

4. 可視化の実際

4.1 衝撃弾性波法による版厚推定結果の可視化

4.1.1 概要

(1) 一般的な評価方法と課題

衝撃弾性波法による部材厚の推定では、部材の片面より鋼球打撃により入力した弾性波の部材背面からの反射波を測定することによって版厚を推定する。背面からの反射波は、一般的に部材表面で測定した加速度や速度の時刻歴波形に対して、部材背面と表面で多重共振する周波数を特定することで推定する。衝撃弾性波法では鋼球打撃で発生する表面波の影響や、打撃する部材表面の不均一性のためデータのばらつきが大きい場合があり、特に比較的厚い部材では部材内を伝播する弾性波の減衰が大きく正確な版厚推定が困難な場合がある。通常このとき、精度を向上させるために複数のデータを測定して、それらを総合的に試験者が判断し部材背面の多重反射波の卓越周波数を読み取る。衝撃弾性波法による版厚推定では、得られた FFT スペクトルを試験者が判読して多重共振周波数を特定することが基本となる。

しかし複数データを総合的に判断する具体的な作業としては、データを得られる時刻歴波形や FFT 処理したスペクトルの数値データを単純に平均化することは困難で、得られた複数のスペクトルを試験者が同時に俯瞰して判読する必要がある。このように、評価精度を向上させる取り組みとして、複数の測定データを同時にかつ効果的に俯瞰できるデータの表現方法が望まれる。

(2) 可視化により期待される効果

衝撃弾性波法による版厚推定では、得られたデータから鋼球打撃によって発生する表面波と部材の表面・背面を多重反射する反射波を分離することが必要となる。鋼球打撃によって発生する表面波は適用する鋼球径によって周波数帯域が異なることが知られており、精度を向上させる取り組みの一つとして、鋼球径の異なる複数の打撃により得られたデータを総合的に判断する。

可視化により得られたデータを同時に俯瞰する表現方法を適用することによって、版厚を示す多重共振周波数の判読精度の向上や、単一のデータでは判断できないケースの改善が図れると思われる。

(3) 可視化事例の概要

衝撃弾性波法による版厚推定において一般的なデータ処理手法は、1 データごとに処理したフーリエスペクトルにより多重反射波の周波数を試験者が判断する。対象物の版厚が比較的薄く密度が均一な場合は明確なピークが得られることから判断が容易となるが、版厚が厚い場合や内部に欠陥が散在、あるいは打撃する表面状態が悪い場合は明確なピークが現れない場合があり正確な多重反射波の周波数の特定が困難となる。これらに対しては、打撃に用いる鋼球径を変化させることにより部材に入力される周波数帯が変化する性質を利用して、入力の周波数に関係なく一定の周波数となる多重反射波の周波数を判定する方法を用いる場合がある。本事例では多重反射波の判読精度を向上させることを目的として、鋼球径を3種類に変化させ、さらに各鋼球径ごとに3データの合計9データを利用して総合的に判断するために可視化手法を利用した事例を図 4.1.1 に示す。

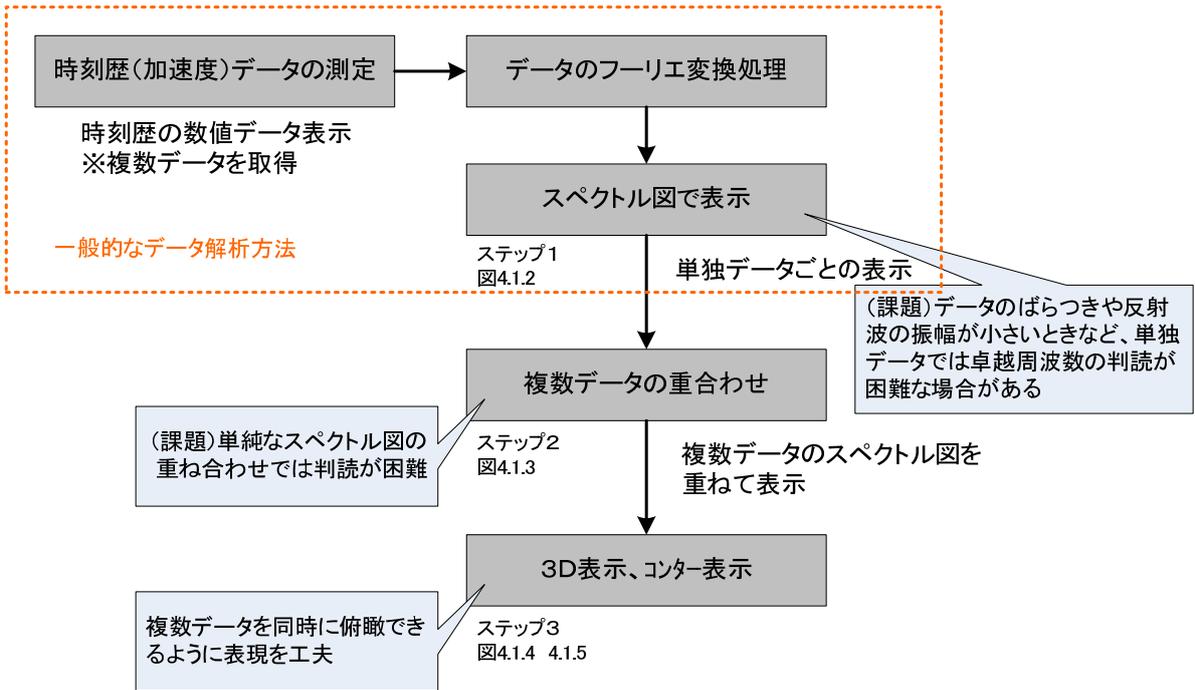


図 4.1.1 衝撃弾性波法によるデータ可視化手順

4.1.2 可視化の事例

【ステップ1】

打撃に用いる鋼球径をφ19mm, 35mm, 50mmの3種類とし、各鋼球径ごとに3データを取得した場合のデータを図4.1.2に示す。図4.1.2では衝撃弾性波法による版厚推定で一般的に行われているデータ整理の手法で、9つのデータを並列的に表示している。データの評価では、試験者が鋼球径に関わらず常に一定となる版厚を示す共振周波数と、鋼球径によって変化する表面波の周波数帯域を見分けて判断する。この場合9つのデータ全体を俯瞰して共振周波数を判定するが、データのばらつきによっては判断が難しい場合がある。

