

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

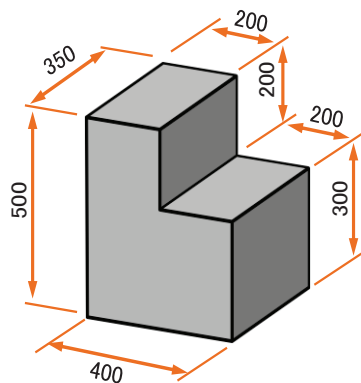


図-4.1.1 供試体の形状 (F-1～3、F-6～7)



写真-4.1.1 要素供試体 (F-1～3、F-6～7)

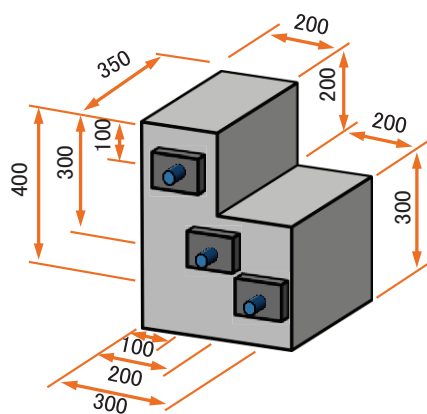


図-4.1.2 供試体の形状 (F-4~5)



写真-4.1.2 要素供試体 (F-4~5)

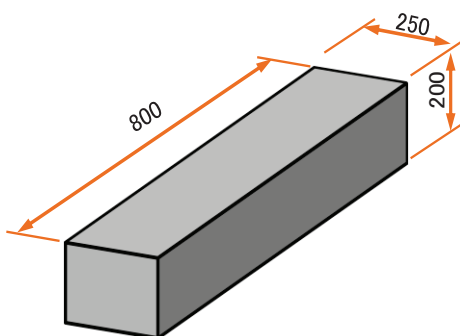


図-4.1.3 供試体の形状 (F-8)



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。

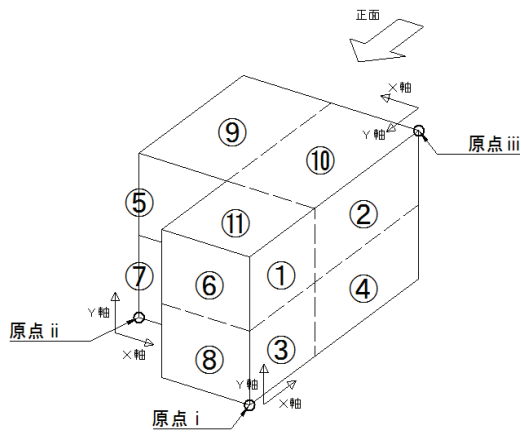


図-4.1.4 F-1～2の検査面番号
(今回の検査対象面は①②④⑤⑧⑩)

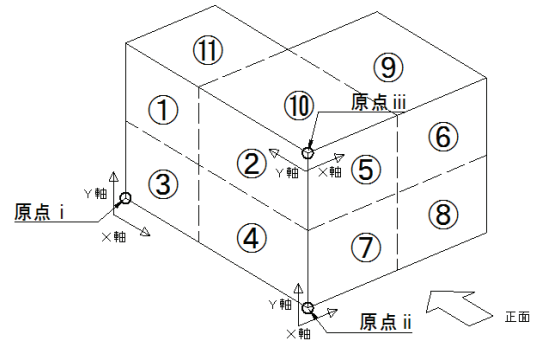


図-4.1.5 F-3の検査面番号
(今回の検査対象面は①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪)

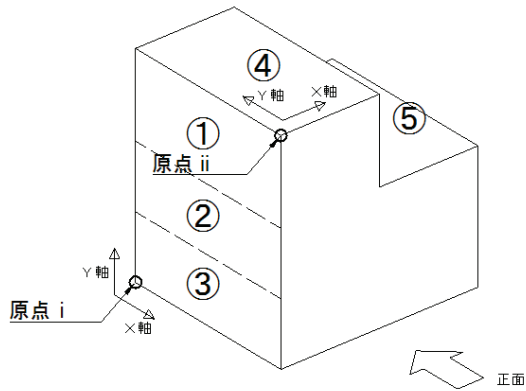


図-4.1.6 F-4～7の検査面番号
(今回の検査対象面は①②③④⑤)

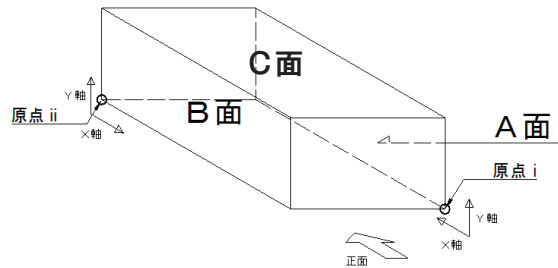


図-4.1.7 F-8の検査面記号
(A面、B面、C面)

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。

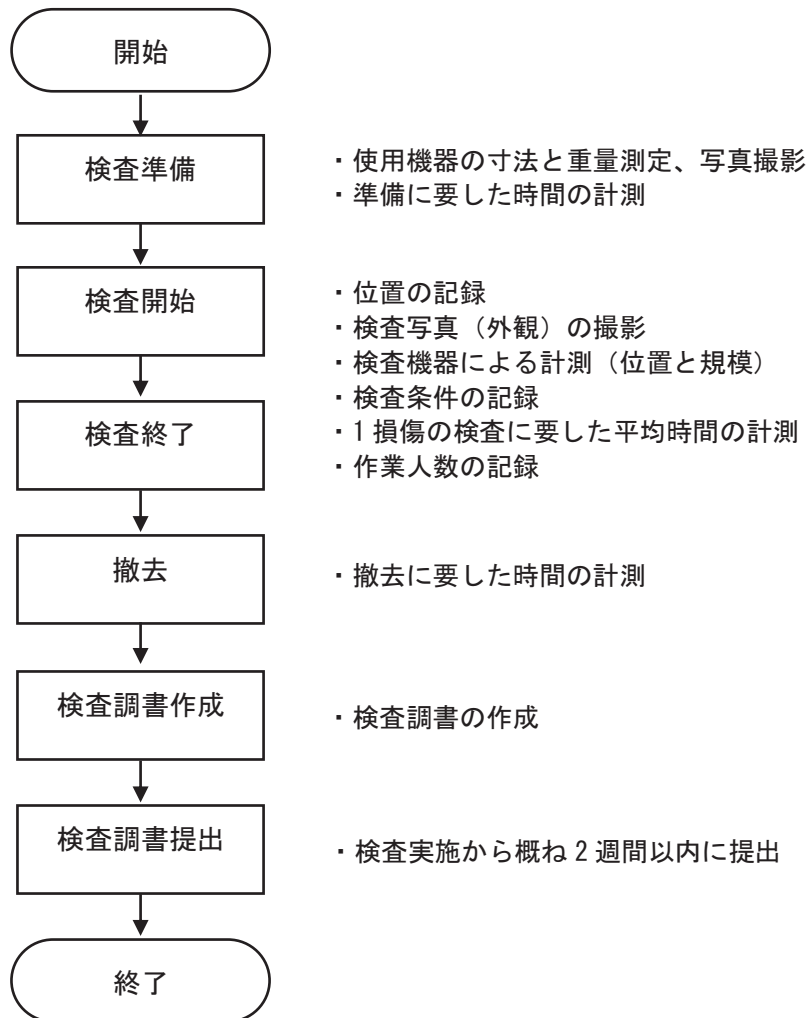


図-4.1.8 検査手順

(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。

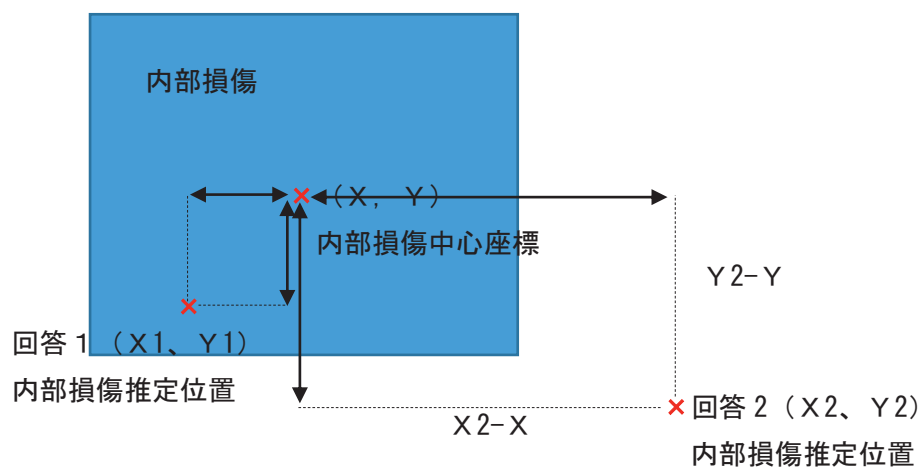
見逃率（内部損傷の種類毎）＝見逃し（⑥）／内部損傷数

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（ $X_1 - X$ 、 $Y_1 - Y$ ）

回答 2 の損傷位置の計測誤差は（ $X_2 - X$ 、 $Y_2 - Y$ ）

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 %

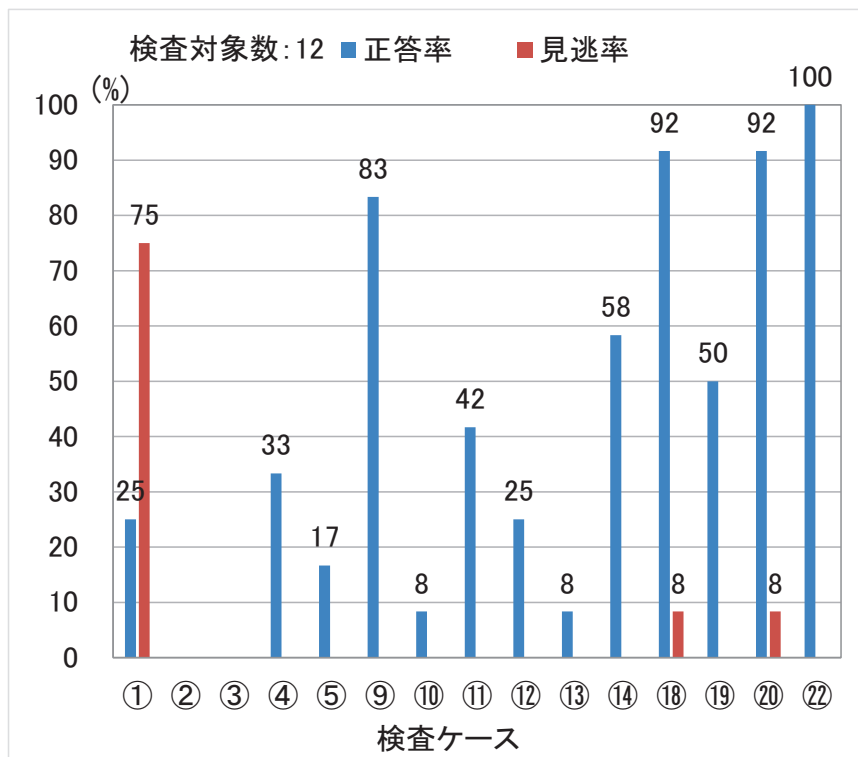


図-4.1.10 内部損傷の正答率及び見逃率（空洞）

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 %

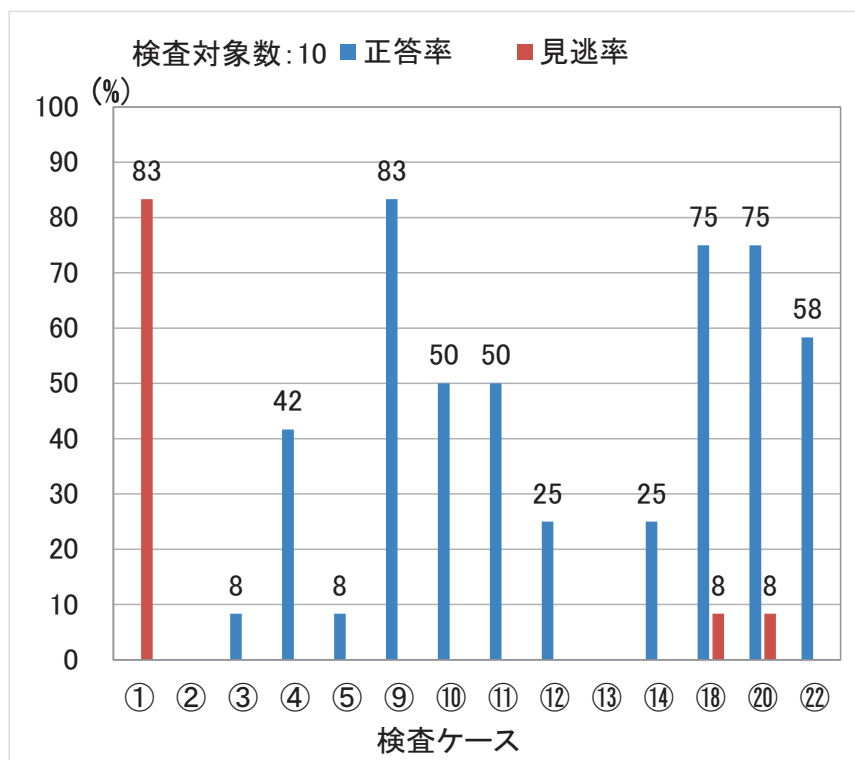


図-4.1.11 内部損傷の正答率及び見逃率（うき）

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 %

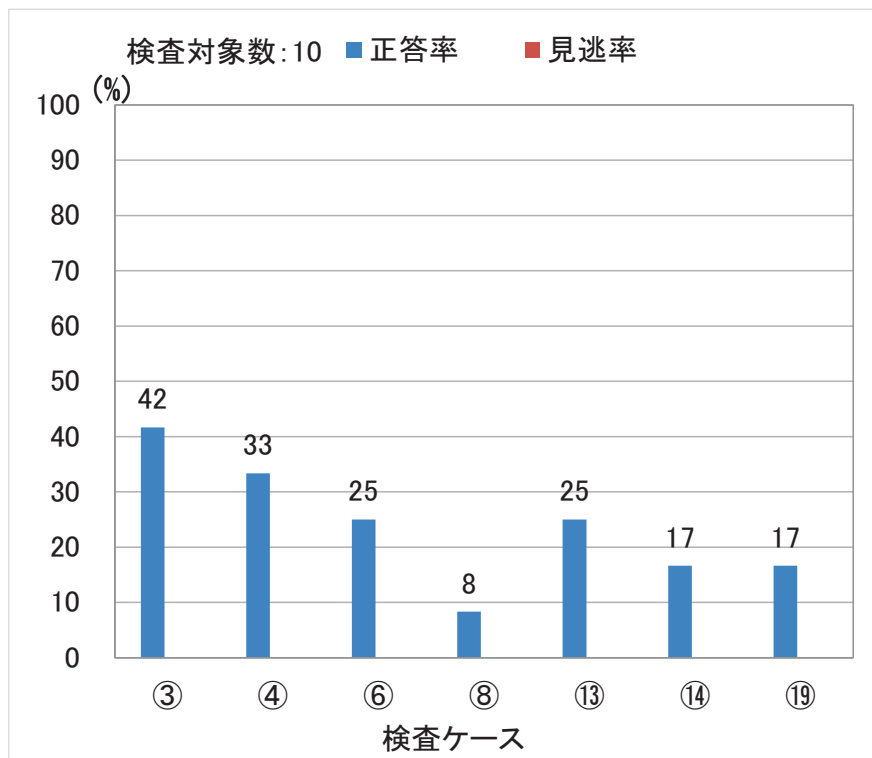


図-4.1.12 内部損傷の正答率及び見逃率（グラウト充填状態）

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 %

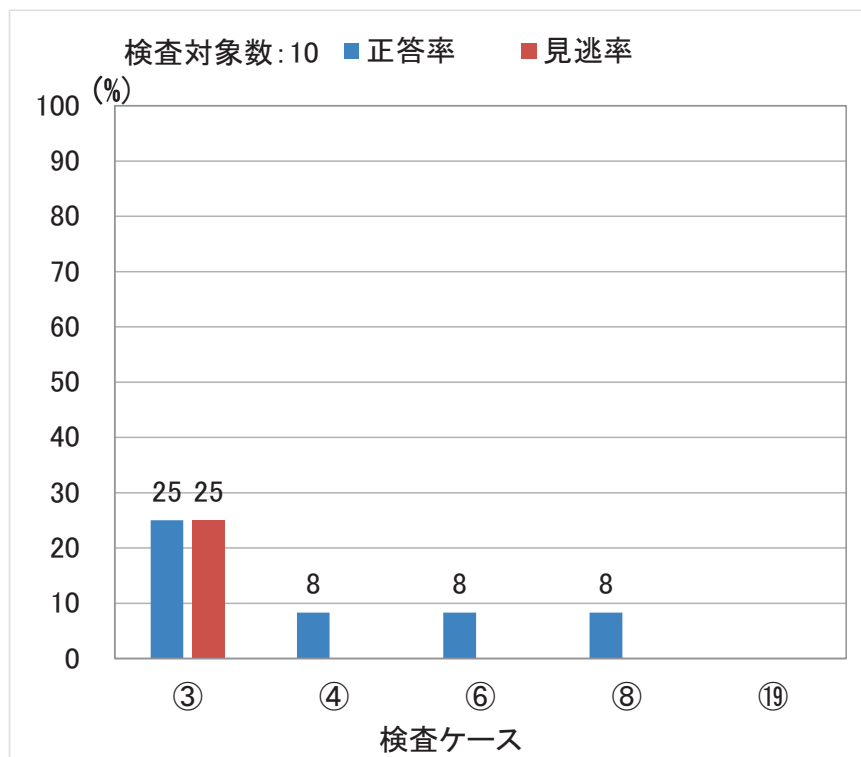


図-4.1.13 内部損傷の正答率及び見逃率（PC 鋼材の健全性）

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 %

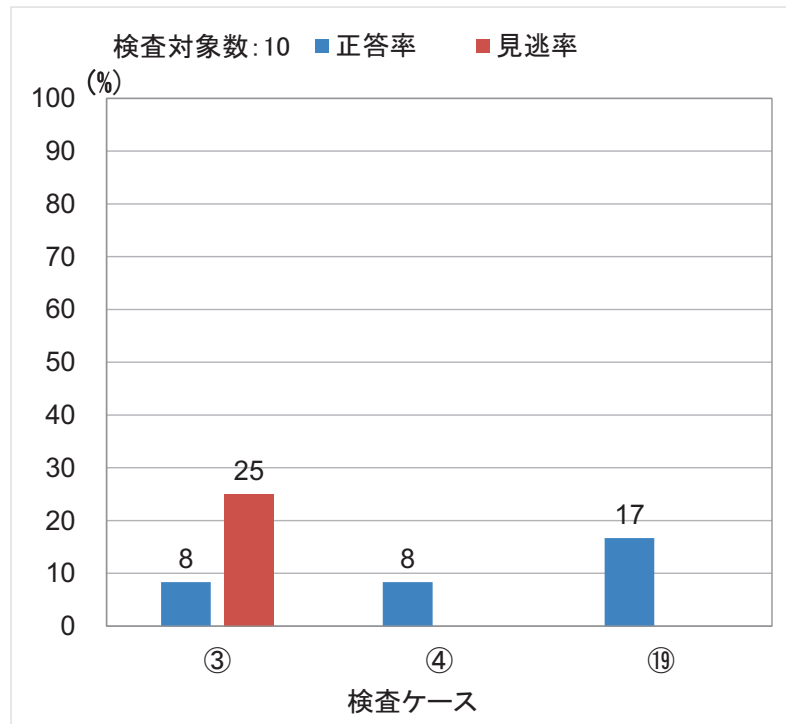


図-4.1.14 内部損傷の正答率及び見逃率（鉄筋の健全性）

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 %

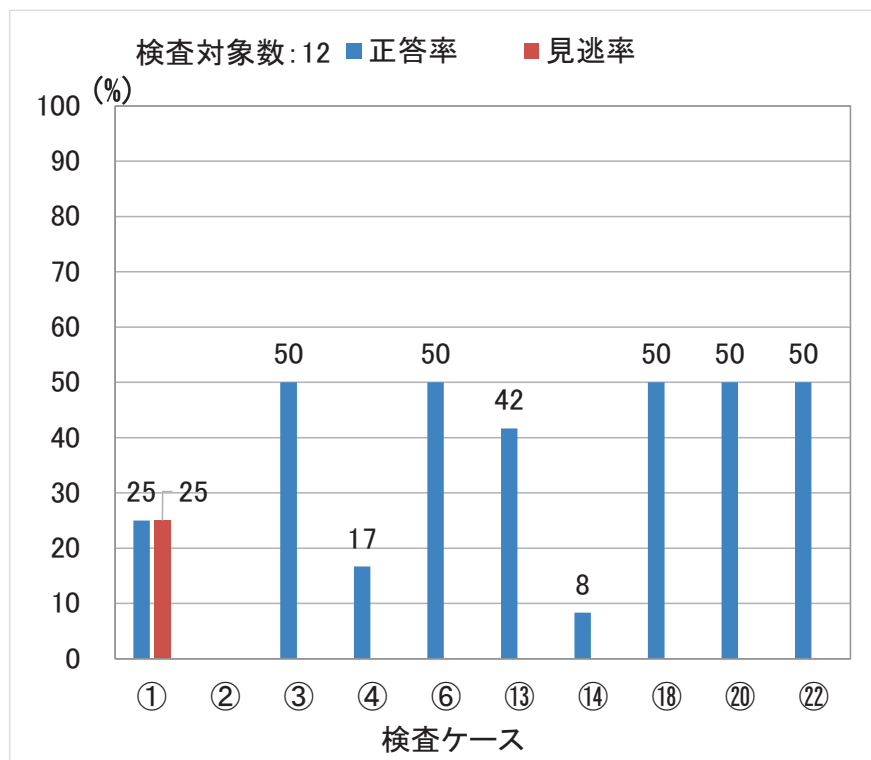


図-4.1.15 内部損傷の正答率及び見逃率（ひび割れ）

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)

