

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。

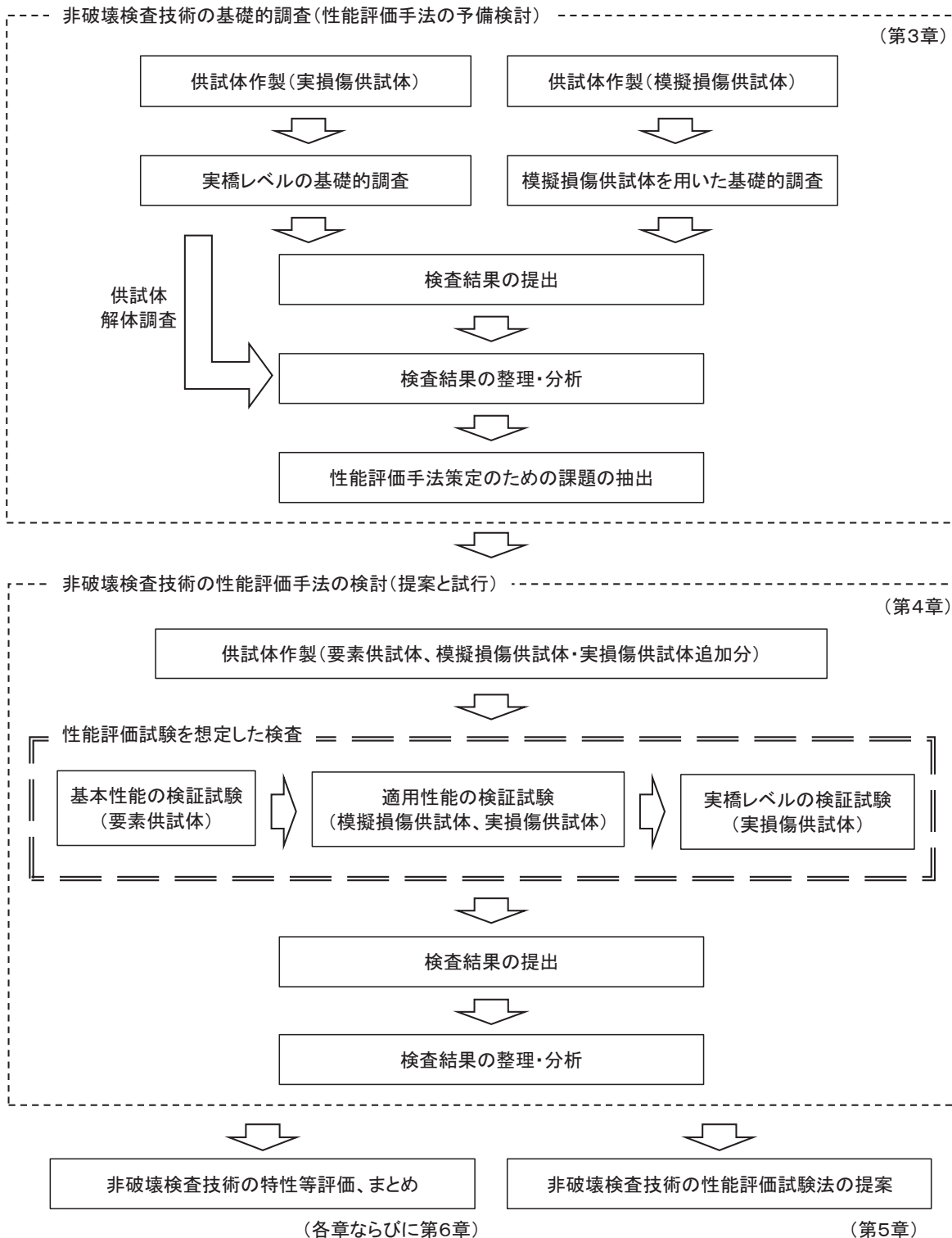


図-2.1.1 本研究の概要と報告書の構成

2.2 研究の体制

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。

共同研究の体制を図-2.2.1 に示す。

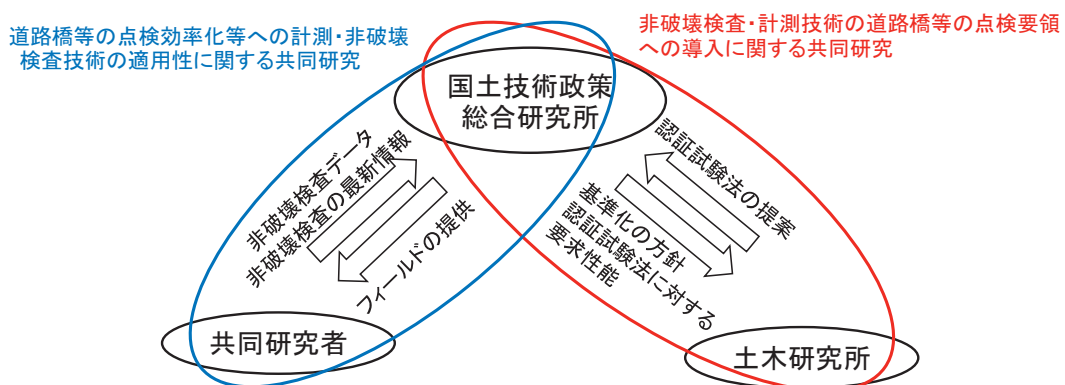


図-2.2.1 共同研究の体制

2.3 非破壊検査機器の仕様

今回の共同研究で共同研究者が用いた各検査技術の機器仕様ならびに装置の特徴を表-2.3.1、表-2.3.2 に示す。それぞれの機器仕様及び装置の特徴については、検査機器固有の仕様や制約条件等を把握するために、検査実施前に共同研究者に対するアンケートによって調査したものである。なお、キャリブレーションとは検査前に実施する機器の感度調整や基準点（基準とする数値や比較対象とする数値）の設定のことを言う。

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	種数の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、平坦性(ホ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、レーザ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する温度分布	熱の伝達の遅いによる表面温度	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、平坦性必要	-	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	専用スキヤナ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	キャリブレーションの 必要性
12	グラウト充填不良 ※微破壊検査	圧縮空気	圧力の時間変化と換 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2.5cm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	反射した弾性波、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°C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 (ハルズ磁場)	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ーを用い て変換した電圧	PC鋼材	雨天不可、温度0~40°C、 センサー取付け部の平坦 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°C)	-	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。

- ・ うき

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。

- ・ ひび割れ

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。

- ・ グラウト充填不良

内部損傷の種別の一つで、シーす内部に 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。シーす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。

- ・ PC 鋼材の腐食、破断など

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。

- ・ 鉄筋の腐食、破断など

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。

- ・ 内部損傷の推定位置

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。

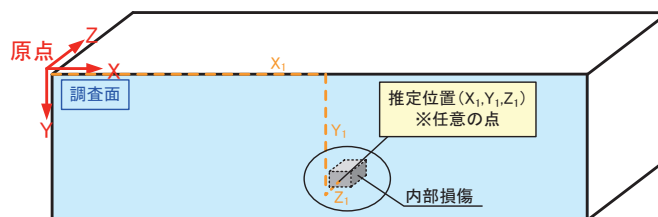


図-2.4.1 内部損傷の推定位置

- ・ 内部損傷推定位置の計測誤差

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。

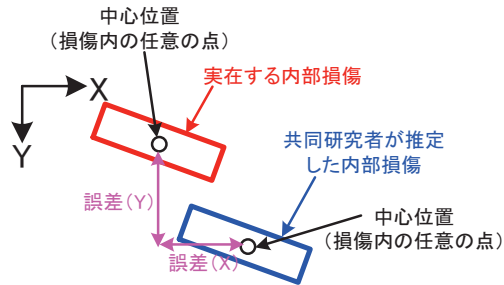


図-2.4.2 内部損傷推定位置の計測誤差

・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。

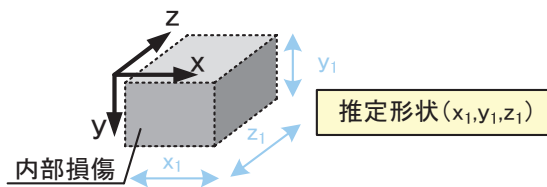


図-2.4.3 内部損傷の推定形状 (その 1)

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。

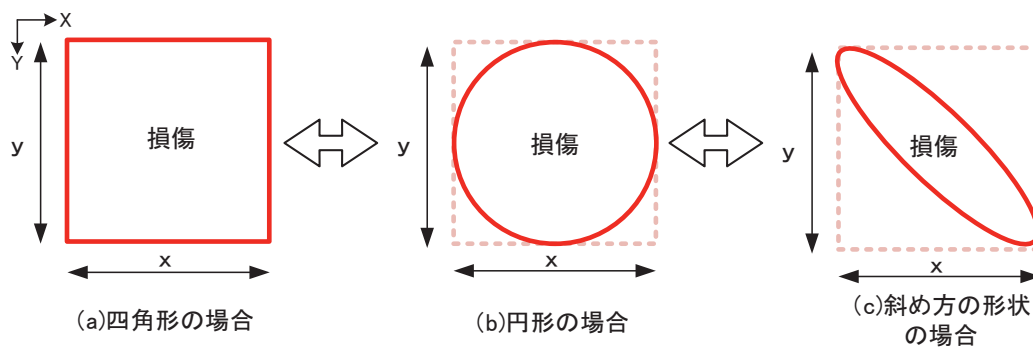


図-2.4.4 内部損傷の推定形状 (その 2)