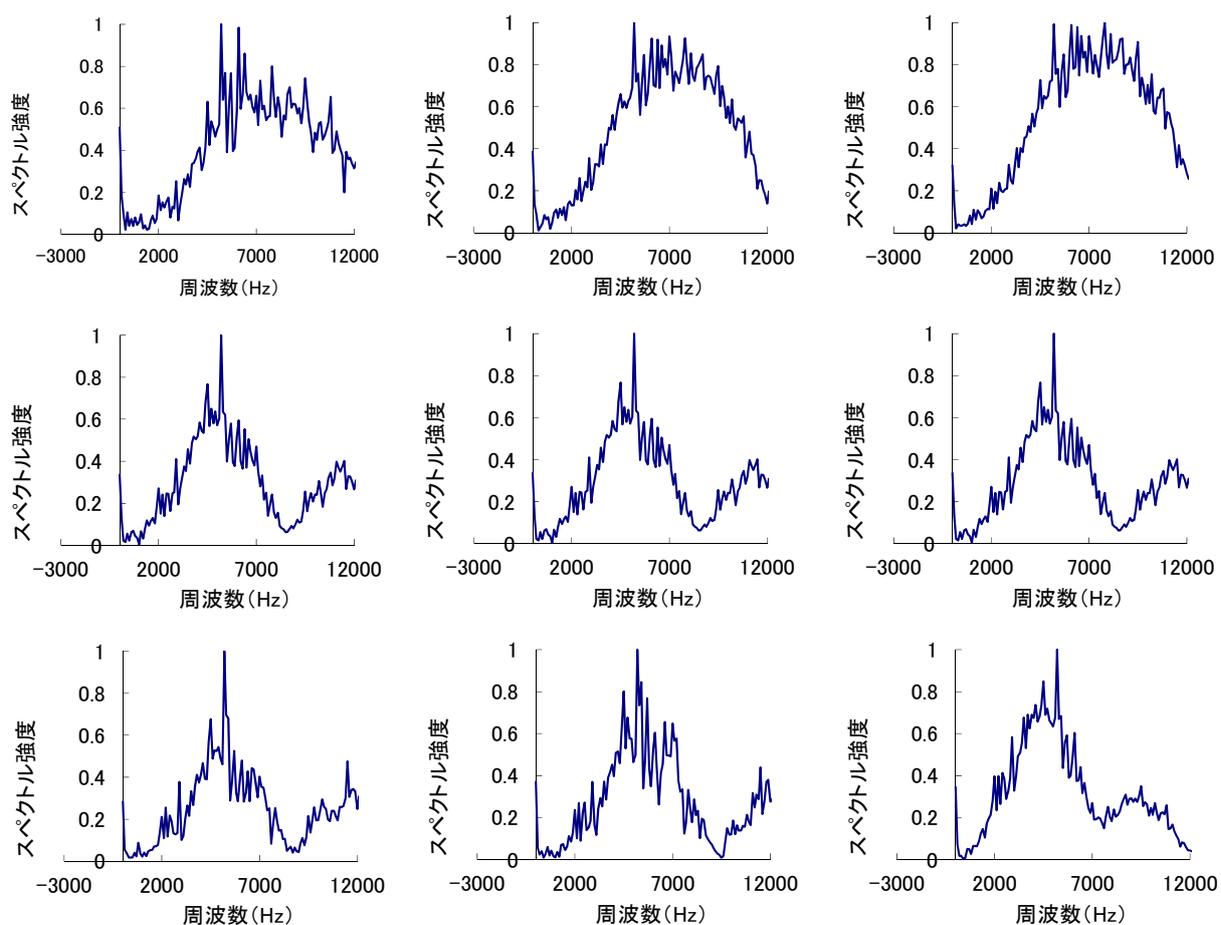


図 4.1.2 時刻歴波形のフーリエスペクトル 複数データの並列的な表現の例
(上段 鋼球径φ19mm, 中段 鋼球径φ35mm, 下段 鋼球径φ50mm)

【ステップ2】

図4.1.3では鋼球径に関わらず現れる版厚を示す振動数ピークを判断しやすくする目的で、得られた9データを重ねて表示している。一般に対象とするデータ数が多い方が判定の信頼性が向上すると考えられるが、単純に重ね合わせることで効果が少ない場合もある。

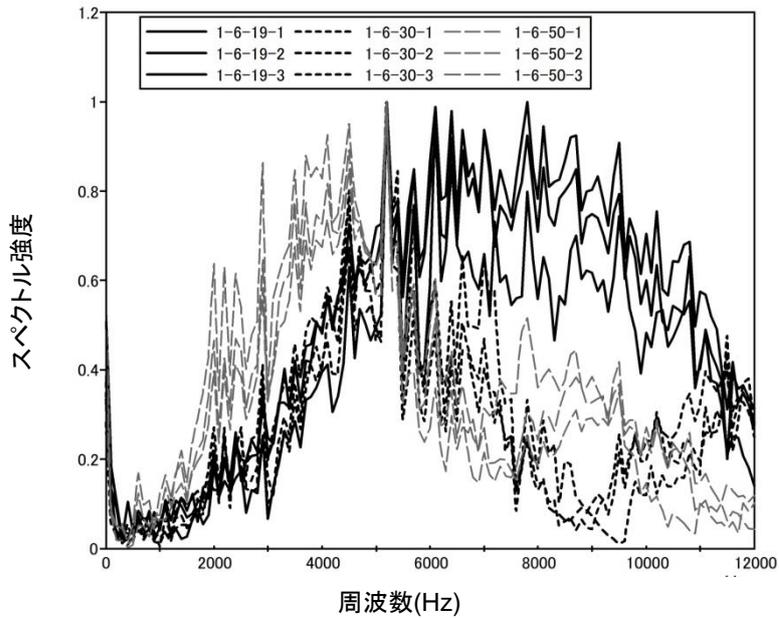


図 4.1.3 9 データの単純な重ね合わせの例

【ステップ 3】

図 4.1.4 では、9 データの FFT スペクトル三次元表示とし、同時にスペクトル強度をコンター図として表示している。9 データを単純に重ね合わせた図 4.1.3 と比較して、適用する鋼球径により変化する表面波に対して、常に一定の周波数で現れる版厚を示す周波数が判読しやすくなっている。

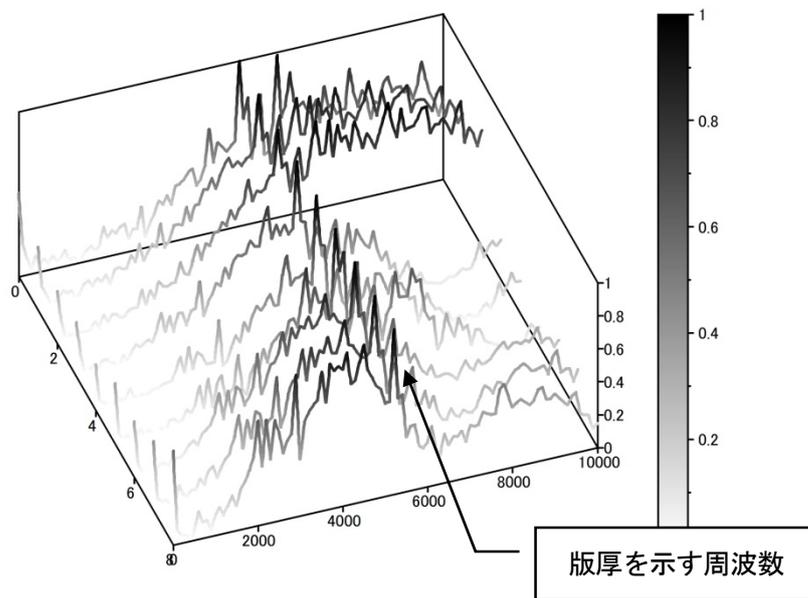


図 4.1.4 三次元コンター表示の例

図 4.1.5 では、9 データの FFT スペクトルを二次元表示とし、スペクトル強度のみをコンター図として表示している。今回のデータの場合、三次元表示としなくてもスペクトル強度をコンター図として、9 データを平行に羅列しても、常に一定の周波数で現れる版厚を示す周波数が判読しやすくなっている。