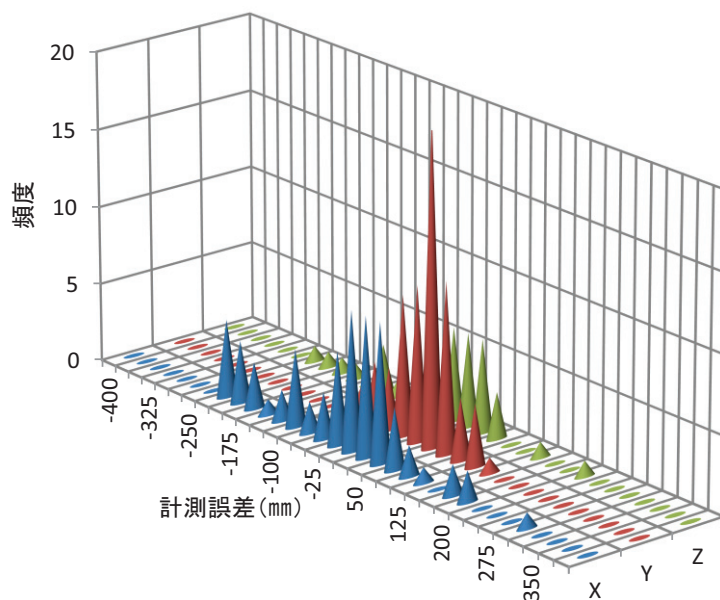
内部損傷の位置に関する検査ケースを座標値 (X、Y、Z) で整理し、要素供試体の内部損傷位置の座標と照合することで、検査精度について整理した。座標 (X、Y、Z) は検査面に対して (横方向、縦方向、深さ方向) を意味する。内部損傷の判定が「一致」であった検査ケースの計測誤差について整理した。

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。

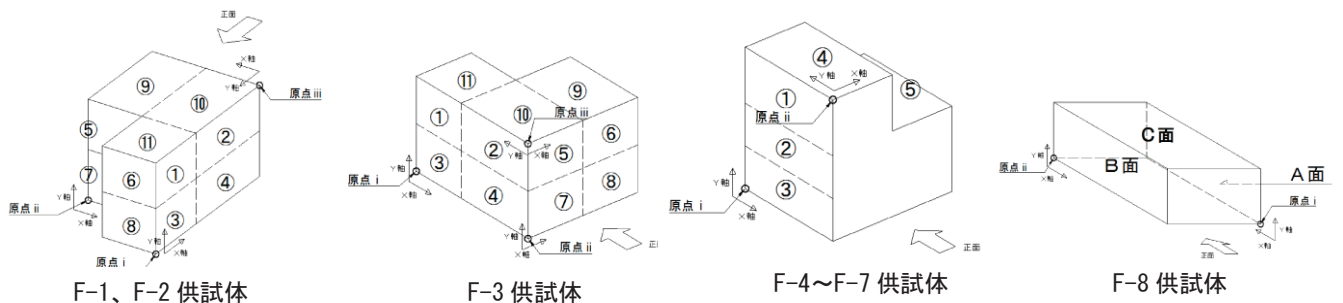
1) 空洞

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

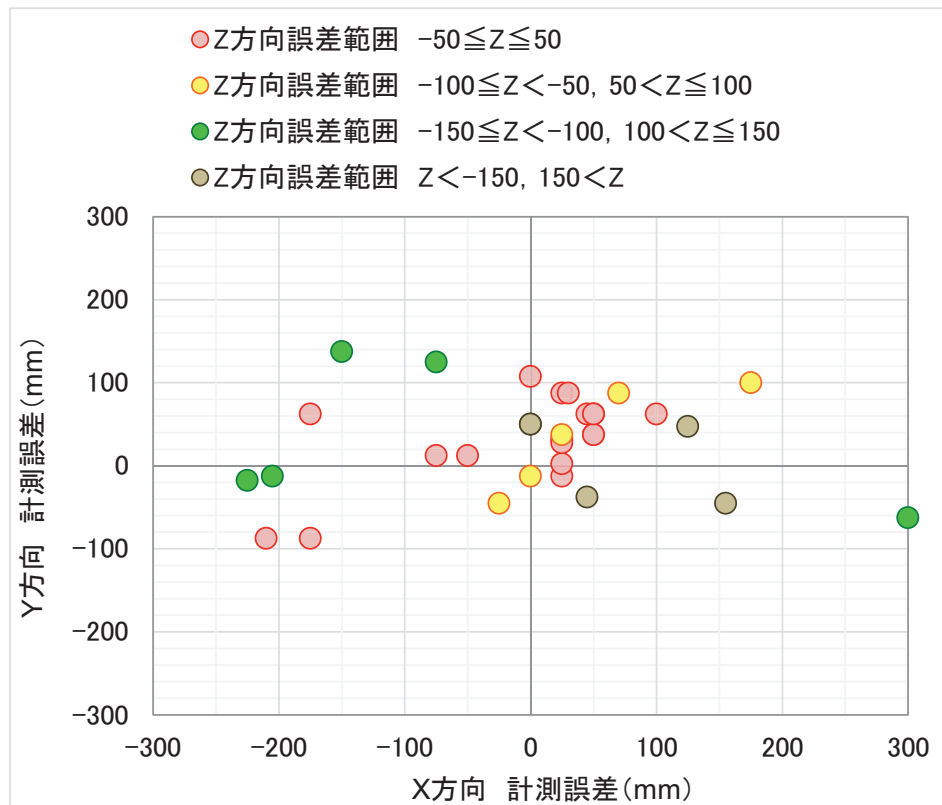


図-4.1.17 XY計測誤差分布

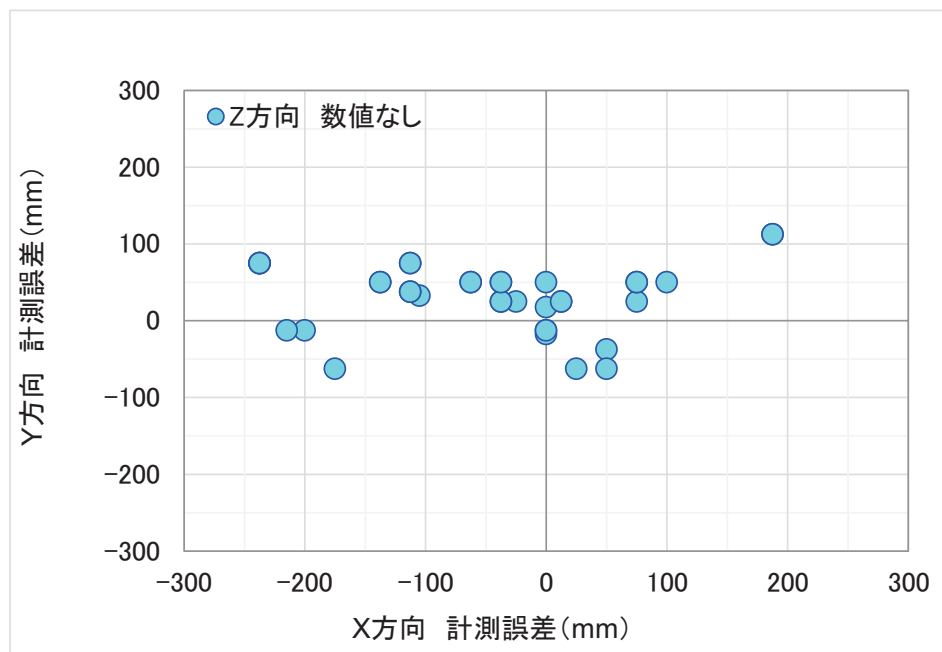
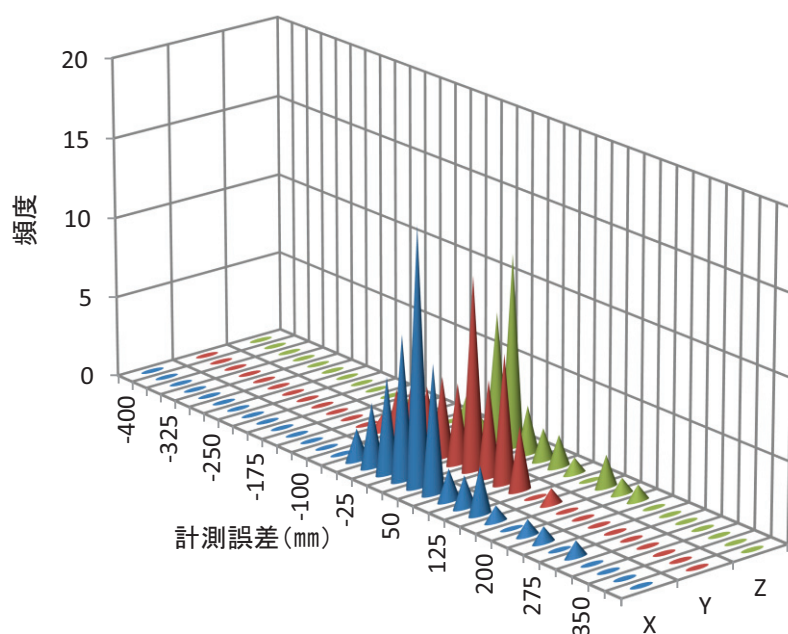


図-4.1.18 XY計測誤差分布 (Z方向の計測値なし)

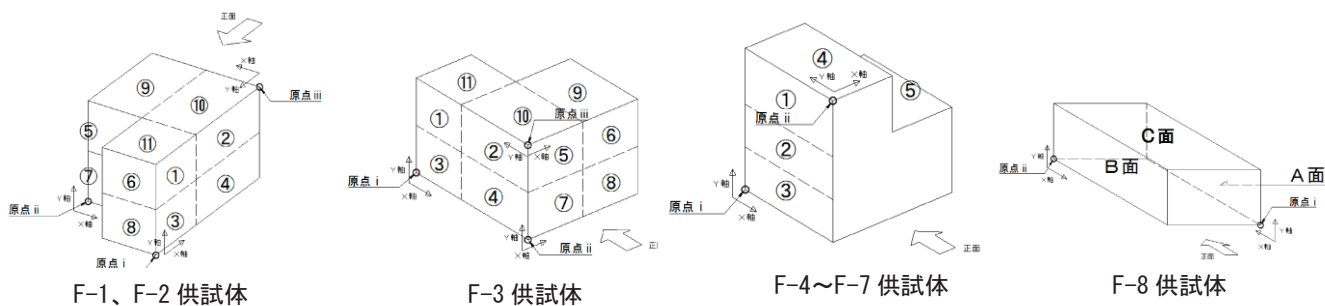
2) うき

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

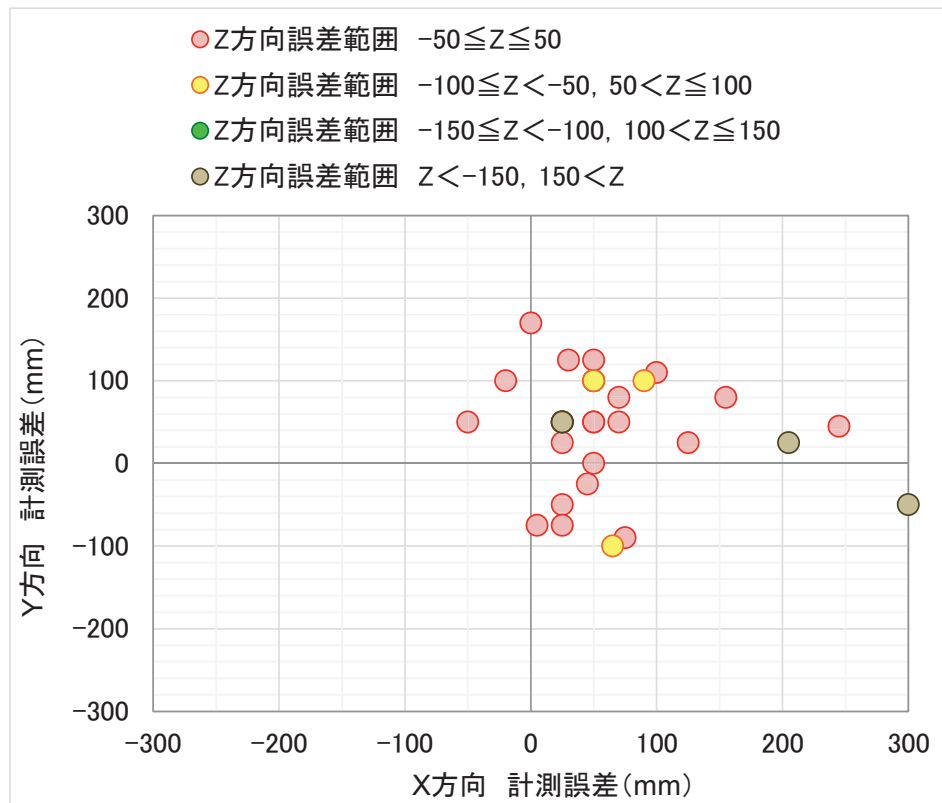


図-4.1.20 XY計測誤差分布

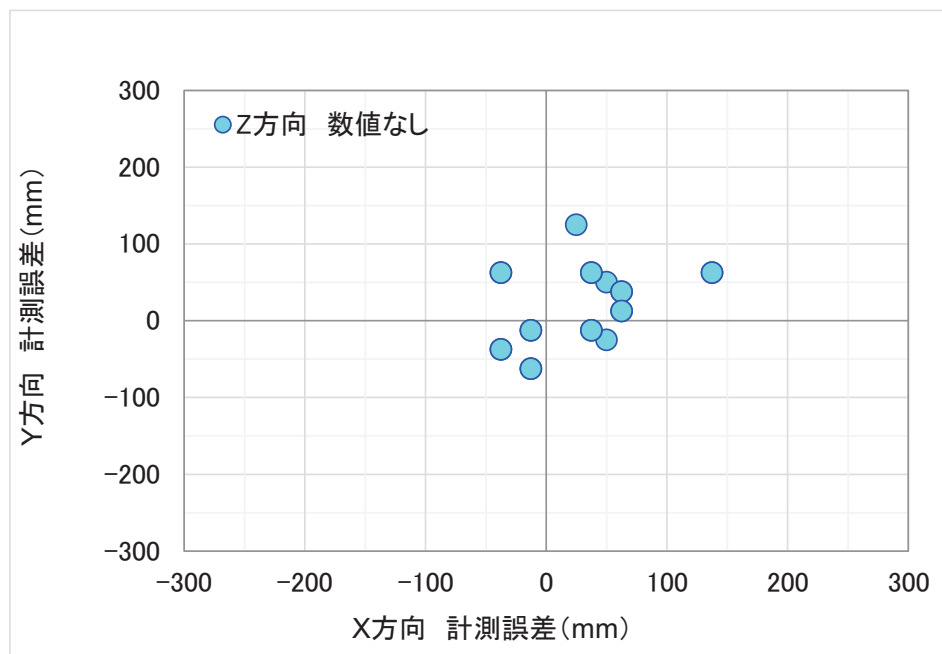
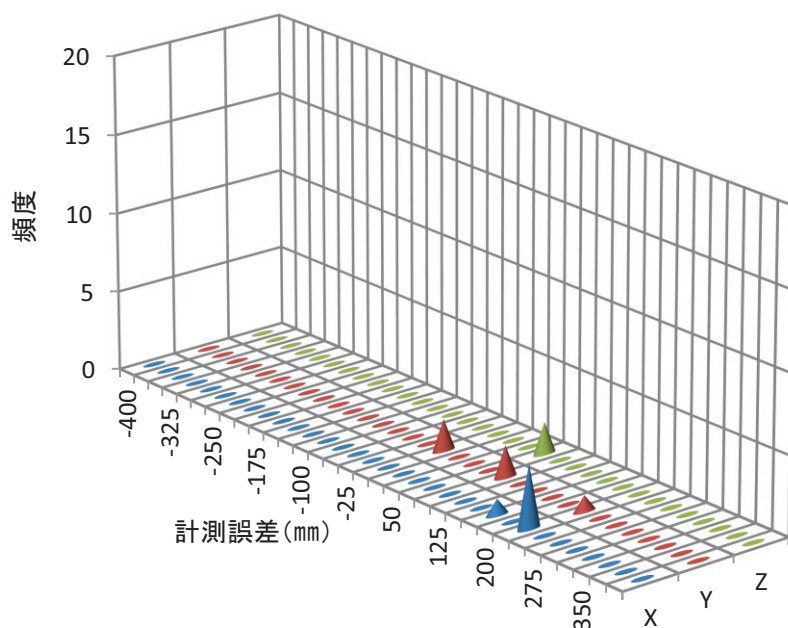


図-4.1.21 XY計測誤差分布 (Z方向の計測値なし)

