合計(①+②+③)				(総数ΣN=	6のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳④】ジャンカ	①(50×50mm)		◎			0	0	0	0.0
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)		○			0	0	0	0.0
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)		△			0	0	0	0.0
			合計(①+②+③)				(総数ΣN=	2のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳⑤】うき	①(50×50mm)		◎			0	0	0	0.0
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)		○			0	0	0	0.0
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)		△			0	0	0	0.0
			合計(①+②+③)				(総数ΣN=	20のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳⑥】異物の混入	①(50×50mm)		◎			0	0	0	0.0
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)		○			0	0	0	0.0
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)		△			0	0	0	0.0
			合計(①+②+③)				(総数ΣN=	6のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳⑦】PC鋼線(グラウト充填率模擬)	①(50×50mm)		◎			0	0	0	0.0
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)		○			0	0	0	0.0
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)		△			0	0	0	0.0
			合計(①+②+③)				(総数ΣN=	16のうち		③:0→②:0→①:0	
		【内訳⑧】鋼材切断	①(50×50mm)		◎			0	0	0	0.0
			②(100×100mm) (ただし、エリア①除く)		○			0	0	0	0.0
			③(300×300mm) (ただし、エリア①、②除く)		△			0	0	0	0.0
			合計(①+②+③)				(総数ΣN=	7のうち		③:0→②:0→①:0	

STEP2:各損傷に対する計測結果の整理(STEP1)から誤差の範囲が狭くなった場合の正解率の推移分析
【共同研究者: 〃】

種別	供試体番号	損傷種別	エリア	損傷種別		形状検知誤差	各エリア小計	エリア合計	各エリアの検知率(%)
				組合せ	形状検知誤差				
		【全体】	①(50×50mm)	—	◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	—	○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	—	△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))	—	—	(総数ΣN=	のうち	(③:0%→②:0%→①:0%)	
		【内訳①】グラウト不良	①(50×50mm)	—	◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	—	○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	—	△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))	—	—	(総数ΣN=	のうち	(③:0%→②:0%→①:0%)	
		【内訳②】鉄筋腐食、鉄筋径	①(50×50mm)	—	◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	—	○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	—	△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))	—	—	(総数ΣN=	のうち	(③:0%→②:0%→①:0%)	
		【内訳③】内部ひびわれ(気泡)	①(50×50mm)	—	◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	—	○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	—	△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))	—	—	(総数ΣN=	のうち	(③:0%→②:0%→①:0%)	
		【内訳④】異物	①(50×50mm)	—	◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	—	○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	—	△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))	—	—	(総数ΣN=	のうち	(③:0%→②:0%→①:0%)	
		【内訳⑤】空隙	①(50×50mm)	—	◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	—	○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	—	△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))	—	—	(総数ΣN=	のうち	(③:0%→②:0%→①:0%)	
		【内訳⑥】うき(内部)	①(50×50mm)	—	◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)	—	○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除く)	—	△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))	—	—	(総数ΣN=	のうち	(③:0%→②:0%→①:0%)	

		【全体】	①(50×50mm)		◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除		△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))			(総数ΣN= 123 のうち)		(③:0→②:0→①:0)	
		【内訳①】ひび割れ(幅と深さ変更)	①(50×50mm)		◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除		△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))			(総数ΣN= 5 のうち)		(③:0→②:0→①:0)	
		【内訳②】空洞(位置、形状、大きさ変更)	①(50×50mm)		◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除		△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))			(総数ΣN= 61 のうち)		(③:0→②:0→①:0)	
		【内訳③】空洞(シー、鉄筋、貫通パターン)	①(50×50mm)		◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除		△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))			(総数ΣN= 6 のうち)		(③:0→②:0→①:0)	
		【内訳④】ジャンカ	①(50×50mm)		◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除		△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))			(総数ΣN= 2 のうち)		(③:0→②:0→①:0)	
		【内訳⑤】うき	①(50×50mm)		◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除		△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))			(総数ΣN= 20 のうち)		(③:0→②:0→①:0)	
		【内訳⑥】異物の混入	①(50×50mm)		◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除		△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))			(総数ΣN= 6 のうち)		(③:0→②:0→①:0)	
		【内訳⑦】PC鋼線(グラウト充填率模擬)	①(50×50mm)		◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除		△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))			(総数ΣN= 16 のうち)		(③:0→②:0→①:0)	
		【内訳⑧】鋼材切断	①(50×50mm)		◎	0	0	0	0.0
			②(100×100mm)(ただし、エリア①除く)		○	0	0	0	0.0
			③(300×300mm)(ただし、エリア①、②除		△	0	0	0	0.0
			合計((①)+(②)+(③))			(総数ΣN= 7 のうち)		(③:0→②:0→①:0)	

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM
N o.981 July 2017
土木研究所共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
N o.496 July 2017

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所
©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国土技術政策総合研究所 企画部 研究評価・推進課
〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地 電話 029-864-2675
国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 電話 029-879-6754