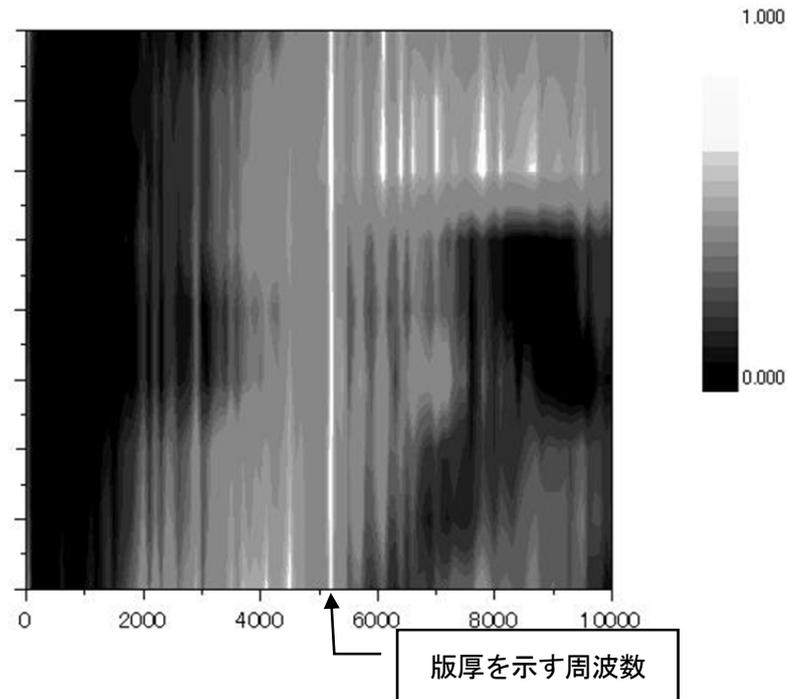


図 4.1.5 二次元コンター表示の例

4.1.3 可視化の効果と課題

衝撃弾性波法で比較的版厚の厚い部材厚を推定する場合は、単純に最大のスペクトル強度に着目して版厚を示す周波数を判断できない場合がある。その場合、試験者が得られた FFT スペクトルから総合的に検討する。従って、評価精度を向上させる目的で複数のデータを用いて判断する場合、単純な加算平均などの手法が適用できず、複数のデータ（FFT スペクトル）を同時に俯瞰して判断することが必要となる。

本事例では、平均化など単純に複数のデータを同時に考慮しにくい場合に、可視化の手法を応用して複数のデータを同時に判断しやすくする事例として示した。試験者の正確な評価をアシストする手法として、複数のデータを全体的に俯瞰できる表示方法は有効であり、その一つとしてここで示したような可視化方法が有効に活用できると思われる。ただし、これらは多くの方法の一部であり対象とするデータや目的により多彩な表現方法があろうかと思われる。

しかし、一般的に可視化手法を利用して表現を多彩にすることはデータ処理の作業量として煩雑となることが多く、作業量と期待できる効果の関係を勘案して利用することが重要であると思われる。

(執筆者：稲熊 唯史)

4.2 目視法によるひび割れ分布の可視化

4.2.1 概要

(1) 一般的な評価方法と課題

コンクリート構造物の劣化が進行すると、コンクリート表面に変状が顕在化する場合が多く、中でももっとも一般的な変状がひび割れである。目視法によるひび割れ調査は、ひび割れが発生したコンクリート構造物にできるだけ近接して、ひび割れの発生方向・パターン・本数・代表的なひび割れの幅や長さなどの観察および記録を行うことを基本としている。ひび割れの変状の進行が懸念されるものについては、継続的にひび割れ調査を行うことで、変状の進行状況を把握することができる。

目視法によるひび割れ調査は、比較的簡便に調査の実施が可能であり、コンクリートの変状の有無と拡がり迅速に把握することができるため、緊急対策の必要性、さらに詳細な非破壊試験などの必要性を判断するなど、コンクリート構造物の維持管理において重要な調査であると言える。

しかし、コンクリート表面に無数に存在するひび割れから必要なひび割れ図を適切に作成するためには相当の試験者の経験を必要とする。また、公共事業により維持管理が行われる土木構造物においては、初回点検・定期点検・臨時点検・詳細調査それぞれの段階で、同一試験者が調査に携わることは極めて少なく、過去の構造物の劣化の履歴をひび割れ図などの既往書類から読み解く必要が生じる。

しかし、ひび割れ図の作成方法自体も、次項に示す手順などが示されるものの、公的なルール化はされていない。そのため、“ひび割れ図の記録”の段階にも、試験者の経験と技術により差異が生じやすく、課題となっている。

ひび割れ図を、よりわかりやすく表現することは、継続的に実施する維持管理において重要な課題であると考えられる。

(2) 可視化により期待される効果

試験者はひび割れ図から、変状の劣化機構との関連付け、時系列での進行性の有無などの情報を得て、非破壊調査や局部破壊調査などの必要性を判断する。また、補修・補強工事が実施される今後においては、補修・補強対策箇所や再劣化の状況なども重要な情報となる。

よりわかりやすく可視化されたひび割れ図を適用することによって、試験者はこれらの重要な判断を素早く、適切に実施することが可能になると考えられる。

(3) 可視化事例の概要

目視法によるひび割れ図作成における、一般的なデータ処理フローを図4.2.1に示す。

現地で記録したスケッチおよび変状写真より、ひび割れ図の電子化を行う。変状の多いひび割れ図は、情報量が多く、ひび割れの重要度などが把握しづらいため、試験者の判断に時間を要する場合がある。特に、目視法によるひび割れ調査は、その調査結果を踏まえて詳細調査の必要性、補修・補強対策の必要性など極めて重要な判断を要求されている。

そこで、本事例では、PC中空床版橋(図4.2.2)に対するひび割れ把握精度を向上させることを目的として、ひび割れ規模による色分類表示、劣化因子情報を重ね合わせた表示を行った事例を示す。