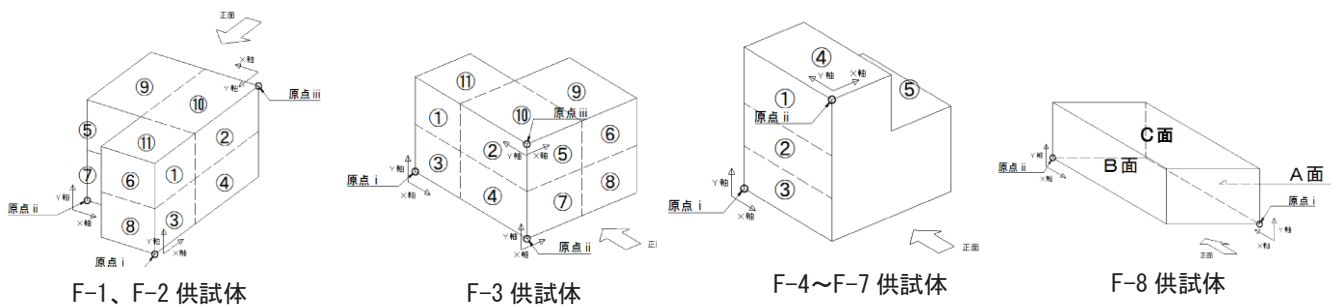
3) グラウト充填状態

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 200m 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

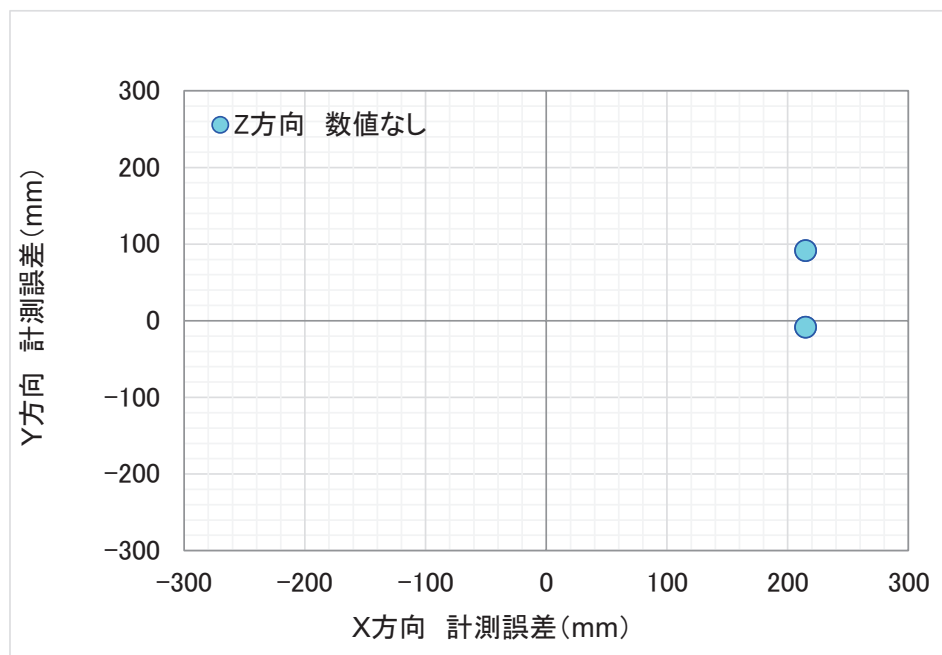


図-4.1.23 XY 計測誤差分布 (Z 方向の計測値なし)

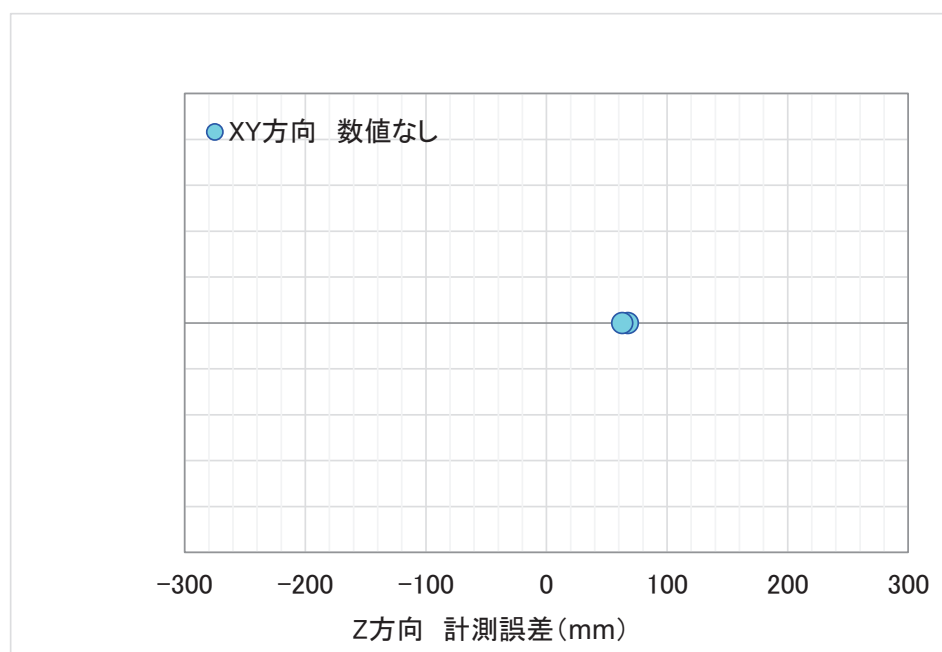
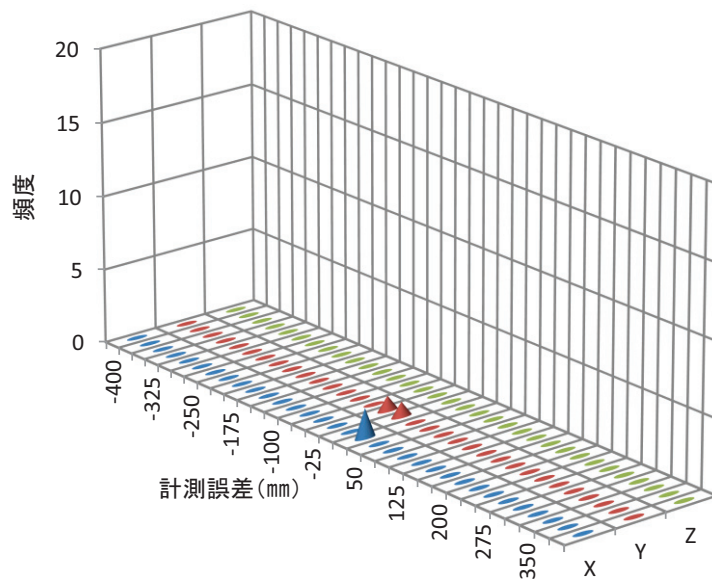


図-4.1.24 Z 計測誤差分布 (XY 方向の計測値なし)

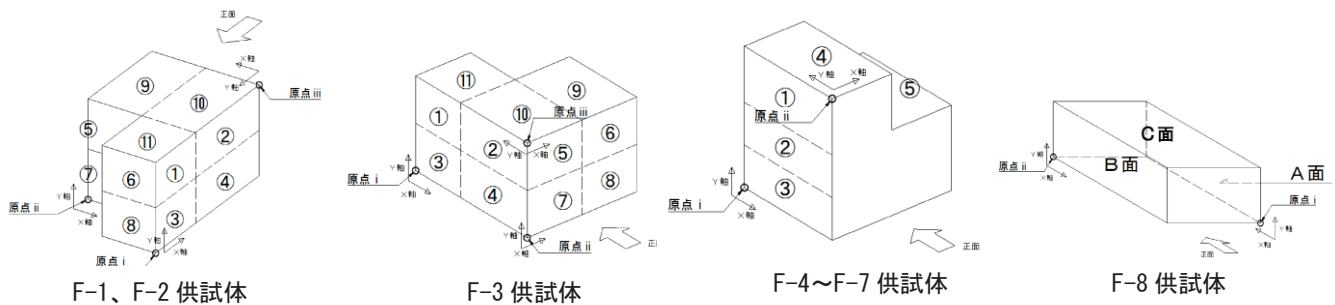
4) 鉄筋の健全性(腐食、断面欠損、破断)

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

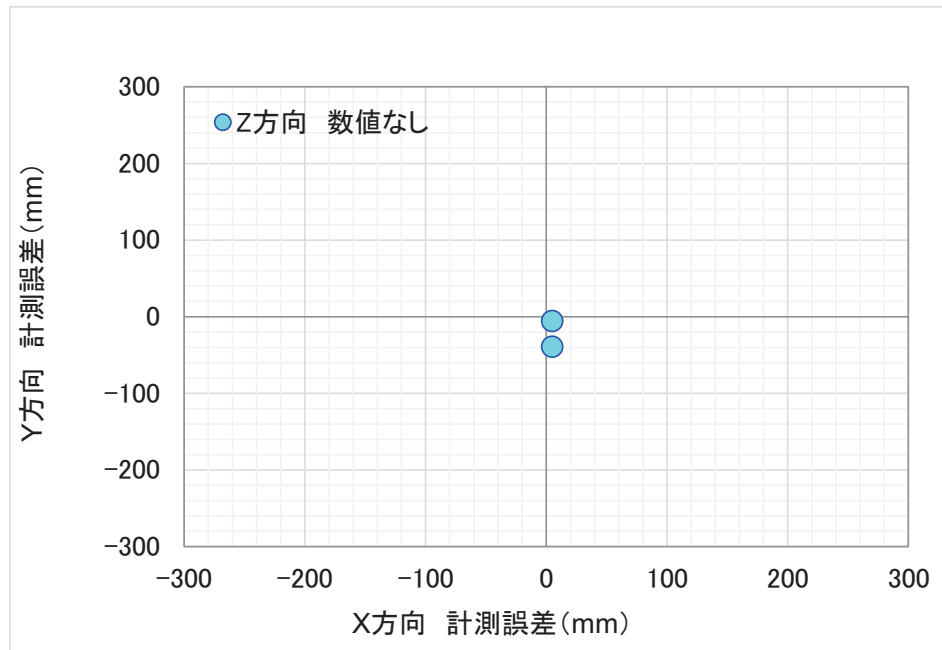
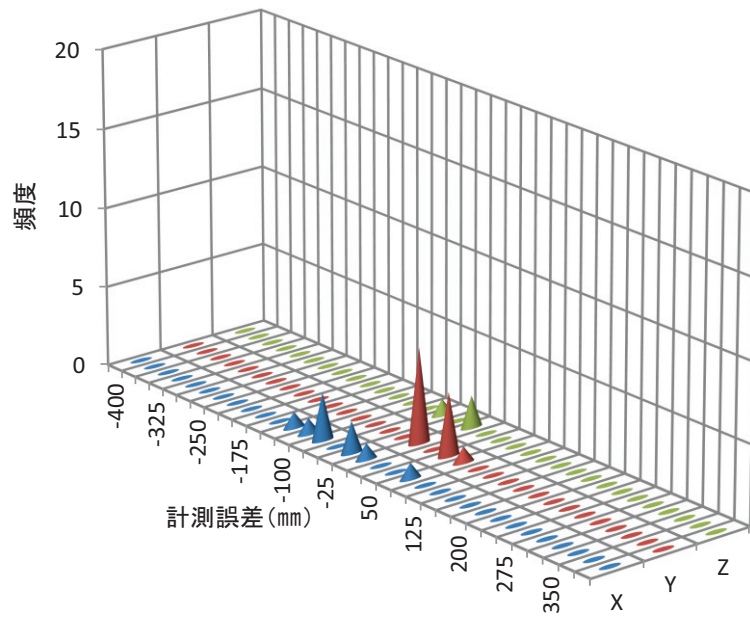


図-4.1.26 XY 計測誤差分布 (Z 方向の計測値なし)

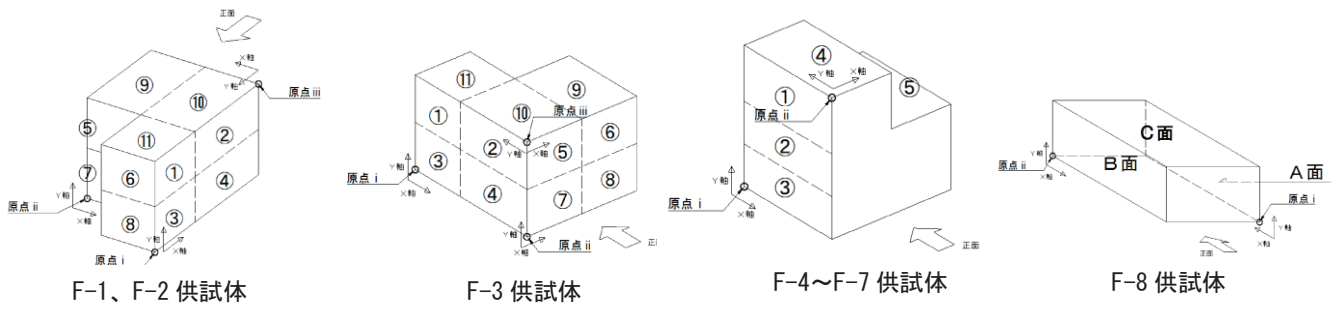
5) ひび割れ

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

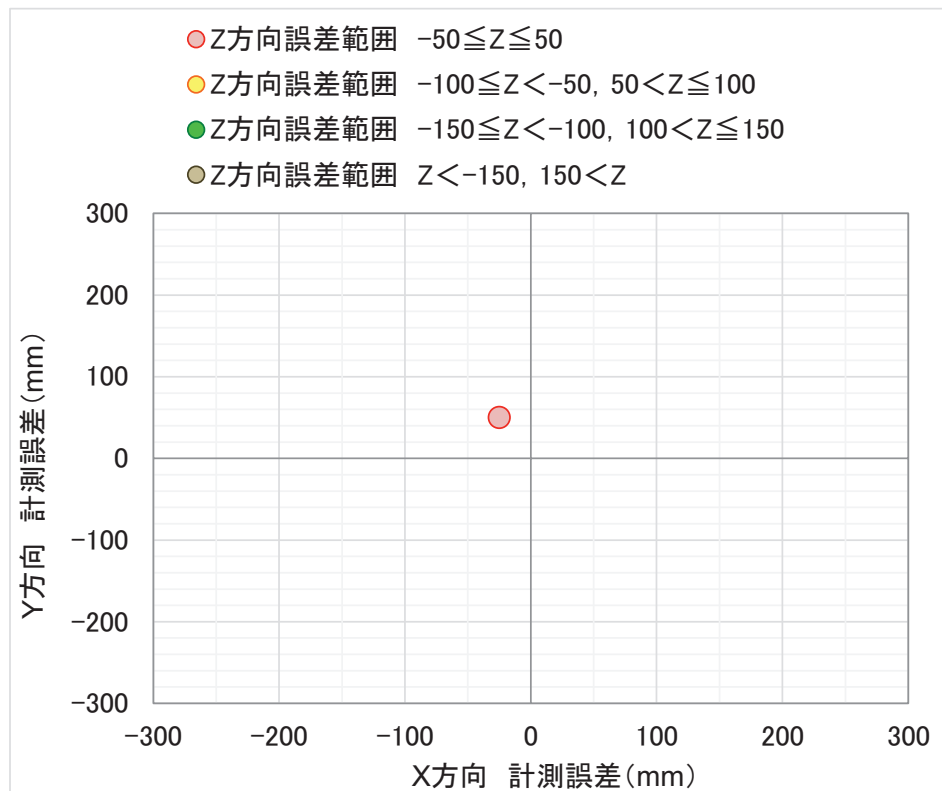


図-4.1.28 XY計測誤差分布

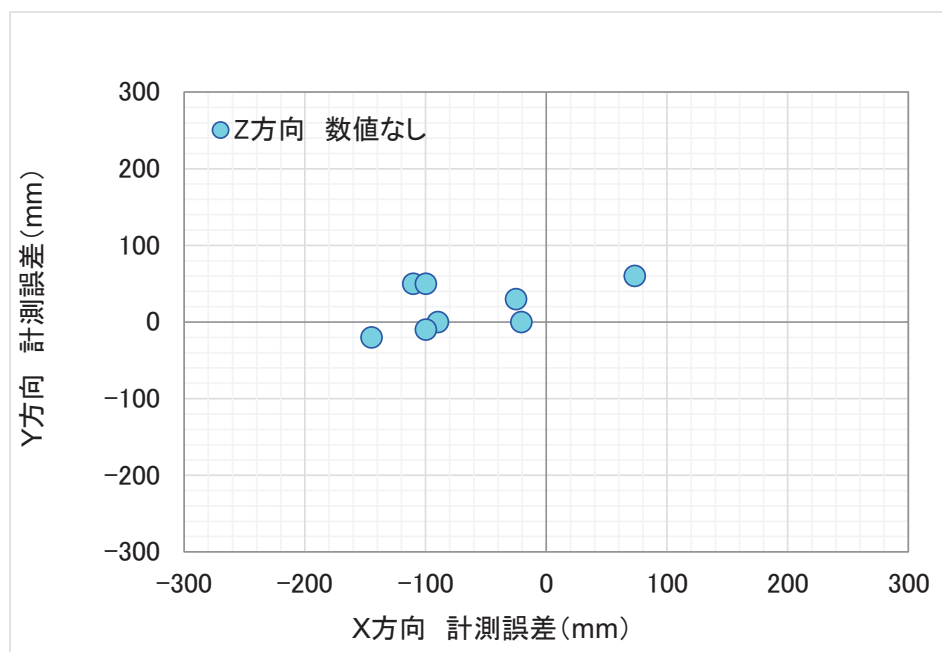


図-4.1.29 XY計測誤差分布 (Z方向の計測値なし)

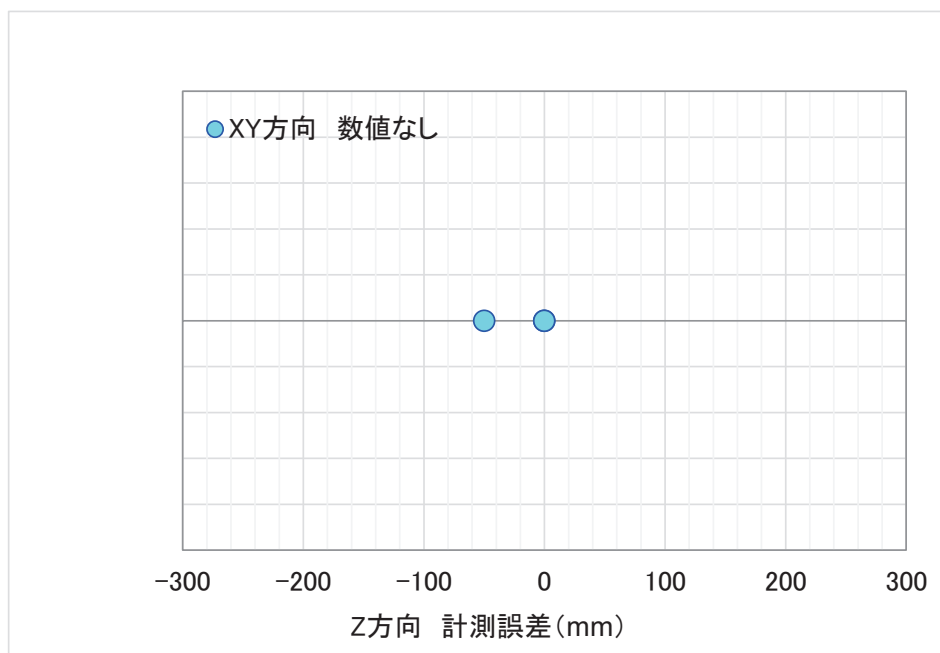


図-4.1.30 Z計測誤差分布 (XY方向の計測値なし)

(5) 内部損傷の形状 (x、y、z)

