

## 第7章 非破壊検査技術の性能評価試験法の提案

### 7.1 非破壊検査技術の性能評価手法に求められる項目の整理

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

#### ①あと施工アンカーの不具合の模擬方法

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

#### ②各非破壊検査技術の計測原理等の事前調査

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

#### ③非破壊検査技術の基本的な検査性能を評価するための方法

##### (1)検知可能なあと施工アンカーの不具合と検査技術

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

##### (2)あと施工アンカーの不具合の検査精度

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

##### (3)検査技術及び作業性

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

する必要がある。

#### ④検査要領

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

#### ⑤予備情報の有無による検査性能

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

#### ⑥非破壊検査技術の実構造物への適用性能

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

## 7.2 非破壊検査技術の性能評価試験法

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

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

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

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

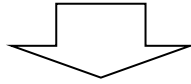
Step2 の基本性能試験では、様々な発生要因であと施工アンカーに生じる不具合を模擬した供試体を使用して非破壊検査技術の検証を行い、予備情報の有無の影響や、事前調査で明示された検査性能の再現性の確認を行うとともに基本的な性能について評価する。

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

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

### Step1 事前調査

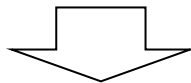
事前評価項目に従って、非破壊検査技術の検査原理と方法、そして原理と方法から推定される適用限界や誤差特性を整理する。併せて適用限界や誤差特性等について検査機器開発者が自己評価した実験データの入手に努める。



### Step2 基本性能試験

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

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



### Step3 適用性能試験

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

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

図-7.2.1 性能評価フロー（本試験法の適用の範囲）

表-7.2.1 非破壊検査技術の事前評価項目

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