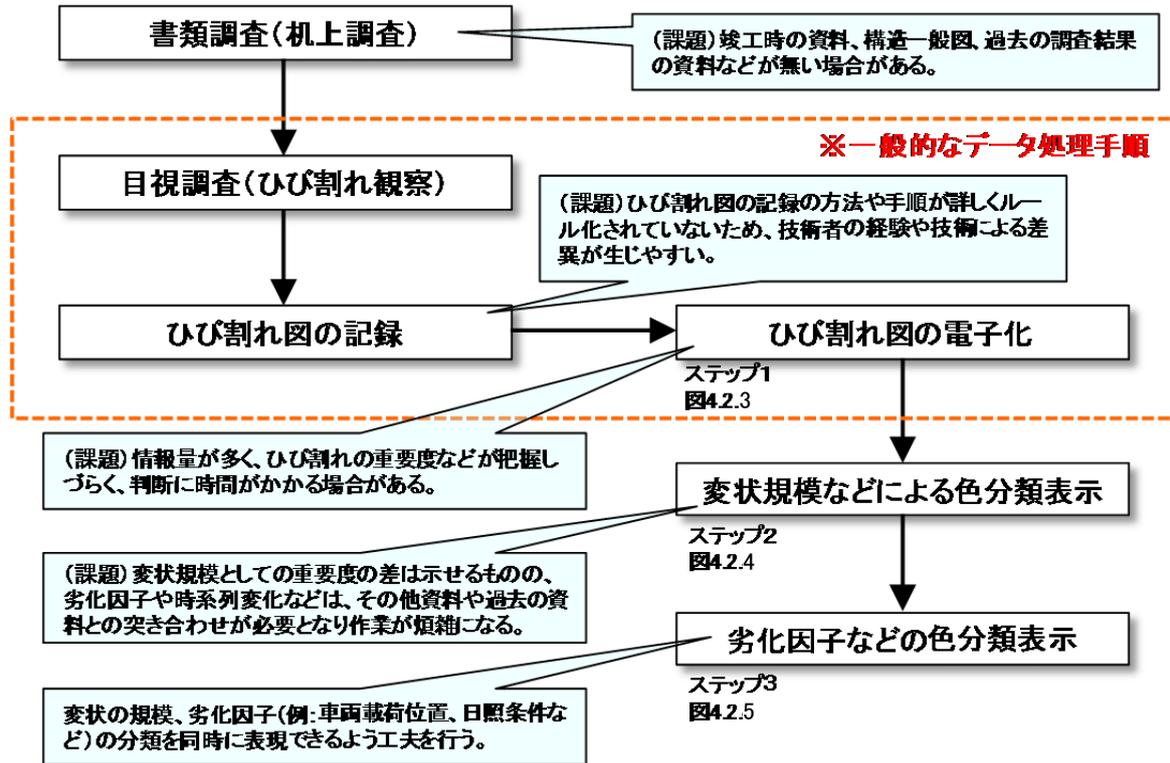


図 4.2.1 目視法によるひび割れ図作成手順

【対象構造物 諸元情報】

- 構造形式：PC 中空床版橋
- 架設年次：昭和 48 年（架設後 39 年経過）



PC 中空床版橋



図 4.2.2 対象構造物

4.2.2 可視化の事例

【ステップ1】

現地で記録したスケッチおよび変状写真より、ひび割れ図の電子化を行った例を図4.2.3に示す。

通常は、図4.2.3のひび割れ図に、変状写真集および調査報告書を添付するが、現地調査の際はひび割れ図をもとに追跡調査を実施する例が多い。また、変状の多い構造物の場合、ひび割れ図の情報量が多くなり、ひび割れの重要度などが把握しづらく、試験者の判断に時間を要する場合がある。

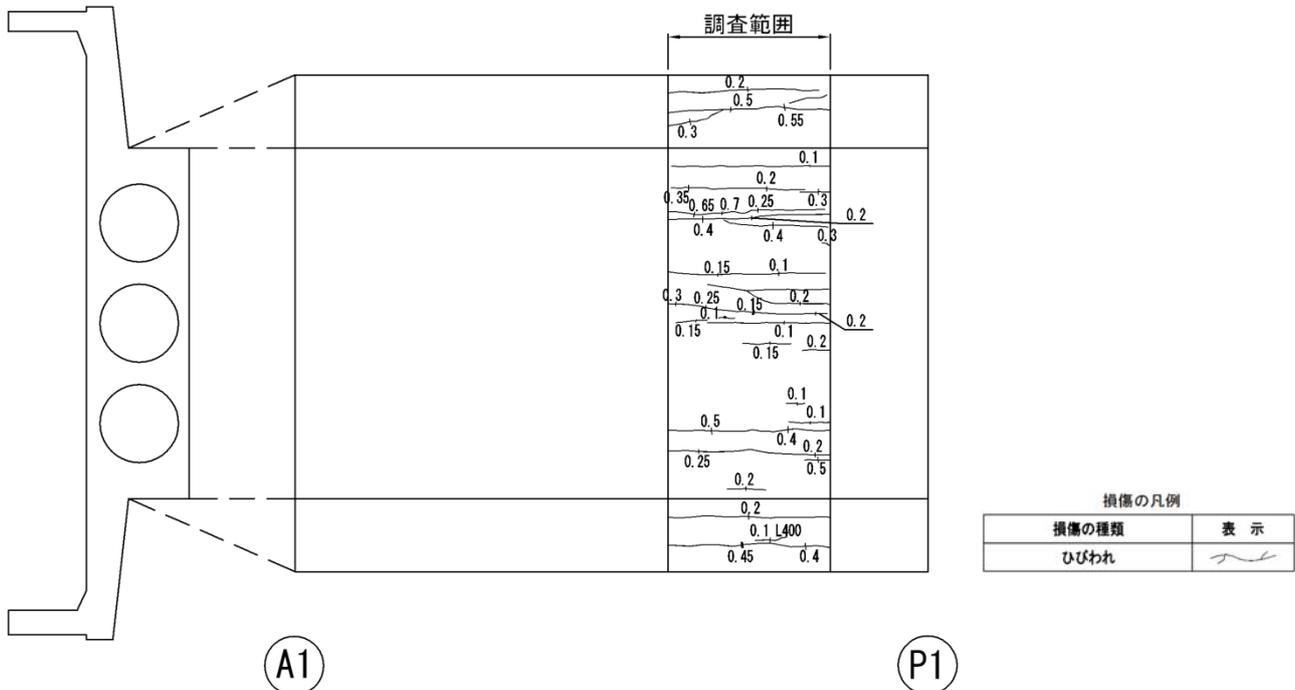


図4.2.3 一般的なひび割れ表現の例【ステップ1】

【ステップ2】

図4.2.4では、ひび割れ把握精度を向上させることを目的として、ひび割れ規模（ひび割れ幅）による色分類表示を行った例を示す。

ひび割れ幅の変化を色分類表示することで、版厚の薄くなる3本のボイド下面でひび割れ幅が大きくなっていることが分かる。ひび割れ原因によっては、ステップ2で試験者の判断が可能になる場合もあるが、ひび割れ幅の分布把握のみでは、試験者の判断支援の効果が少ない場合もある。

【ステップ3】

図4.2.5では、ステップ2のひび割れ図に、劣化因子情報を重ね合わせた例である。ここでの劣化因子情報は、降雨などによる伝い水の影響範囲を示した。

3本のボイド下面のうち、降雨などの伝い水の影響を受けやすい両端のボイド下面においてよりひび割れ幅が大きくなっていることが分かる。通常の調査では、これらの情報を踏まえて、非破壊調査や局部破壊調査の項目、調査地点選定を行うこととなる。