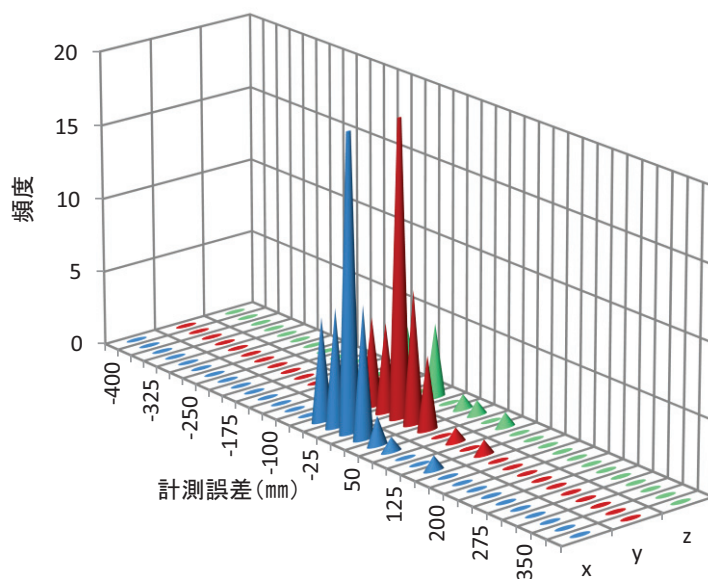
内部損傷の形状に関する検査ケースを座標値 (x、y、z) で整理し、要素供試体の内部損傷形状の座標と照合することで、検査精度について整理した。寸法値 (x、y、z) は検査面に対して横方向、縦方向、深さ方向を意味する。内部損傷の判定が「一致」であった検査ケースの計測誤差について整理した。

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±50mm 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。

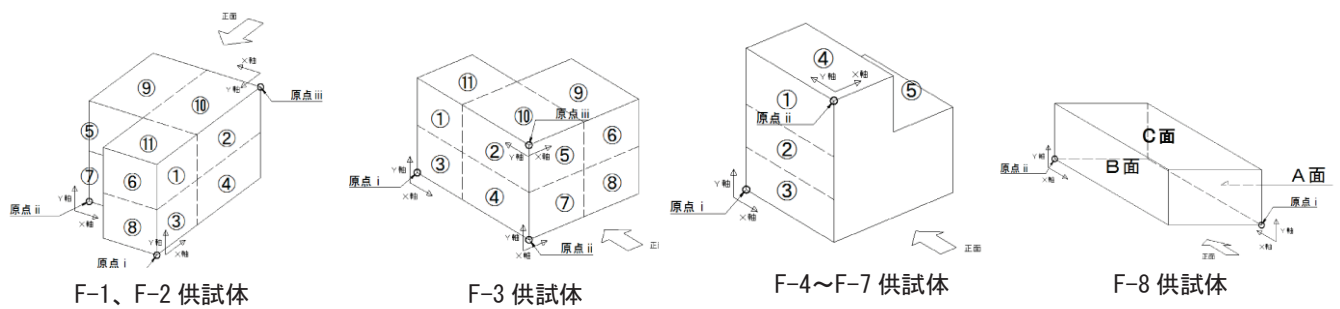
1) 空洞

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 $-100\sim 150\text{mm}$ 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 $-50\sim 50\text{mm}$ 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

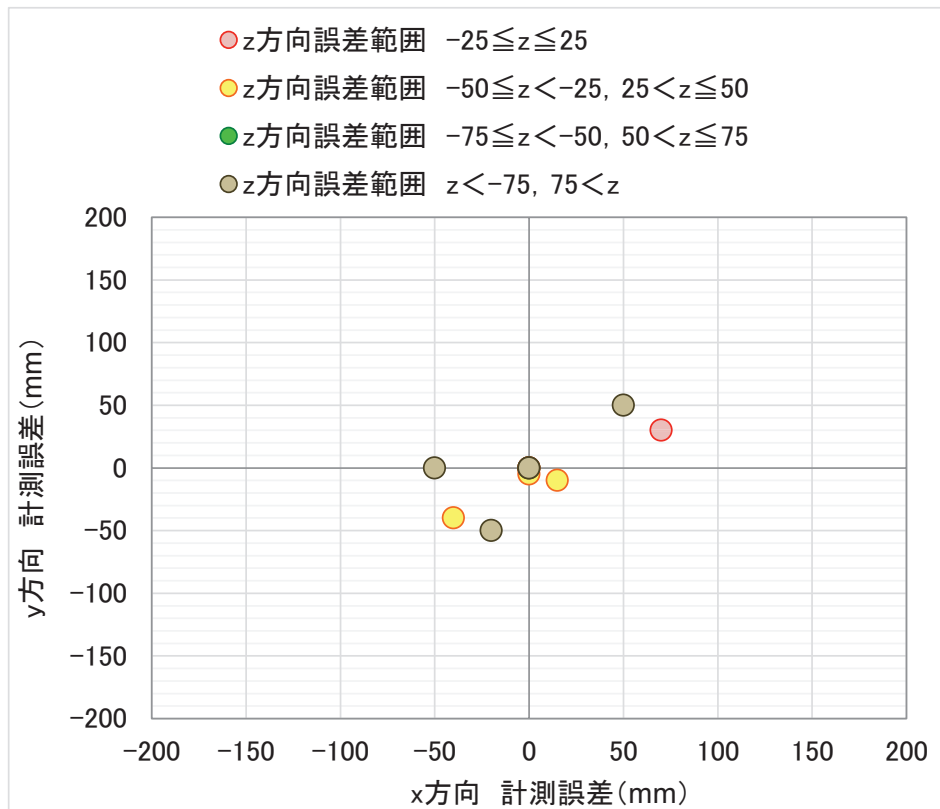


図-4.1.32 xy 計測誤差分布

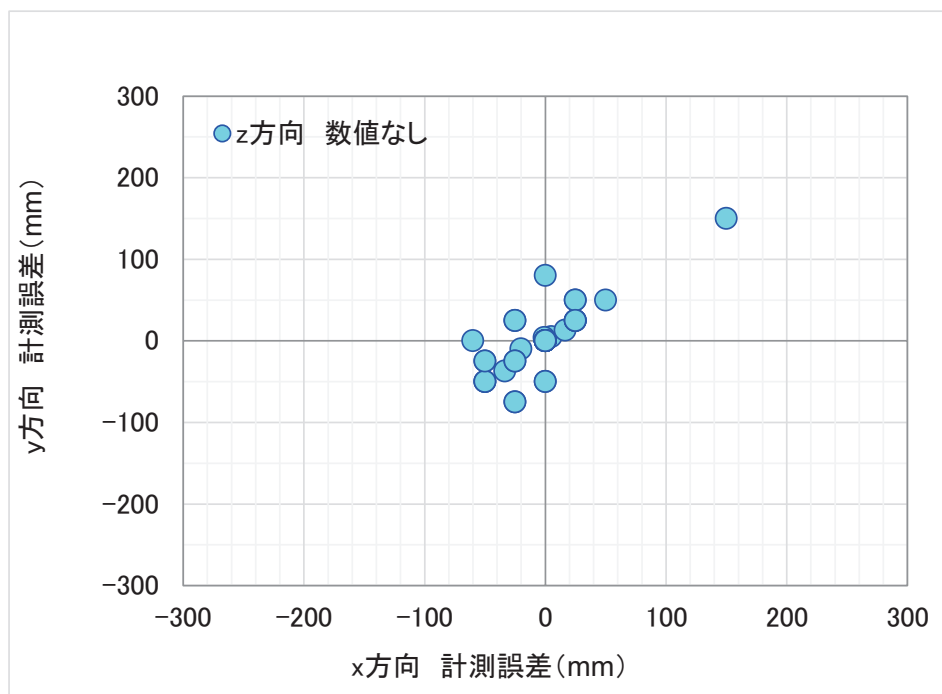
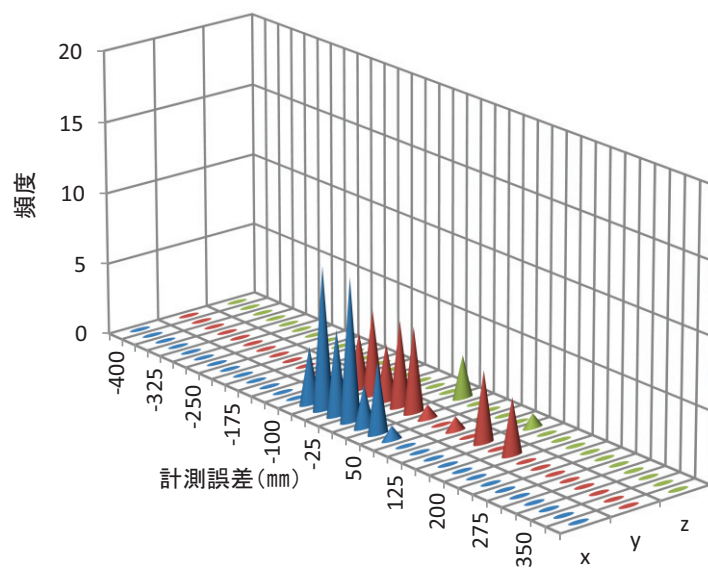


図-4.1.33 xy 計測誤差分布 (z 方向の計測値なし)

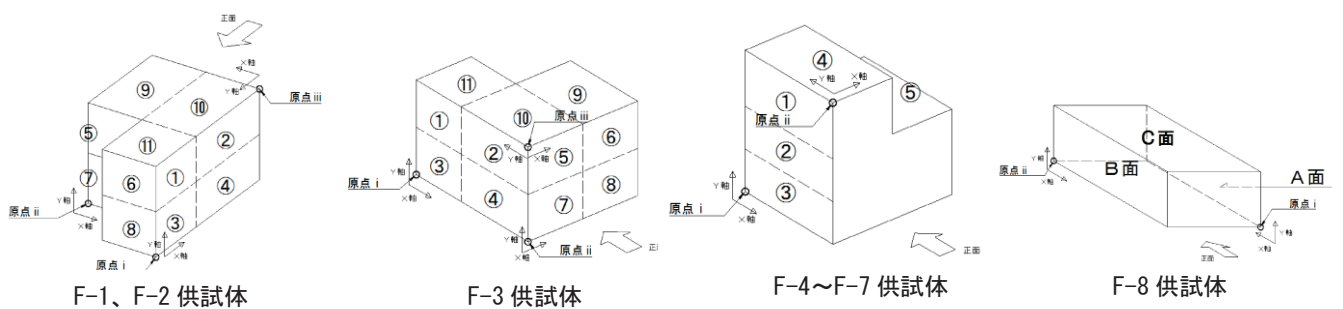
2) うき

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

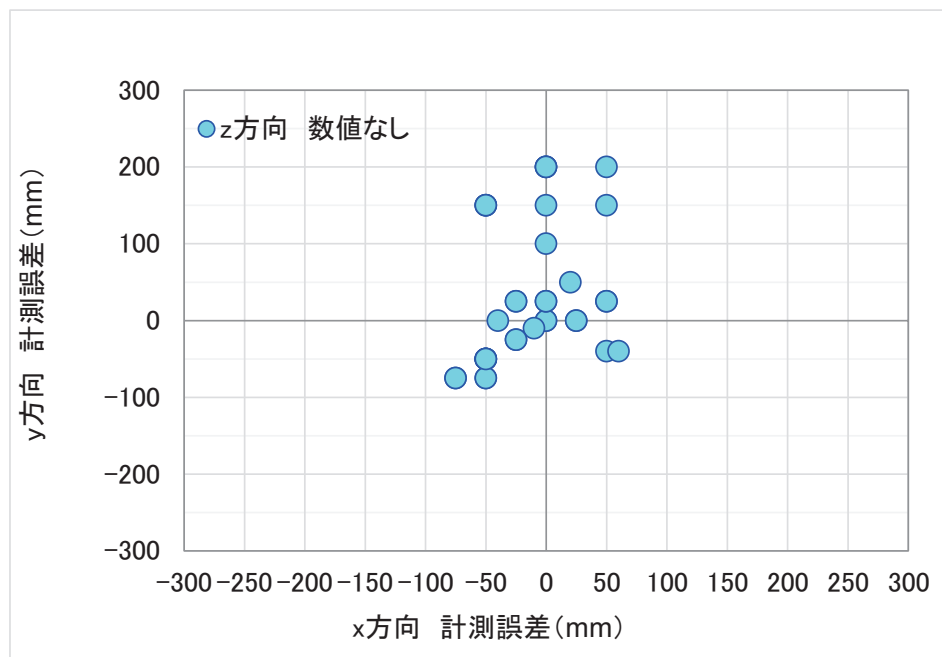
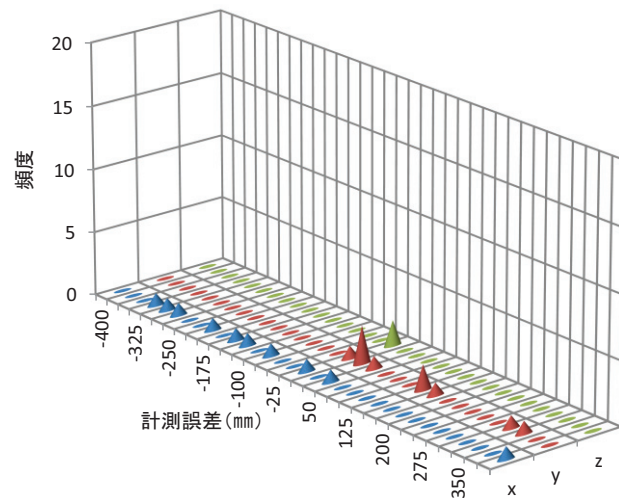


図-4.1.35 xy 計測誤差分布 (z 方向の計測値なし)

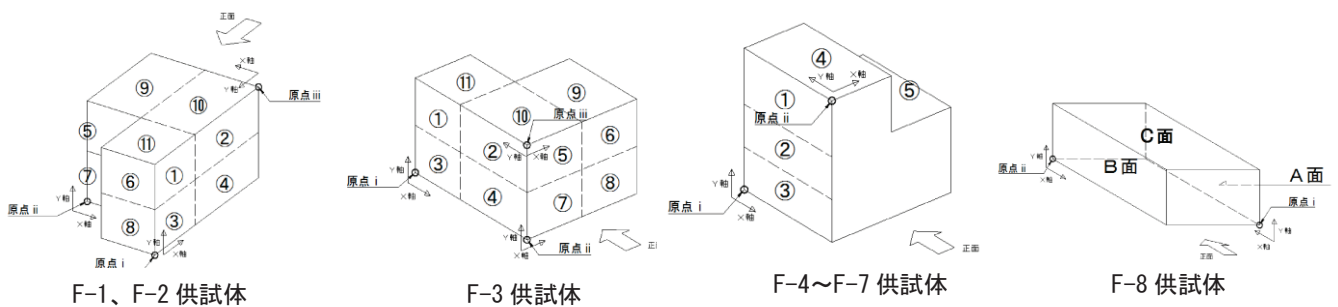
3) グラウト充填不良

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

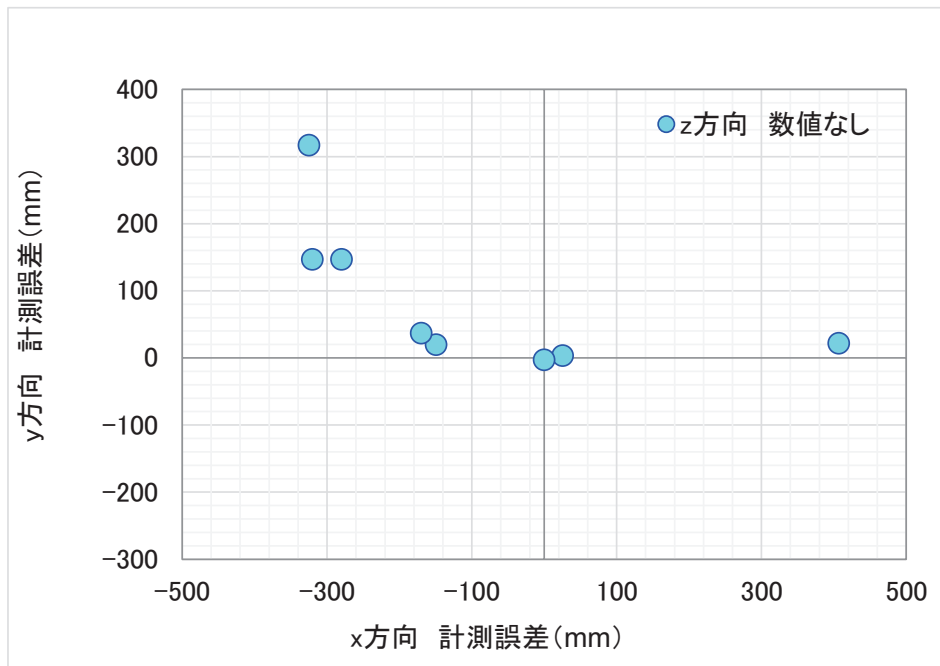


図-4.1.37 xy 計測誤差分布 (z 方向の計測値なし)

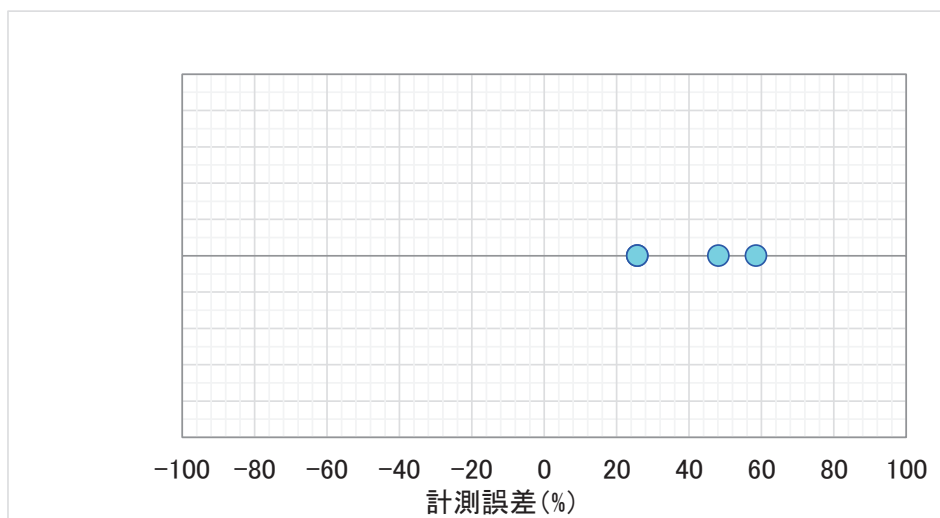


図-4.1.38 グラウト充填率の計測誤差分布

鉄筋の健全性の計測誤差を図-4.1.39～図-4.1.40に示す。

-

F-1、F-2 供試体

F-3 供試体

F-4~F-7 供試体

F-8 供試体

図-4.1.39 各方向の計測誤差分布

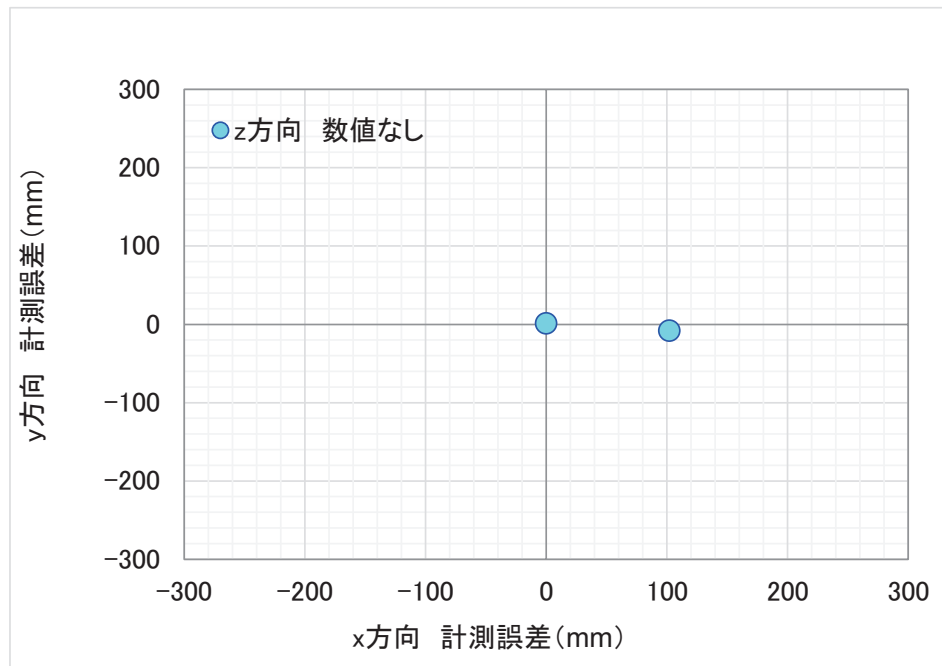


図-4.1.40 xy 計測誤差分布 (z 方向の計測値なし)

