

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、キャリア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と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

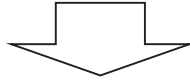
が検査性能に及ぼす影響について把握するものである。

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、独自に活用をはかられ、統一的手法に基づく客観的なデータの蓄積が進むことを期待するものである。

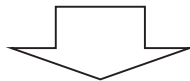
Step1 事前調査

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