なお、有効な劣化因子情報として、車両載荷位置、日照条件などが挙げられる。

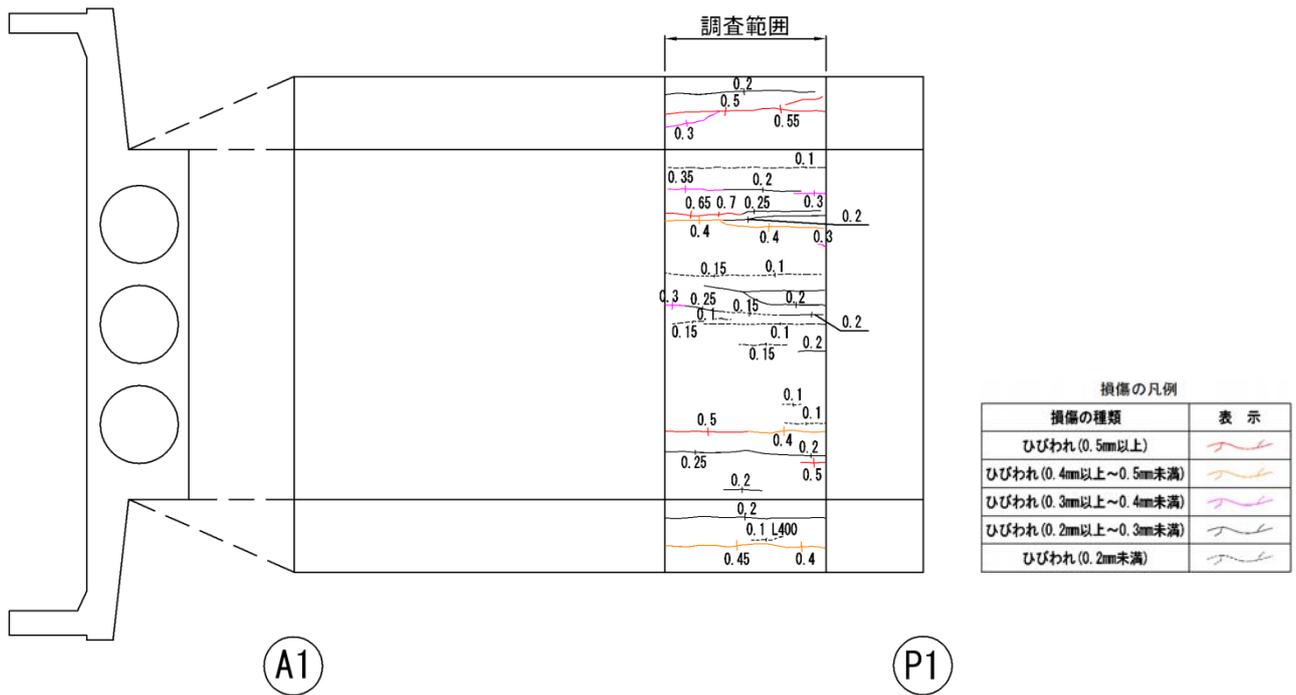


図 4.2.4 変状規模などによる色分類の例【ステップ2】

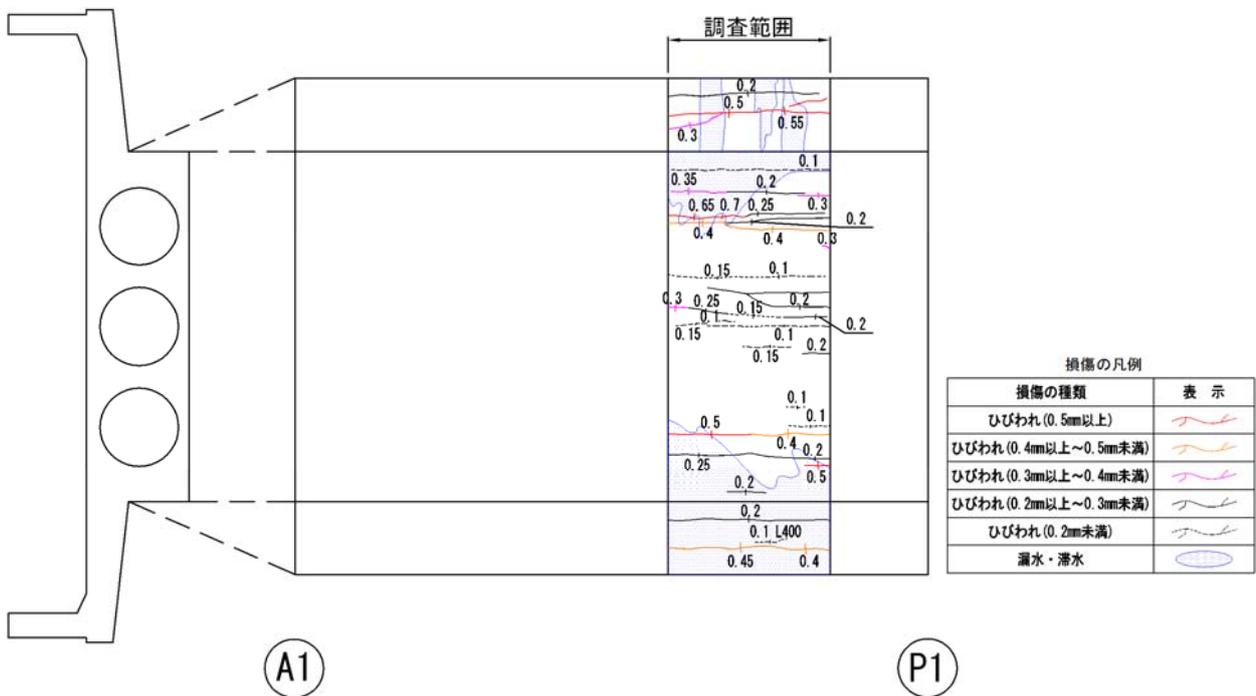


図 4.2.5 劣化因子情報を重ね合わせた例【ステップ3】

4.2.3 可視化の効果と課題

目視法などによりひび割れ調査を行う場合に、単純にひび割れ図を作成するのみではその後の補修・補強対策の必要性、さらに詳細な非破壊試験や局部破壊調査などの必要性の判断が困難な場合がある。通常は、経験豊富な熟練した試験者が、書類調査や現地踏査を踏まえた上で、技術的な判断を行っている。

本事例では、情報量が多くひび割れの重要度などが把握しづらい場合に、表現方法を工夫することで、試験者が判断しやすくする事例を示した。本事例のように、よりわかりやすく可視化されたひび割れ図を適用することによって、試験者は必要な判断を素早く、適切に実施することが可能になると考えられる。

ただし、本事例は、多くの表現方法の一例にすぎず、対象構造物、時系列変化、劣化因子や補修・補強対策の必要性など、判断項目によっては、より有効かつ多彩な表現方法があると考えられる。

ステップ2でも述べたとおり、判断項目によっては、簡易な表現で試験者が容易に判断することが可能な場合もある。そのため、可視化表現の利用は、データ処理の作業量と、期待できる効果の関係を勘案して利用することが重要であると考えられる（図4.2.6）。