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。

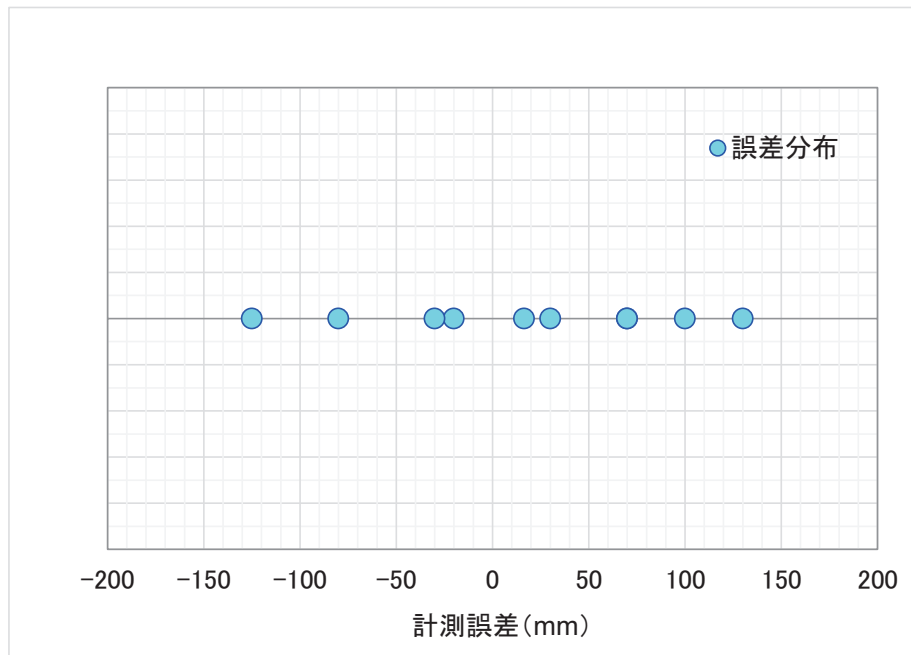


図-4. 1. 41 ひび割れ長さの計測誤差分布

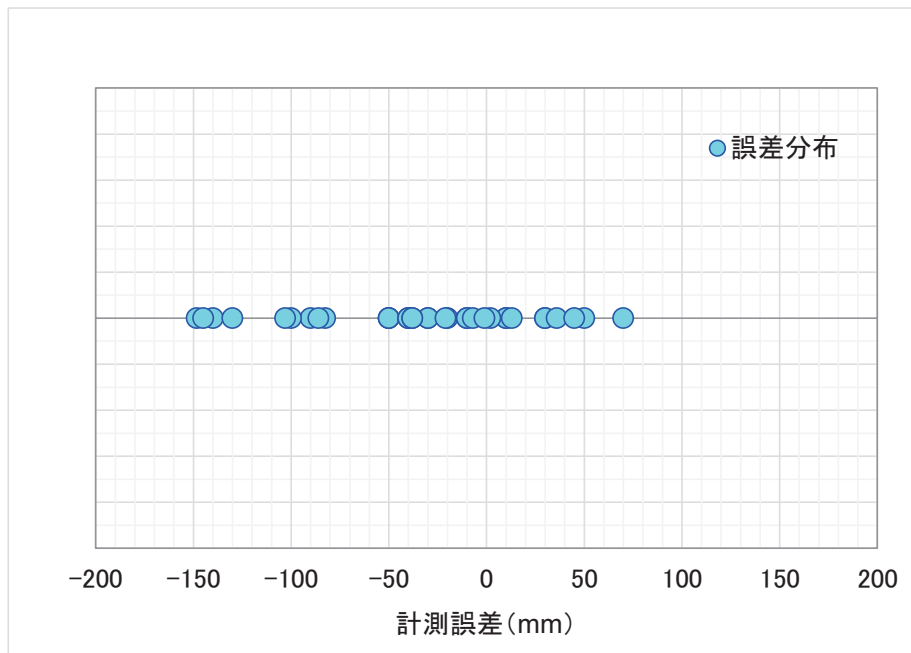


図-4. 1. 42 ひび割れ深さの計測誤差分布

(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。

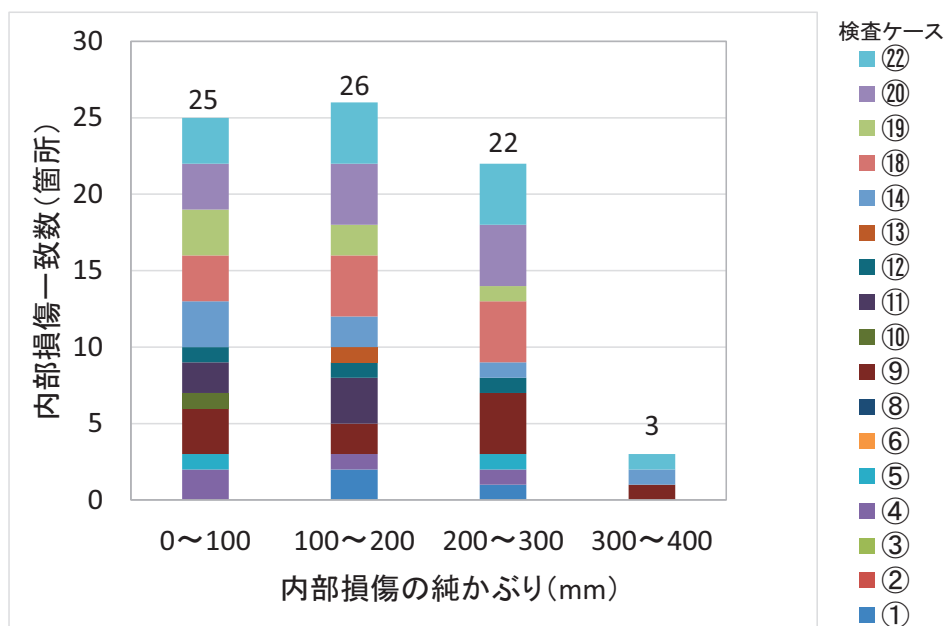


図-4.1.43 内部損傷の純かぶりと内部損傷一致数の関係（空洞）

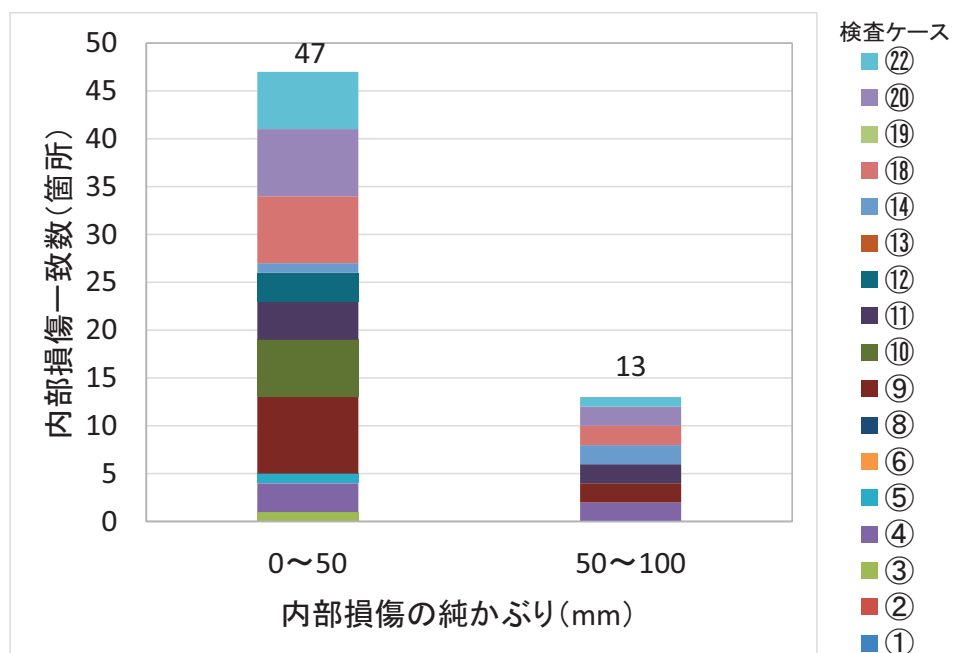


図-4.1.44 内部損傷の純かぶりと内部損傷一致数の関係（うき）

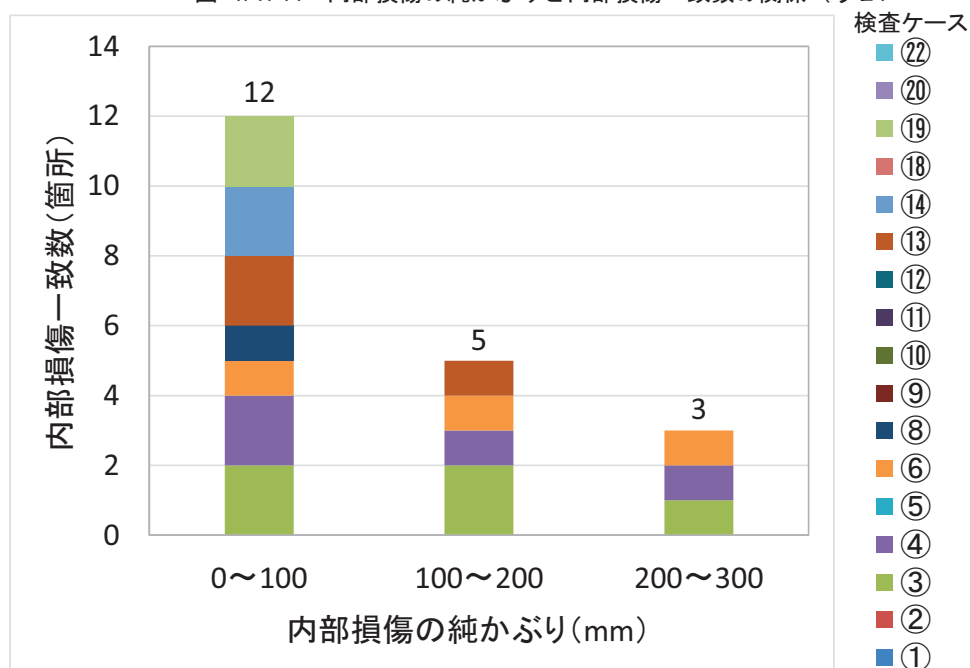


図-4.1.45 内部損傷の純かぶりと内部損傷一致数の関係（グラウト充填状態）

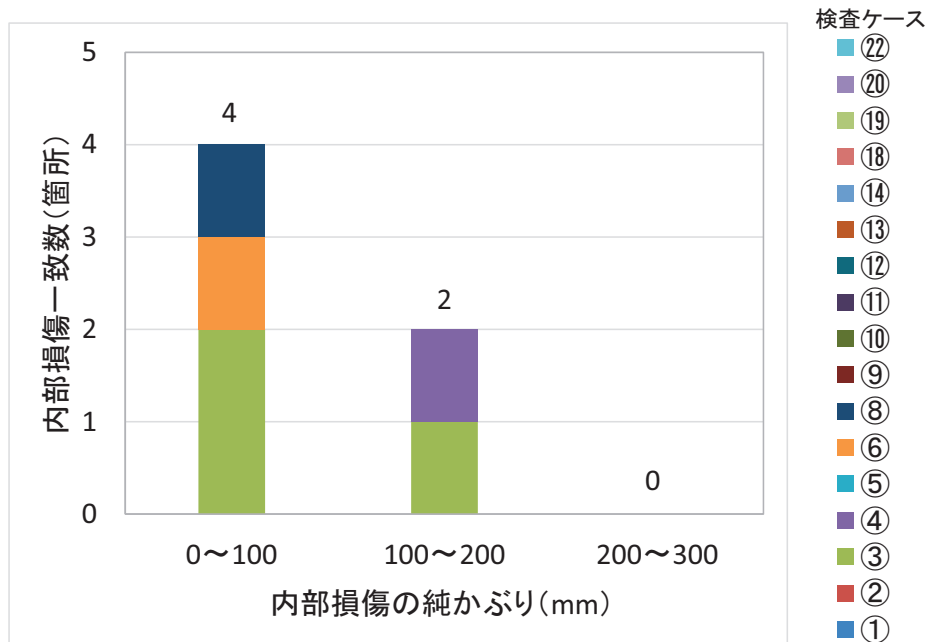


図-4. 1. 46 内部損傷の純かぶりと内部損傷一致数の関係（PC 鋼材の健全性）

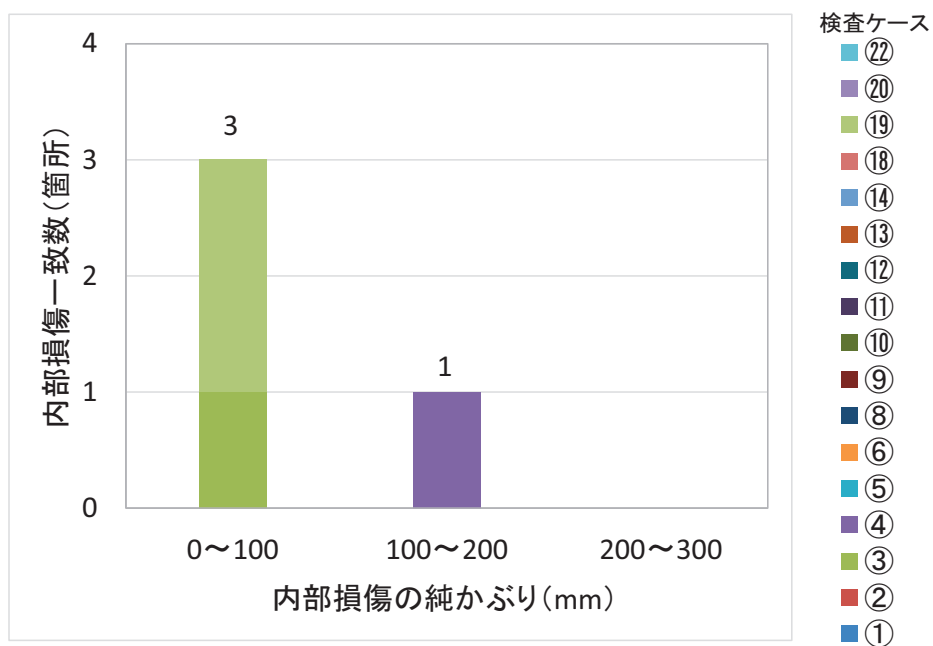


図-4. 1. 47 内部損傷の純かぶりと内部損傷一致数の関係（鉄筋の健全性）

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。

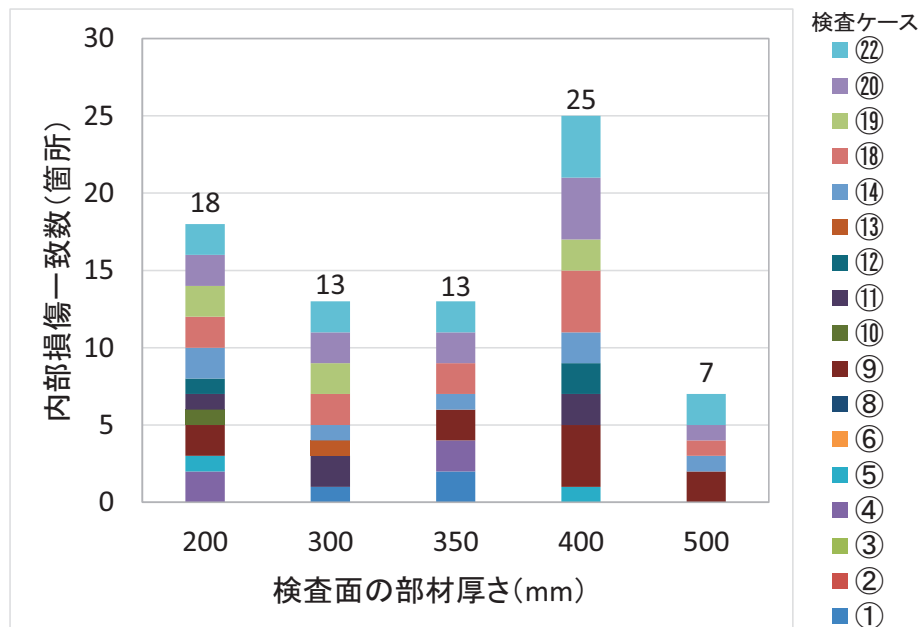


図-4.1.48 検査面の部材厚さと内部損傷一致数の関係（空洞）

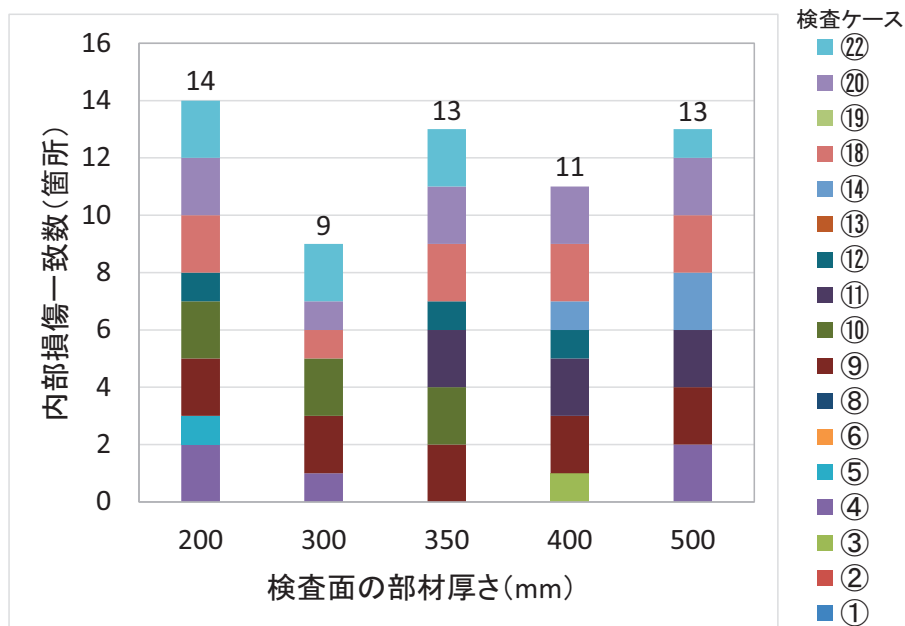