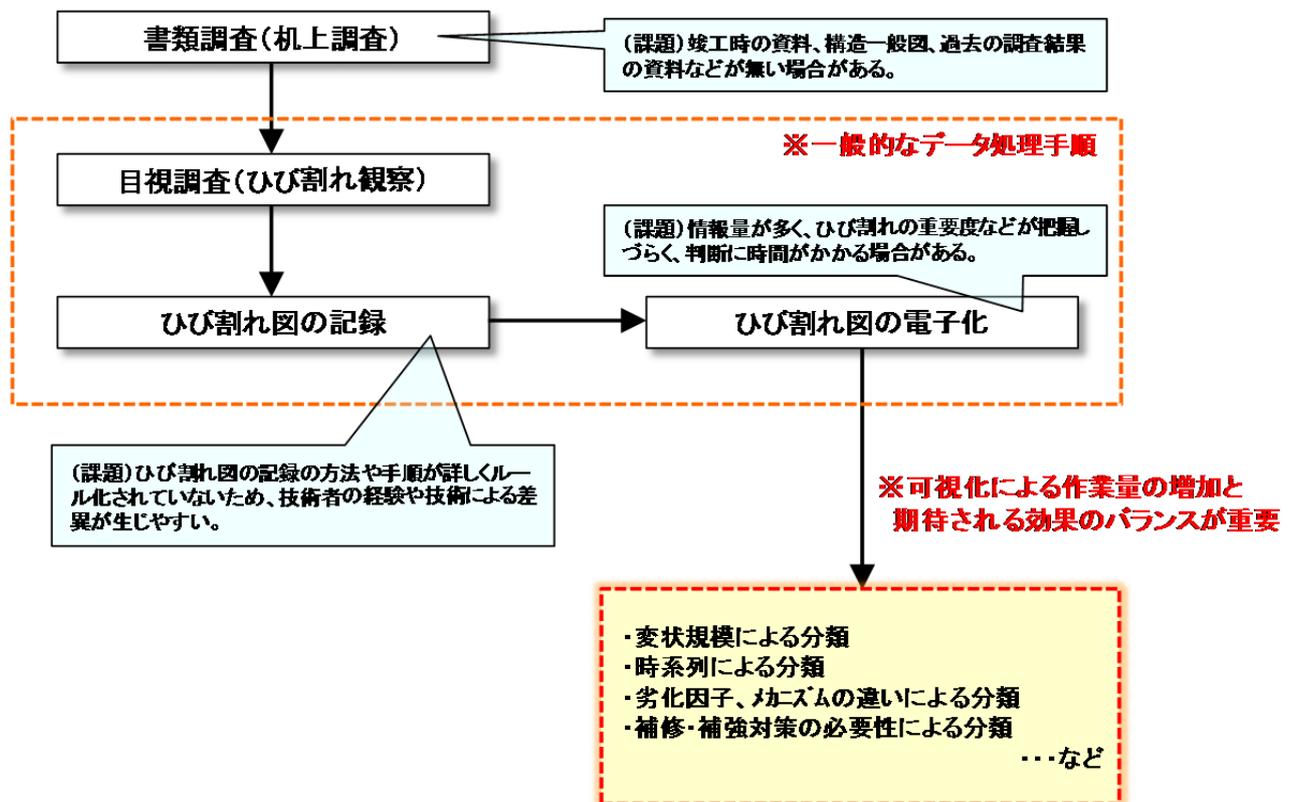


図 4.2.6 目視法によるひび割れ図作成手順と可視化表現の利用

(執筆：掛 園恵)

4.3 打音法によるコンクリート表層欠陥の可視化

4.3.1 概要

(1) 一般的な評価方法と課題

打音法は、コンクリート表面を打撃した時に生じる空気振動を音響機器（マイクロフォン）によって収録し、収録された打撃音波形を分析することでコンクリート表層付近における欠陥の有無を判定する方法である。

打音法による評価方法は、収録された打撃音波形の振幅、減衰、周波数に着目した分析を行うことで、コンクリート内における情報を得ている。一般的な評価方法として、健全部における打撃音波形の分析結果を初期値とすることで、コンクリート内部欠陥（内部空洞やジャンカなど）の評価を行なうことが多い。しかし、この判定の多くは、欠陥の有無、もしくは判定不可の三段階による評価となるため、定性的評価となる。しかし、依頼者側としては、欠陥の有無以外の情報を求めていることが多く、評価結果に対して定量的かつ理解しやすい表現方法が望まれている。なお、本手法では、内部欠陥の種類を判別することは難しいため、ここでは、内部欠陥までの深さや広がりについて述べることにする。

(2) 可視化により期待される効果

打音法による評価方法のうち、ここでは、振幅に着目した定量的な評価方法について述べる。振幅は、振動の大きさを表すパラメータであり、図 4.3.1 に示されるように、ハンマーの打撃力を一定の大きさとした場合に、部材厚が薄ければ打撃音振幅は大きくなり、厚くなるほど打撃音振幅は小さくなることを示している。この関係は、部材厚と振幅値比（最大打撃力振幅 F_{max} と打撃音振幅 P_{max} の比、図 4.3.2 参照）に相関関係があることから（図 4.3.3）、事前に部材厚が既知であるコンクリート試験体を用いて、部材厚と振幅値比の関係式を導き出し、対象となるコンクリート構造物内に存在する内部欠陥までの深さもしくは、未知の部材厚を推定することが可能となる。したがって、調査対象となるコンクリート構造物の部材毎に健全部における初期値を測定・分析する必要はなくなるため、測定後における煩雑な分析等を行う必要はない。また、欠陥範囲の分布のみではなく、深さ方向に対する情報を定量的に把握することが可能となることから、依頼者に対して欠陥に対する評価や補修範囲等を数量的に提示することが可能になるとと思われる。