図-4.1.49 検査面の部材厚さと内部損傷一致数の関係（うき）

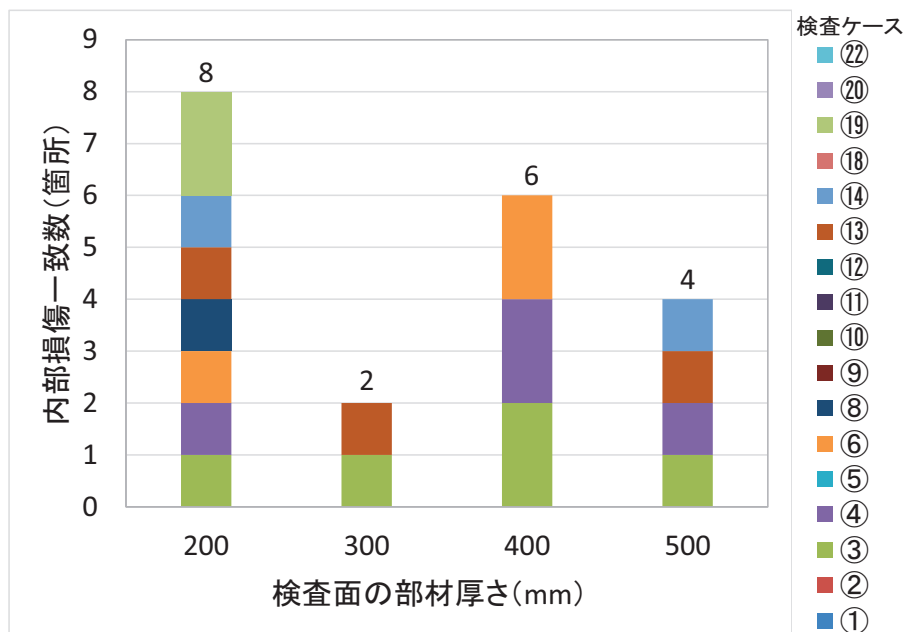


図-4.1.50 検査面の部材厚さと内部損傷一致数の関係（グラウト充填状態）

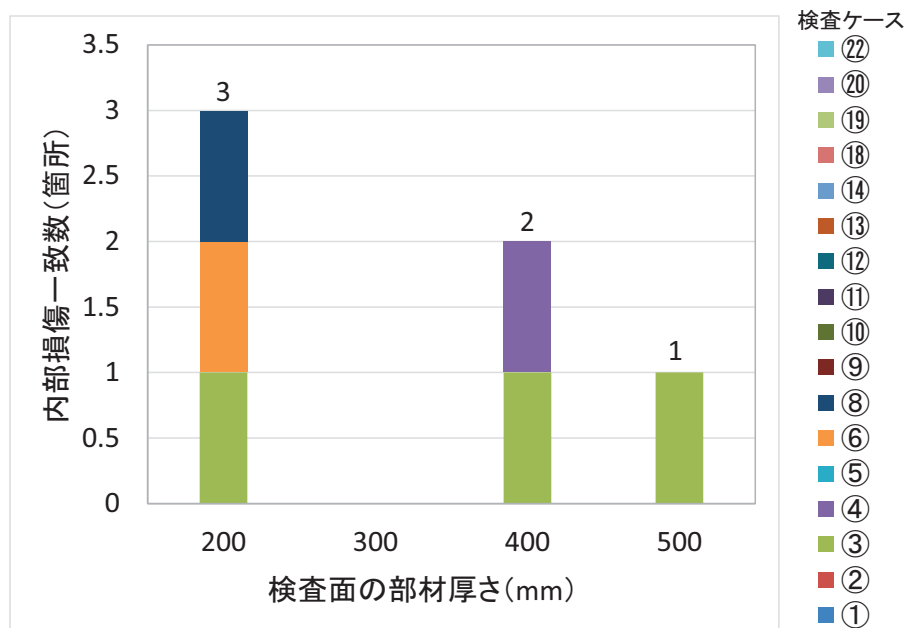


図-4.1.51 検査面の部材厚さと内部損傷一致数の関係（PC 鋼材の健全性）

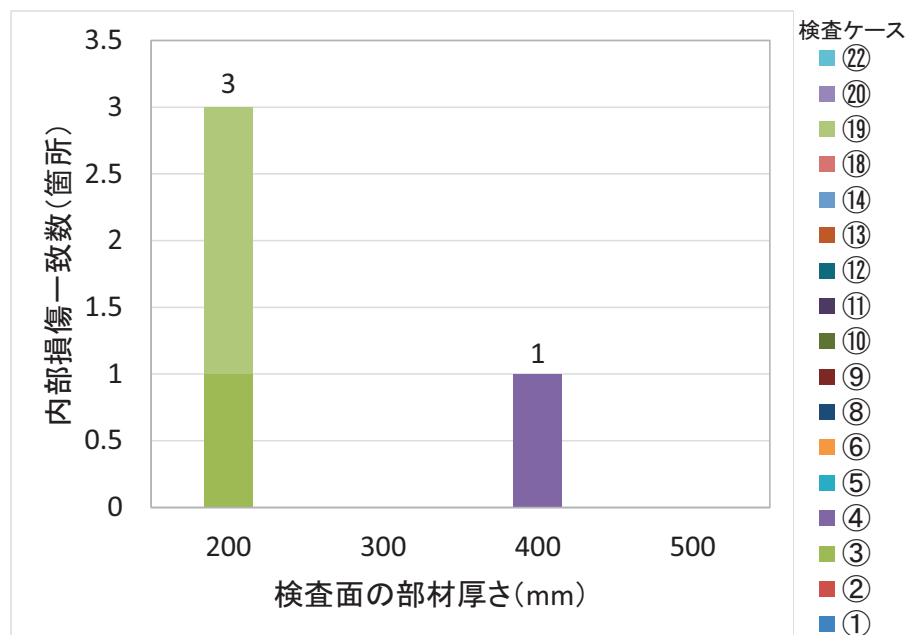


図-4.1.52 検査面の部材厚さと内部損傷一致数の関係（鉄筋の健全性）

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。

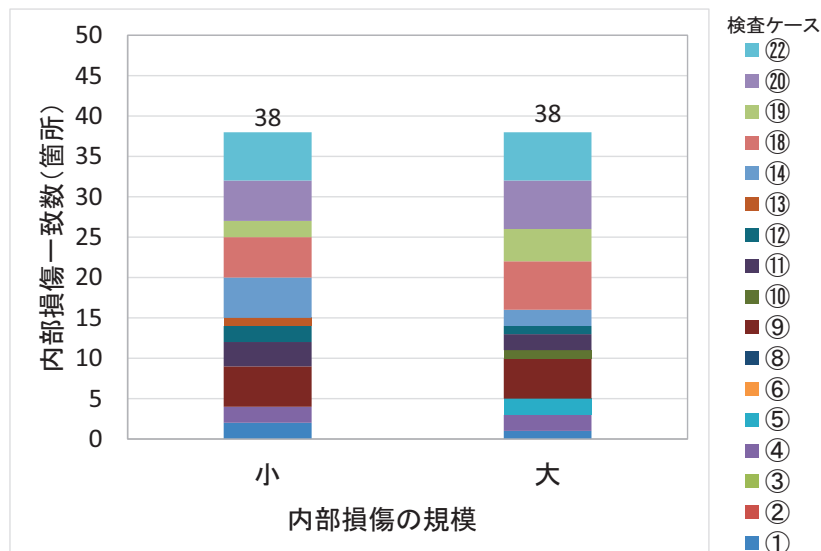


図-4.1.53 内部損傷の規模と内部損傷一致数の関係（空洞）

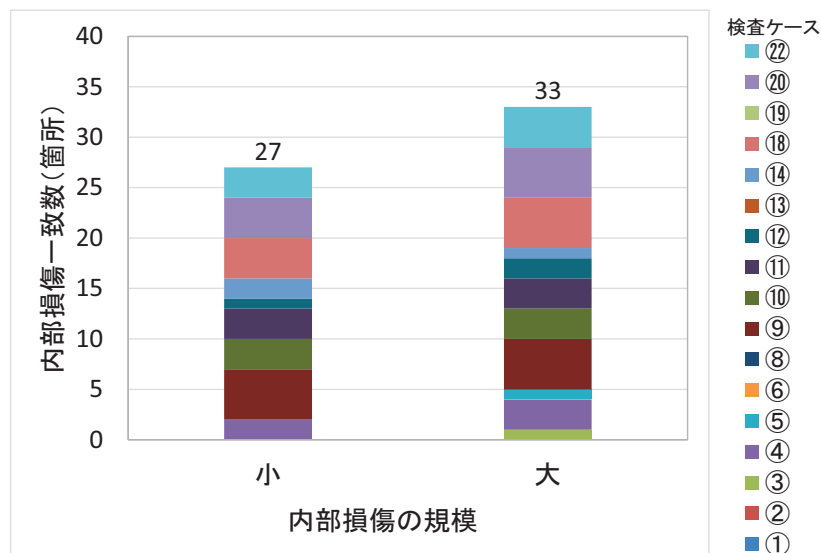


図-4.1.54 内部損傷の規模と内部損傷一致数の関係（うき）

(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。

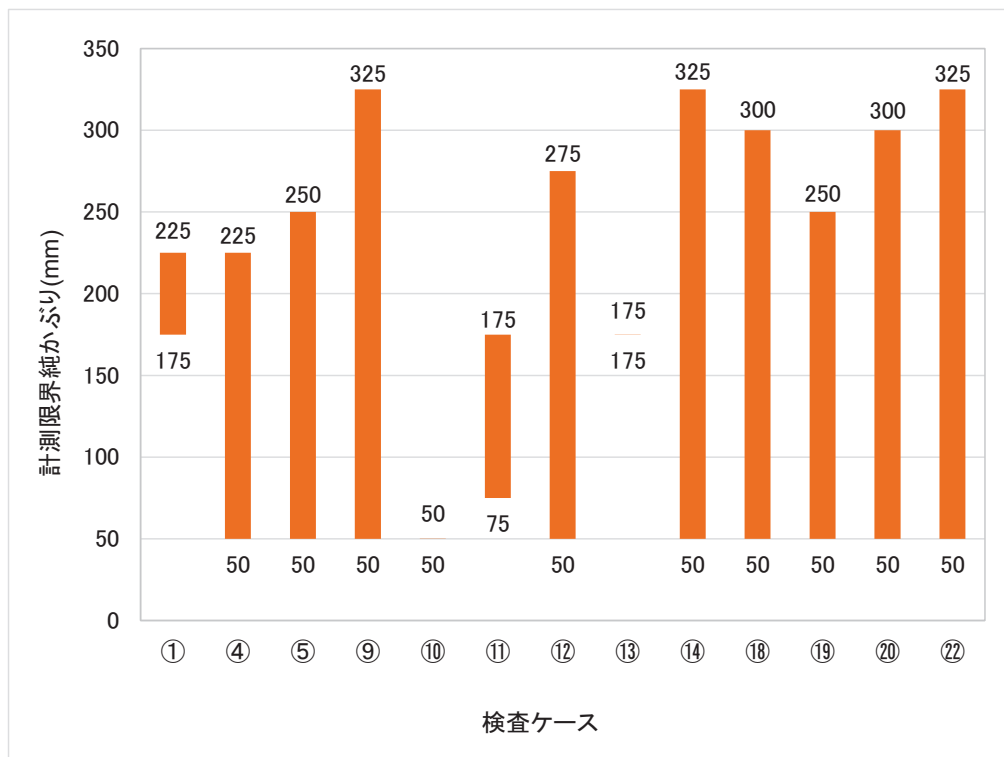


図-4.1.55 内部損傷を検知可能な純かぶり（空洞）

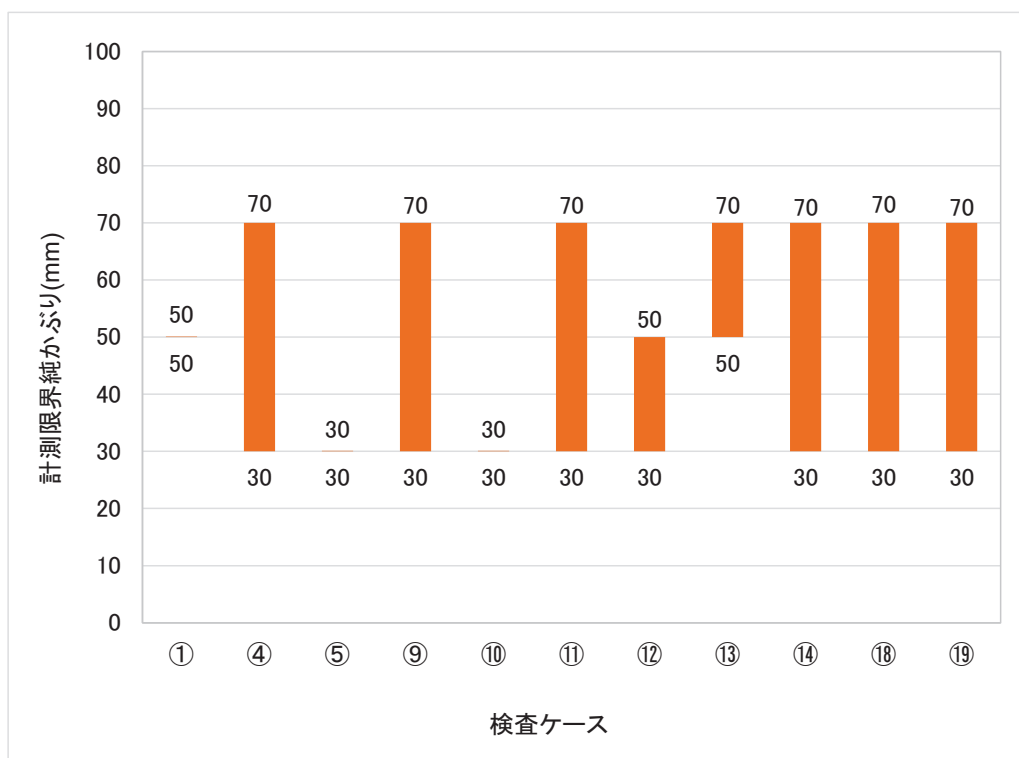


図-4.1.56 内部損傷を検知可能な純かぶり（うき）

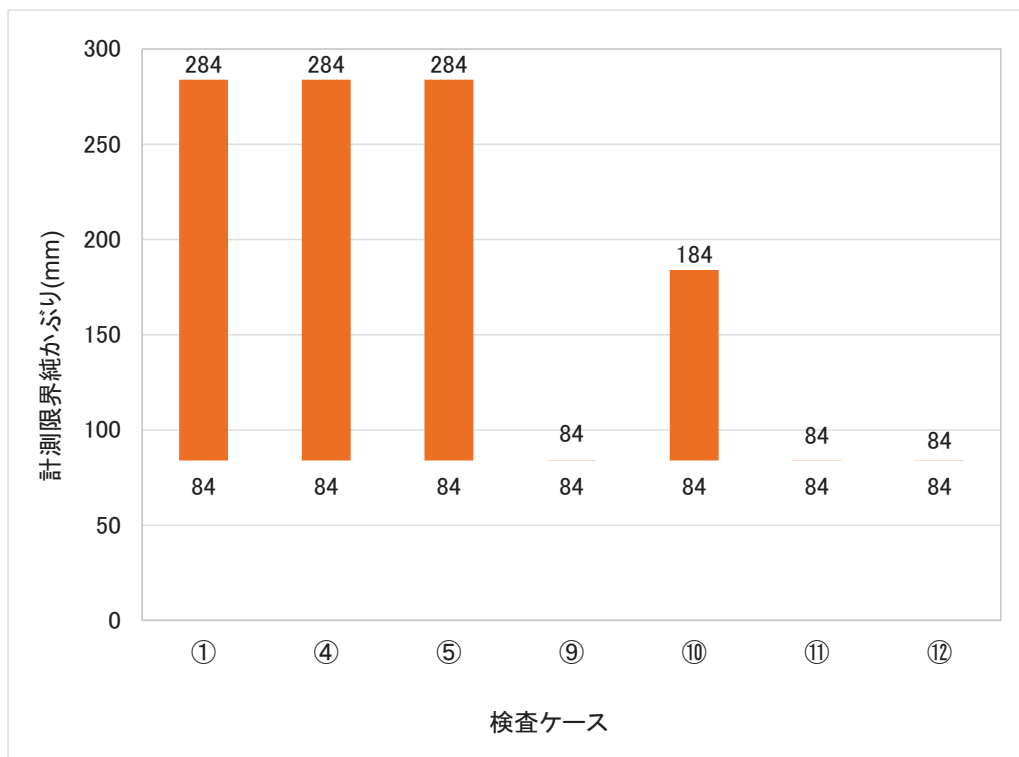


図-4.1.57 内部損傷を検知可能な純かぶり（グラウト充填状態）

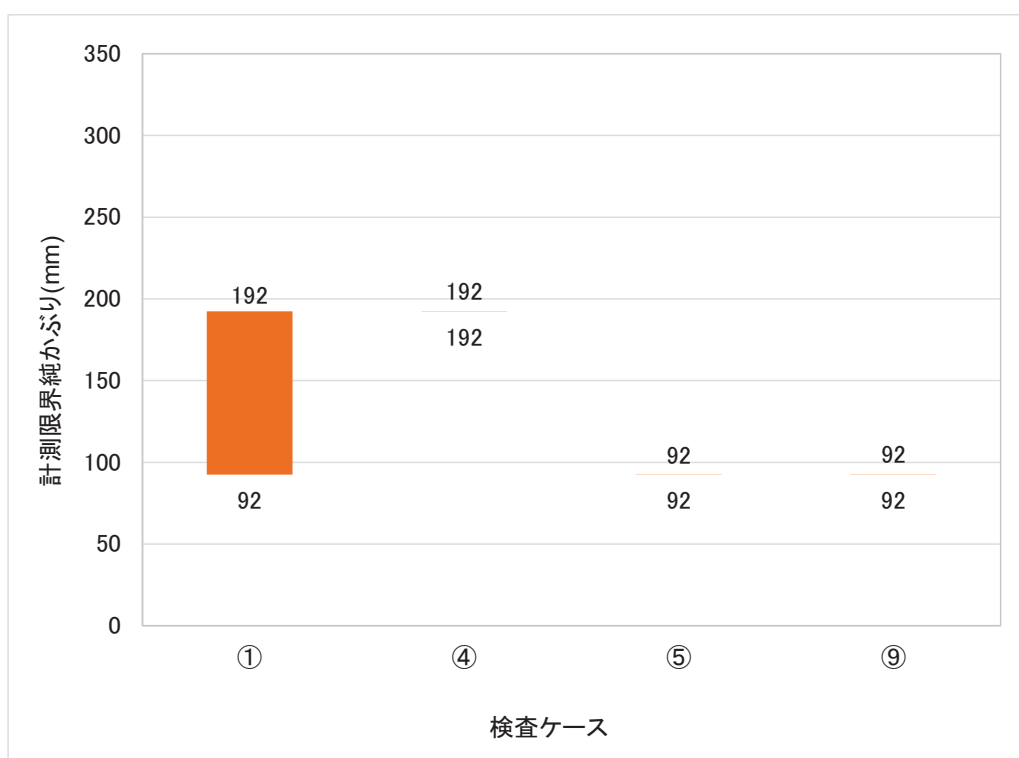