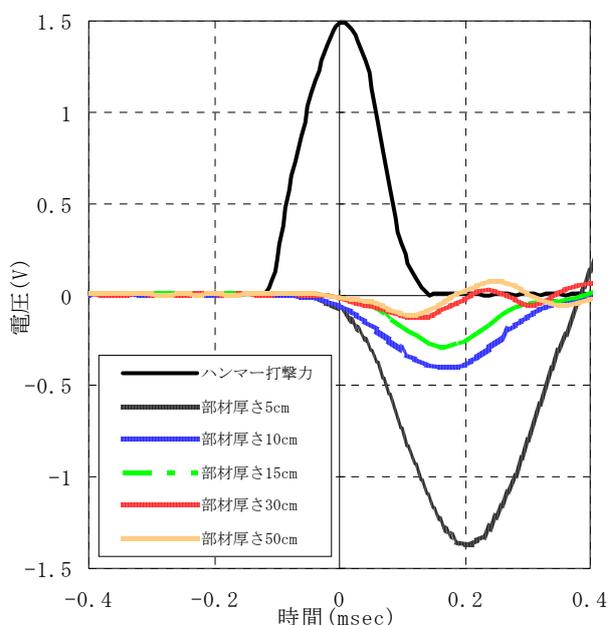


図 4.3.1 部材厚が異なる打音法結果

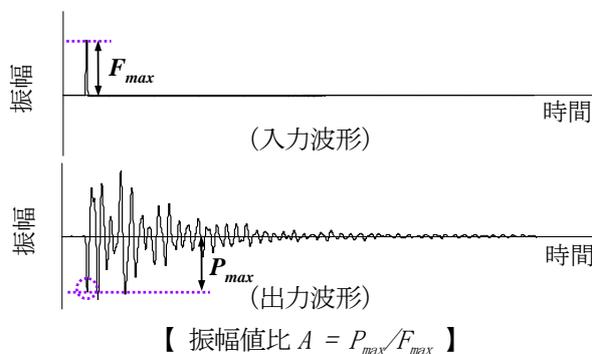


図 4.3.2 振幅値比算定概念

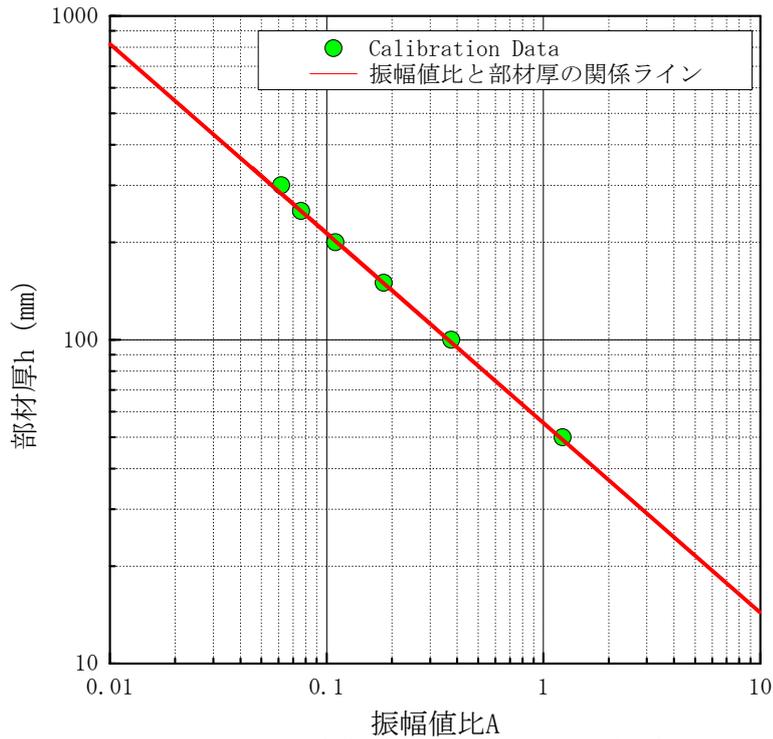


図 4.3.3 振幅値比と部材厚の関係式の例

(3) 可視化事例の概要

測定結果の可視化は図 4.3.4 に示された手順により行う。

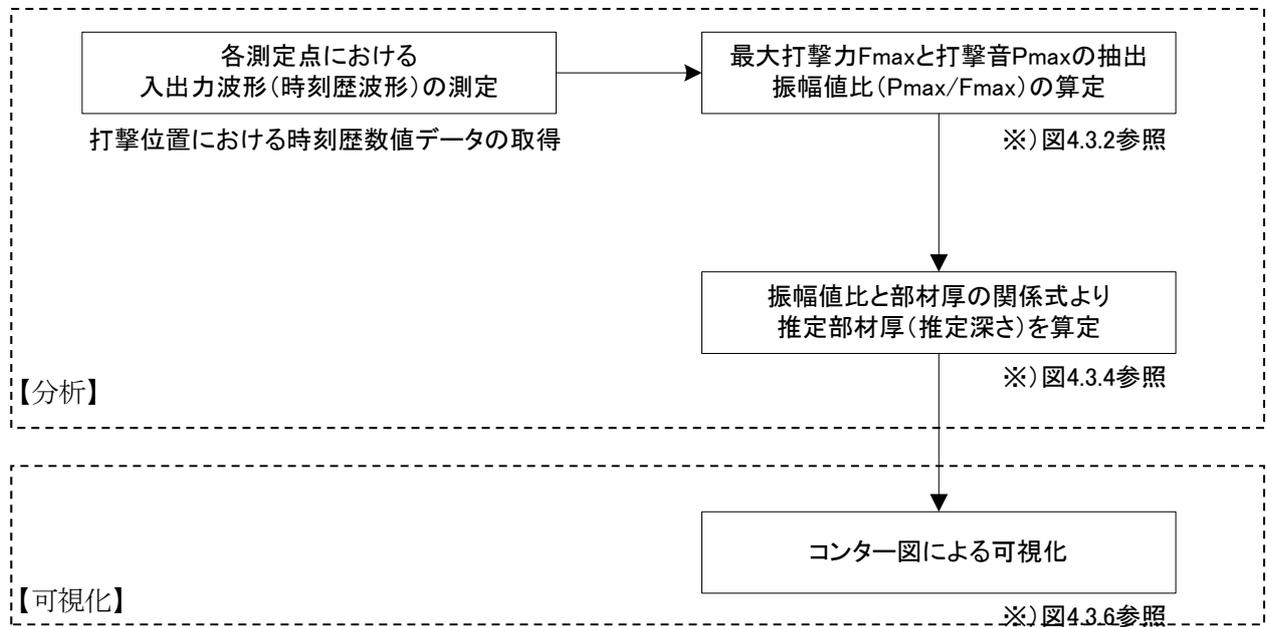


図 4.3.4 可視化までの作業フロー図

4.3.2 可視化の事例

可視化の事例を以下に示す。対象構造物は、橋脚壁面であり、コンクリート表層付近におけるはく離深さおよびはく離の広がりをもコンター図により可視化した事例である（図 4.3.5、図 4.3.6）。

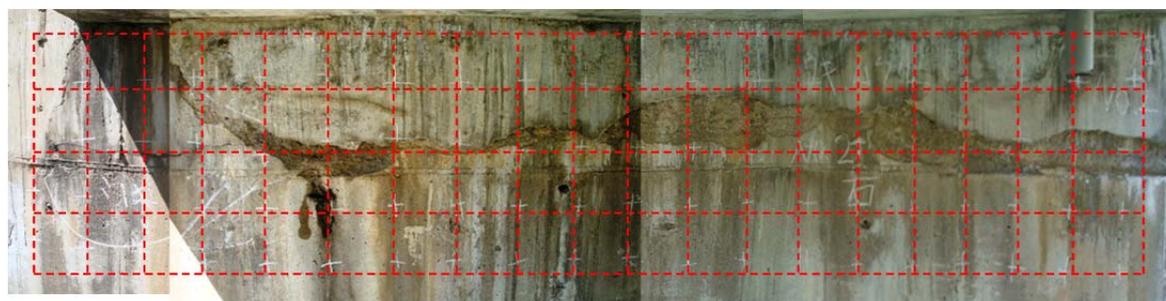


図 4.3.5 橋脚壁面状況（格子点内調査位置）

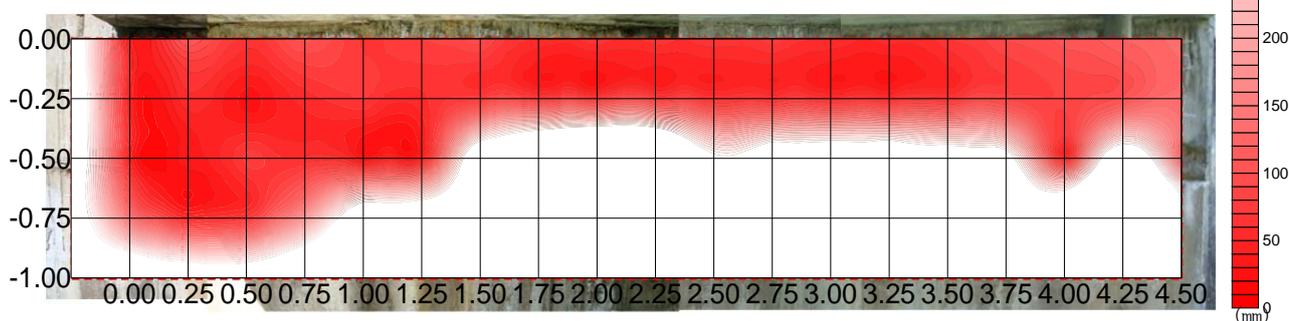


図 4.3.6 コンター図による評価（欠陥範囲）

4.3.3 可視化の効果と課題

本事例では、欠陥までの深さおよび欠陥の広がりに対する情報を可視化したものである。事例のように表現することで、ビジュアル的に判断することが可能となり、依頼者に対する結果説明や評価結果に対する理解度を高めることが可能となる。また、欠陥の広がりや欠陥までの深さに関する情報を定量的に得ていることから、概略ではあるが、補修範囲や補修を行うための数量等を算定することが可能となる。ただし、本手法は、欠陥までの深さと広がりに対する情報を可視化したものであり、欠陥の種類（空洞やジャンカ）など他の情報を評価することは出来ない。したがって、その他、多くの情報を得るためには、本手法のみならず、複合的に調査を実施し、試験者を含めた協議を十分に行った上で総合的に評価を行うことが必要である。