図-4.1.58 内部損傷を検知可能な純かぶり（PC 鋼材の健全性）

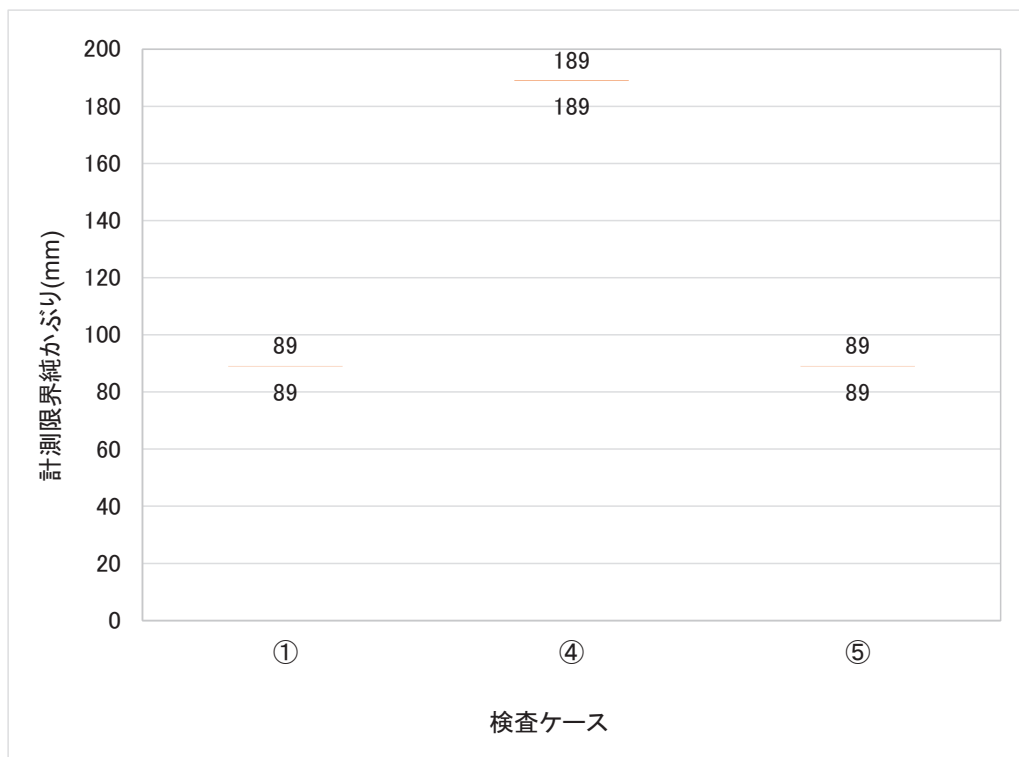


図-4.1.59 内部損傷を検知可能な純かぶり（鉄筋の健全性）

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。

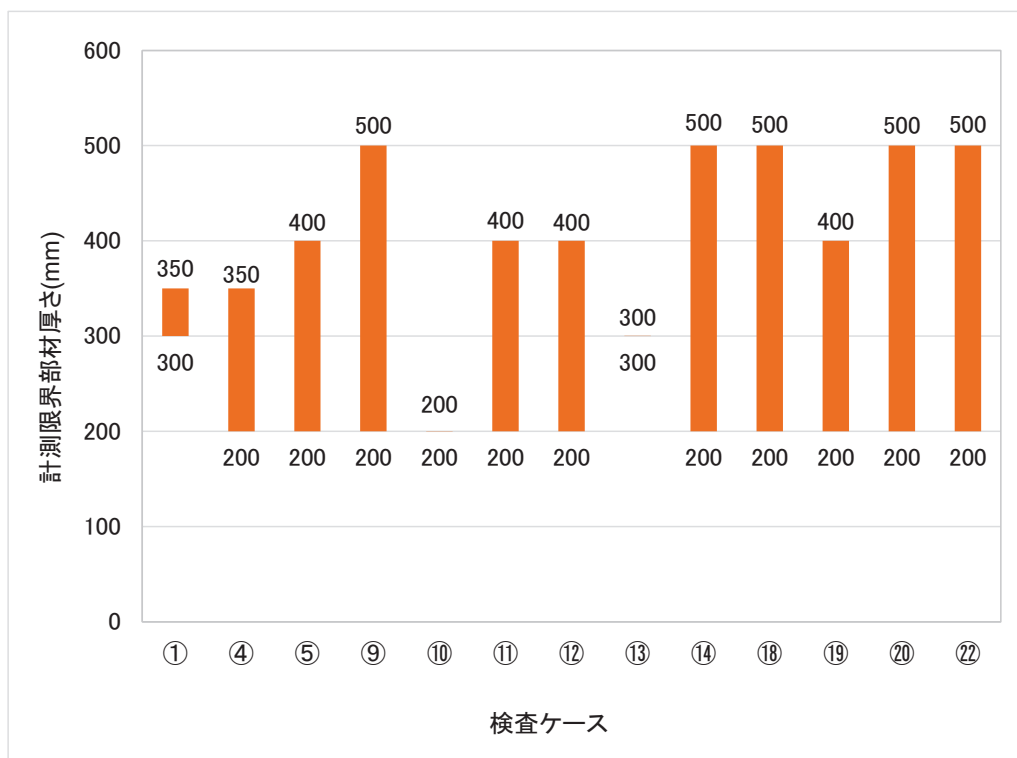


図-4.1.60 内部損傷を検知可能な部材厚さ（空洞）

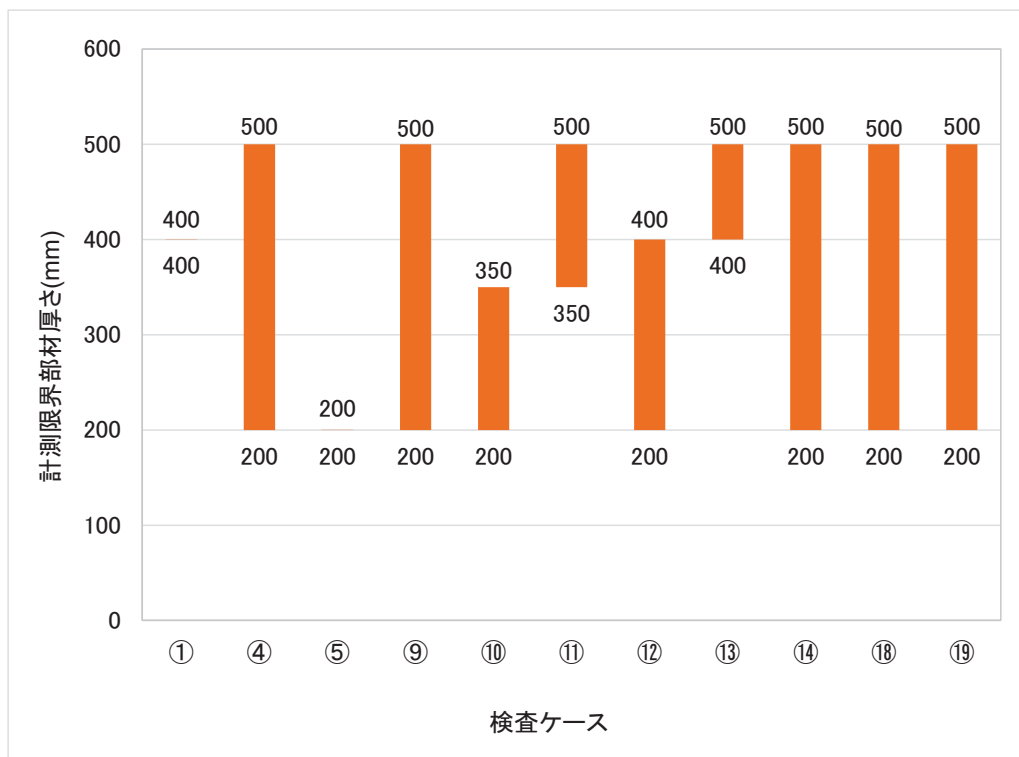


図-4.1.61 内部損傷を検知可能な部材厚さ（うき）

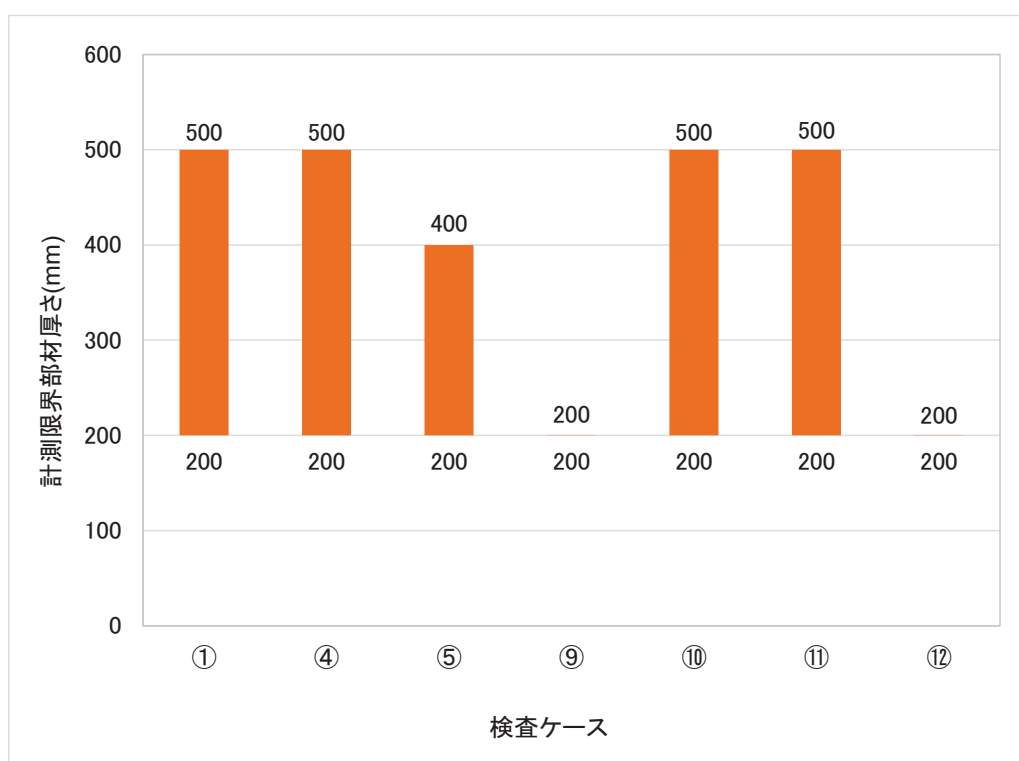


図-4.1.62 内部損傷を検知可能な部材厚さ（グラウト充填状態）

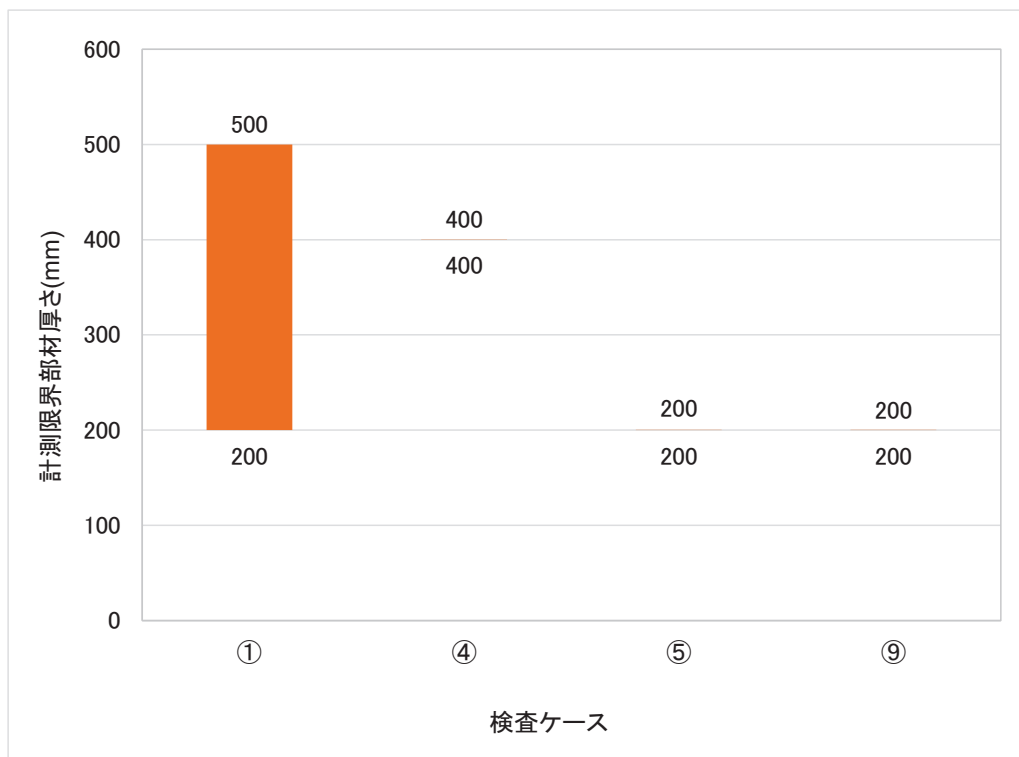


図-4.1.63 内部損傷を検知可能な部材厚さ（PC 鋼材の健全性）

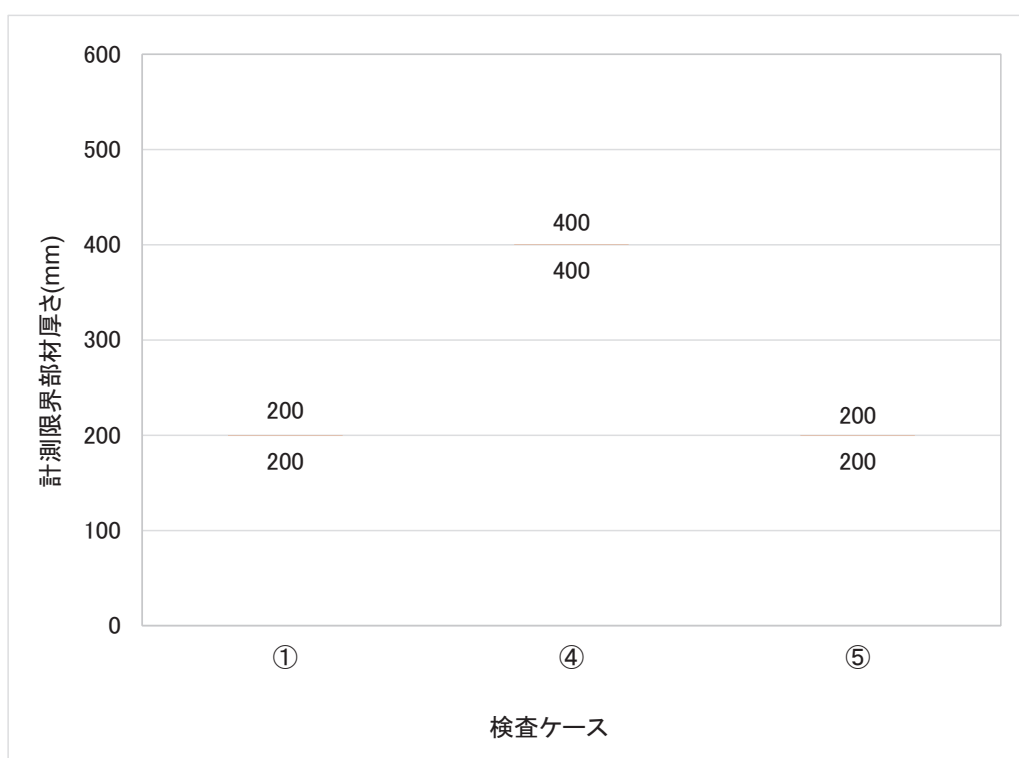


図-4.1.64 内部損傷を検知可能な部材厚さ（鉄筋の健全性）

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



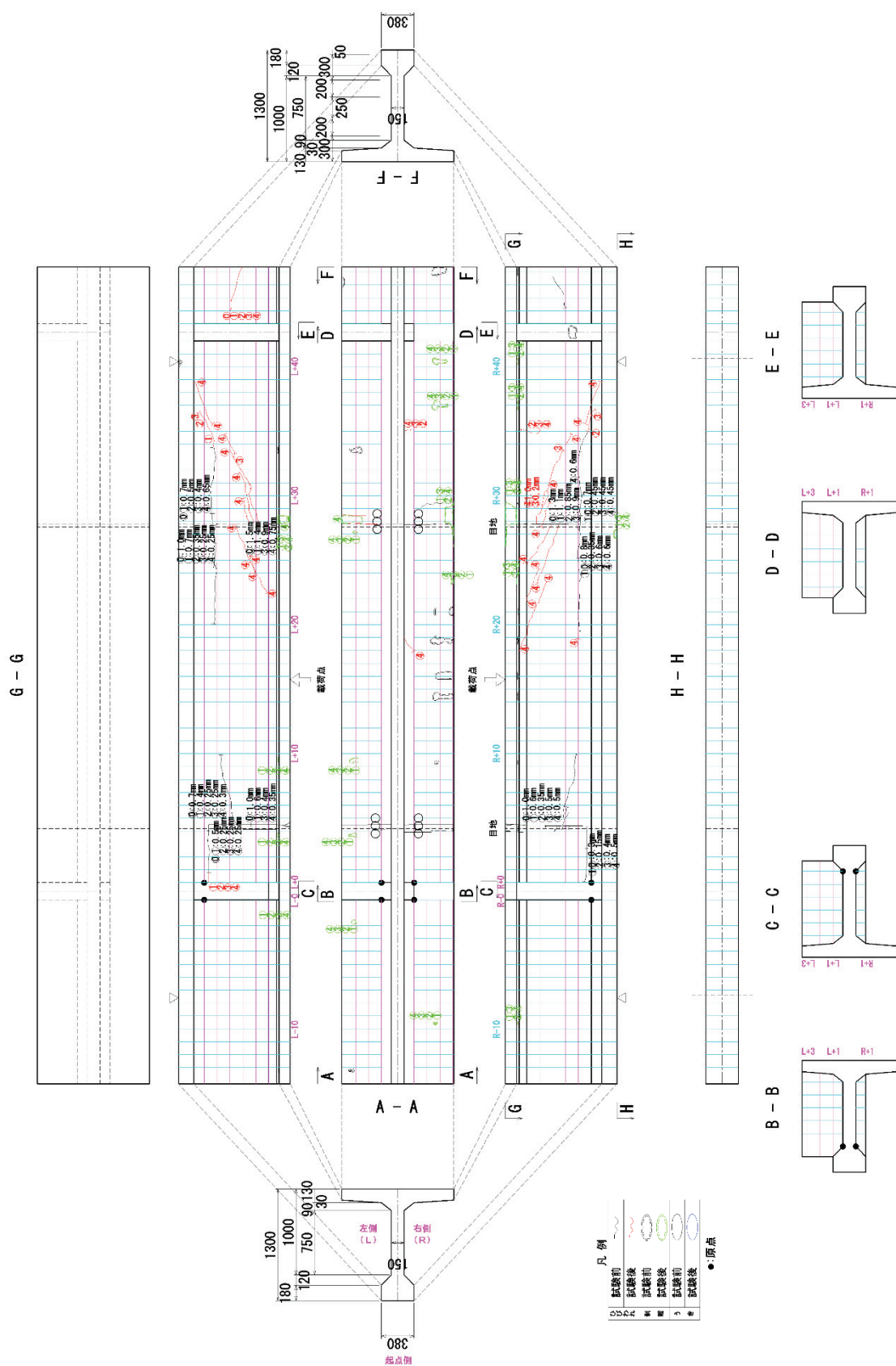


図-4.2.2 実損傷供試体損傷図 (C-5)

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提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提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。

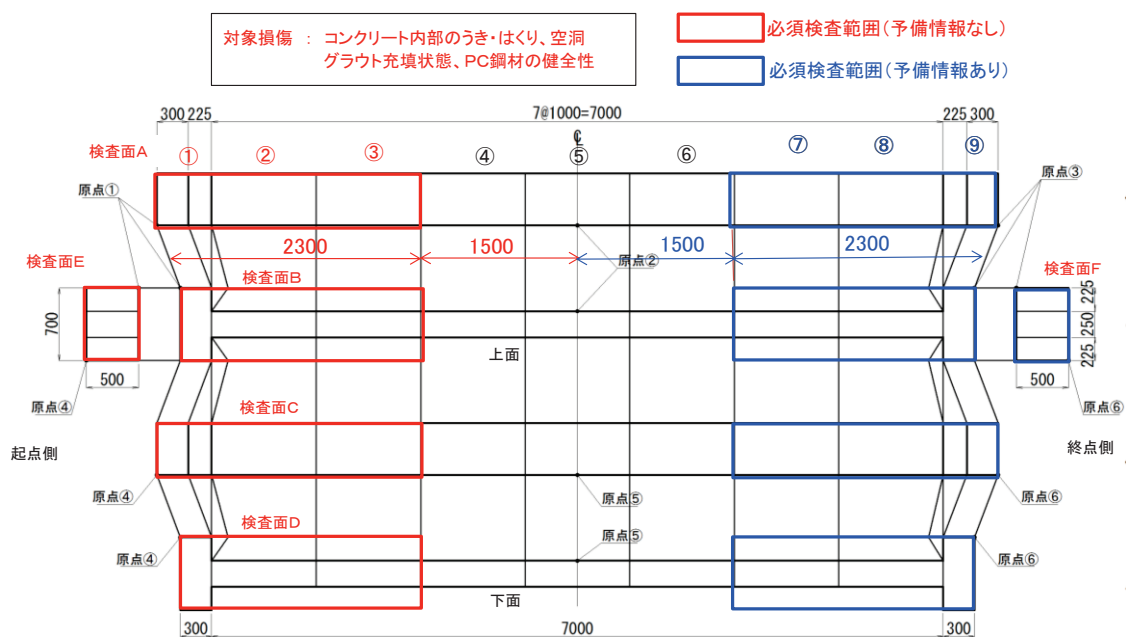


図-4.2.3 検査範囲 (D-1)

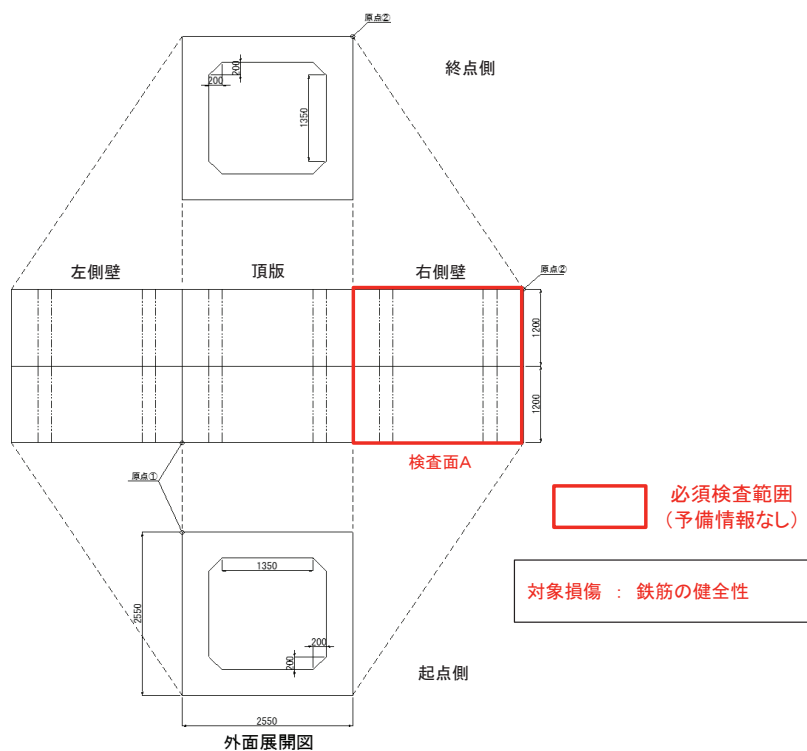
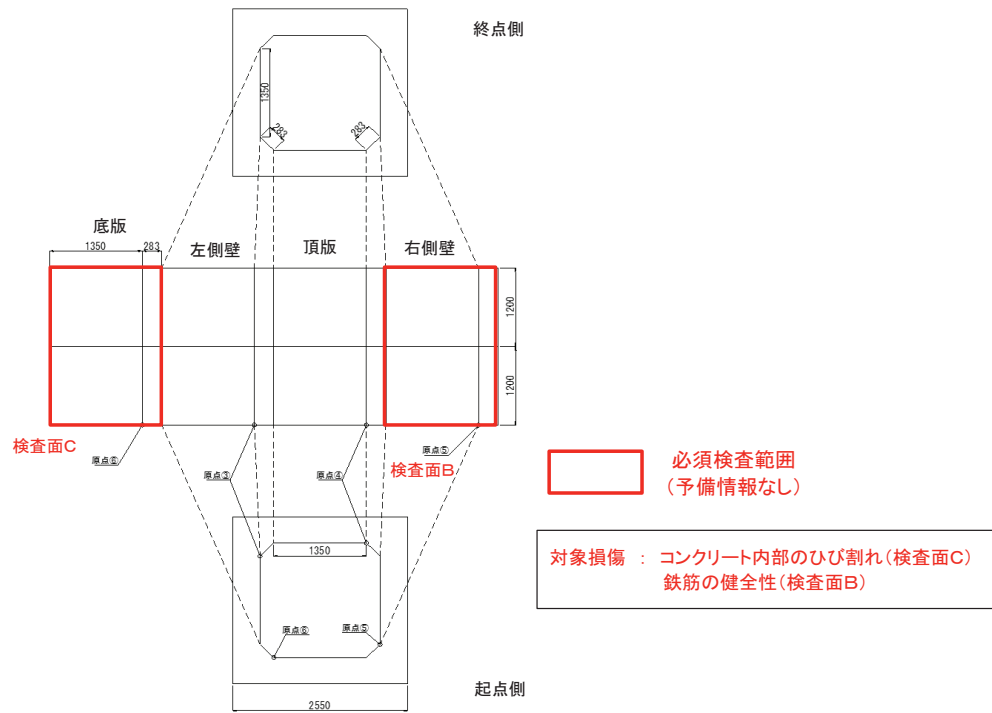


図-4.2.4 検査範囲 (E-1 その1)



内面展開図

図-4.2.5 検査範囲 (E-1 その2)

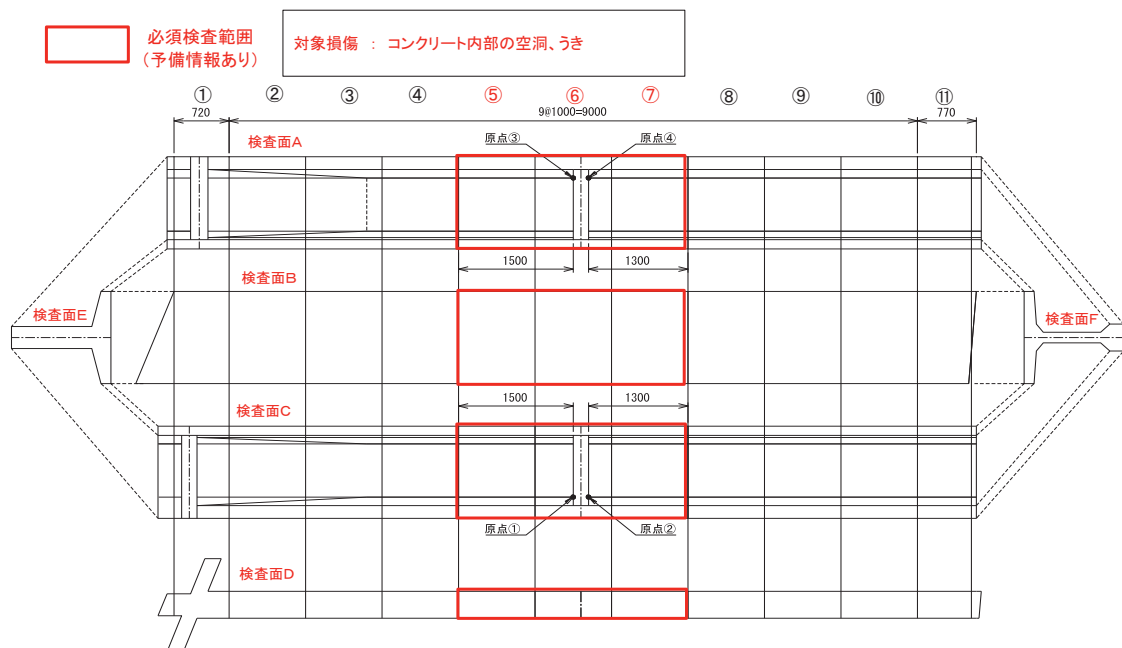


図-4.2.6 検査範囲 (C-1)

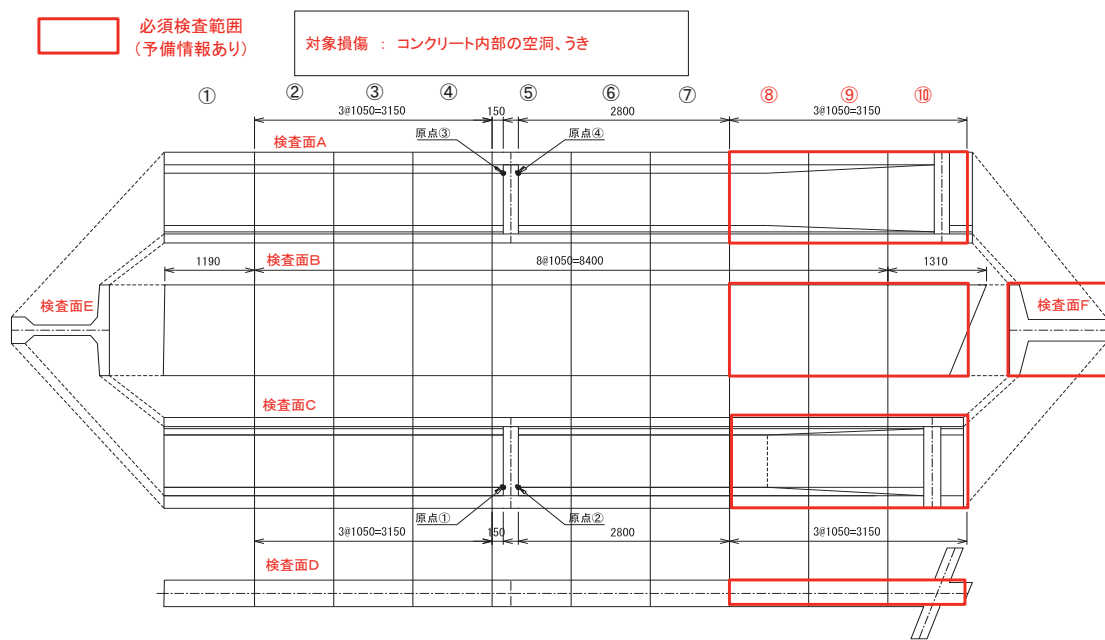


図-4.2.7 検査範囲 (C-3 その1)

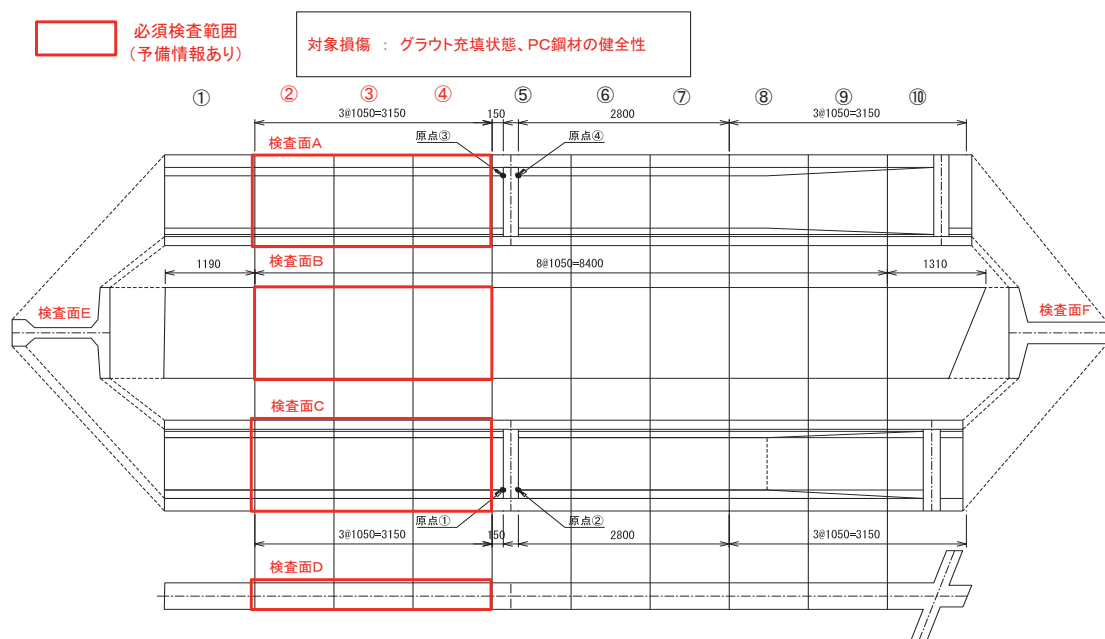


図-4.2.8 検査範囲 (C-3 その2)

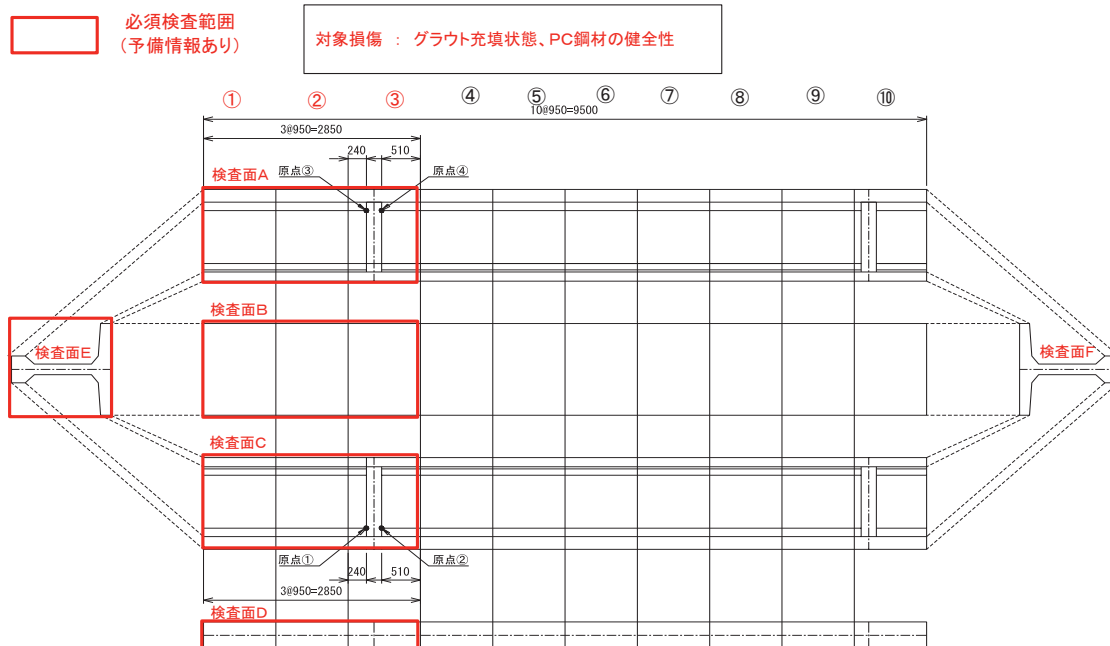


図-4.2.9 検査範囲 (C-5 その1)

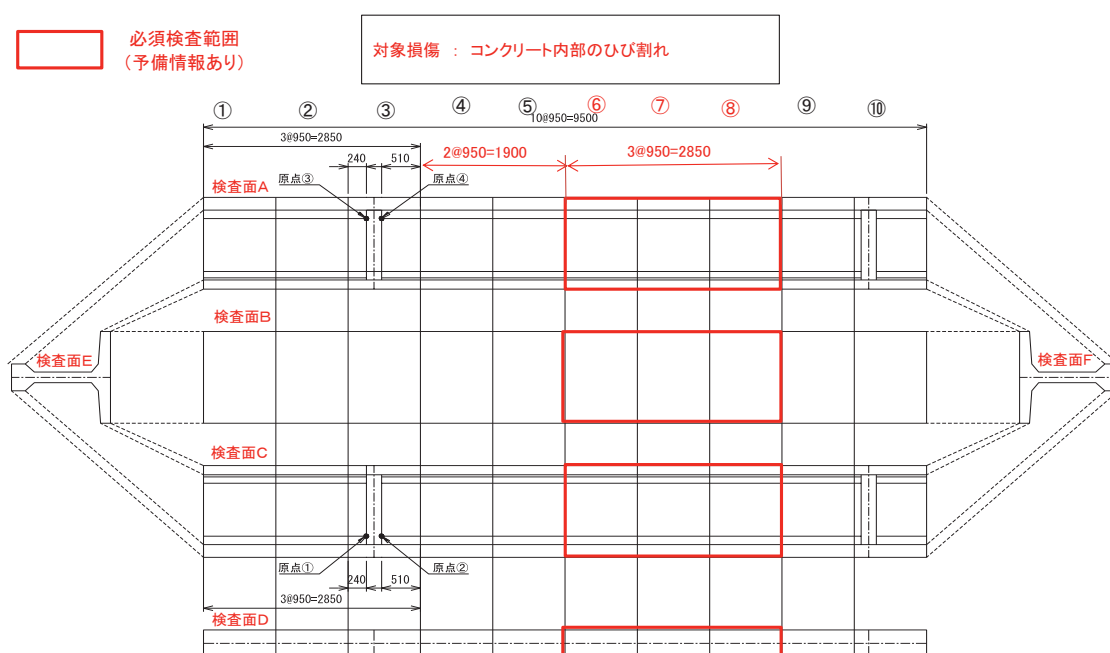


図-4.2.10 検査範囲 (C-5 その2)

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と考えられる。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

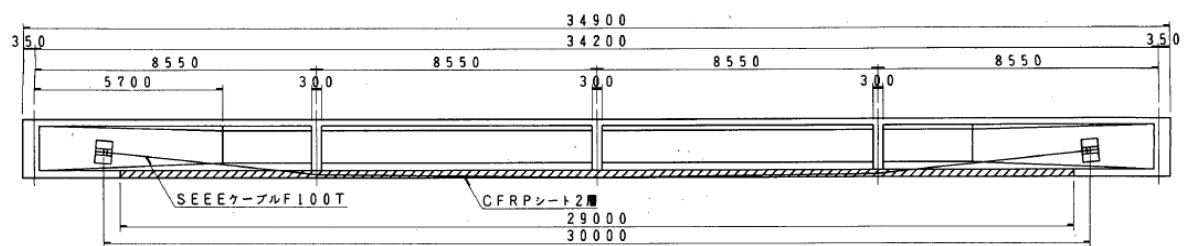
(2) 実損傷供試体

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

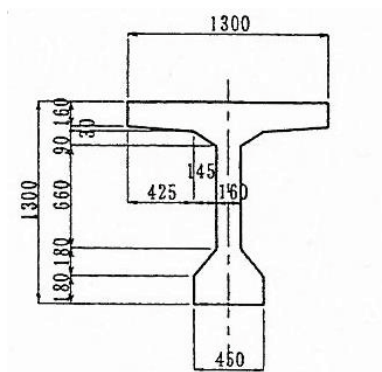


図-4.3.1 撤去桁の形状（G 橋）



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。