（執筆者：北川 真也）

4.4 赤外線サーモグラフィ法によるコンクリート表層欠陥の可視化

4.4.1 概要

(1) 一般的な評価方法と課題

赤外線サーモグラフィ法による非破壊試験は、赤外線サーモグラフィにより撮影された赤外線画像（表面温度画像）を用いて、構造物表層の変状（浮き、はく離、ひび割れ、漏水など）を検出する手法である。非破壊かつ非接触で対象物の広範囲を効率良く試験することが可能である。

赤外線サーモグラフィ法で得られるデータは画像であり、既に本WGで議論される可視化のレベルに達している点が本手法の特徴である。ただし、赤外線画像を用いて構造物の評価、診断を行う際には、評価の信頼性や分かりやすさを考慮した画像処理などの加工が行われることも多い。また、複数の赤外線画像の演算処理や解析による新たな可視化データに基づく評価手法も提案されている。

以下に、赤外線サーモグラフィ法におけるデータ処理方法の代表的なものを整理し、その加工、可視化度合いと評価の信頼性の関連について述べる。

(2) 可視化により期待される効果

赤外線サーモグラフィ法により得られる生データは赤外線画像であり、対象物の表面温度分布が一目で分かる状態にある。本委員会における可視化の定義「信頼性向上に寄与する測定結果の確からしさの向上を目的としたデータ表現の高度化」によれば、赤外線画像は可視化されたデータには当たらないといえる。

表4.4.1は、赤外線サーモグラフィ法において実用または提案されている代表的なデータ処理方法であり、可視化により期待される効果も併せて示している。

表 4.4.1 赤外線サーモグラフィ法における代表的な可視化方法

番号	種類	内容	効果
1	スパン、レンジ調整	赤外線画像の温度レンジ(中心温度)、スパン(表示温度幅)を調整	○注目する箇所の変状を顕在化 ×温度ムラがある場合、注目箇所以外の情報が消える恐れがある
2	画像加算、減算①	熱的变化(日射など)の発生前後の赤外線画像を減算処理	○注目する箇所の変状を顕在化 ○表面の色ムラなど見掛けの温度差がある場合に効果大 ×熱的变化が不均質(加熱ムラ)な場合逆効果な場合もある ×撮影に時間がかかる
3	画像加算、減算②	赤外線画像の時系列変化を画像加算	○微小な温度変化を明確化 ×撮影に時間がかかる
4	画像処理	(例えば)赤外線画像の周期的な変化を画像加算により積算	○微小な温度変化を明確化 ×高度な技術が必要 ×土木分野での適用事例は少ない
5	動画化	赤外線画像の時系列変化を動画により表現	○視覚的に変状の様子を理解しやすい ○微小な温度変化を抽出可能な場合もある ×紙ベースの報告書では実現不可
6	可視画像との重ね合せ	同視野の可視画像と赤外線画像を併記または重ね合せ	○変状箇所と温度異常の関係が明確
7	グラフ化	特定箇所のラインプロファイル(1次元の温度分布)をグラフ化	○画像では分かりにくい温度分布を強調できる ○2~4の手法と組合せると効果大

4.4.2 可視化の事例

表4.4.1に示した信頼性向上に寄与するための各種データ処理（可視化）手法について、実例を挙げる。

(1) スパン、レンジ調整

赤外線画像は、温度レンジ（表示温度の中心値）、スパン（表示温度幅）の設定により得られる情報が異なる。図 4. 4. 1 は、はく離の生じたコンクリート構造物の赤外線画像である。図 4. 4. 1 (a) 及び図 4. 4. 1 (b) は同一データであるが、温度レンジ、スパンを調整した図 4. 4. 1 (b) の方が、図 4. 4. 1 (a) に比べてはく離部に生じた温度差が明確に認識できる。

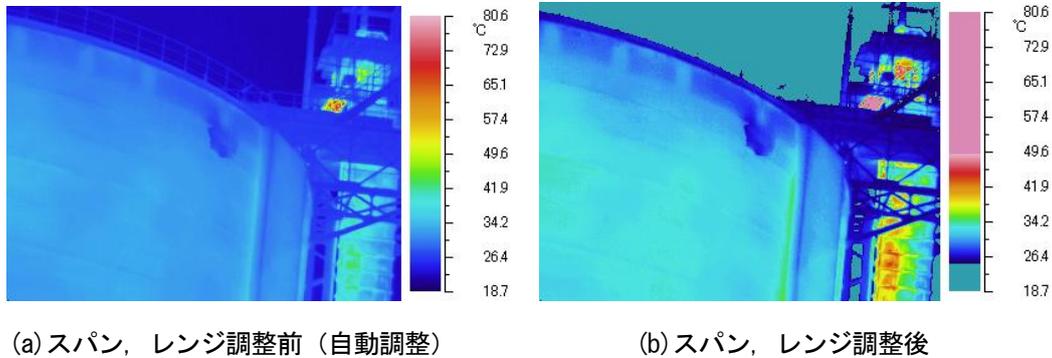
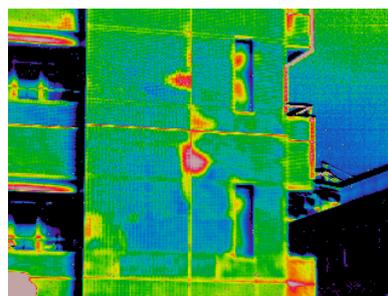
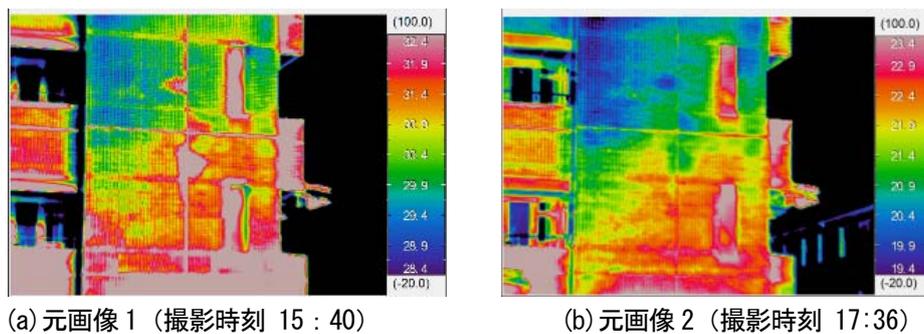


図 4. 4. 1 可視化事例（スパン、レンジ調整）

(2) 減算処理

建設分野における赤外線サーモグラフィ法による非破壊試験では、構造物などの対象物が動くことは少なく、定点観測による時間変化を計測することは比較的容易である。任意の一時点において得られた情報よりも時間変化を伴う情報の方が有益な場合は多く、図 4. 4. 2 に示す事例では異なる時刻における赤外線画像を減算処理した場合である。図 4. 4. 2 (a) 及び図 4. 4. 2 (b) に示す撮影時刻の異なる赤外線画像には、様々な温度変化箇所が観察される。欠陥として発見したい外壁の変状に伴う温度変化箇所以外にも、外壁の凸凹、高さ方向に生じた温度ムラ（低層部が全体的に高温）などが混在している。図 4. 4. 2 (c) は 2 つの元画像を減算処理した画像である。外壁の変状に伴う温度変化箇所のみが強調され、試験者あるいは依頼者への理解を容易にしている。

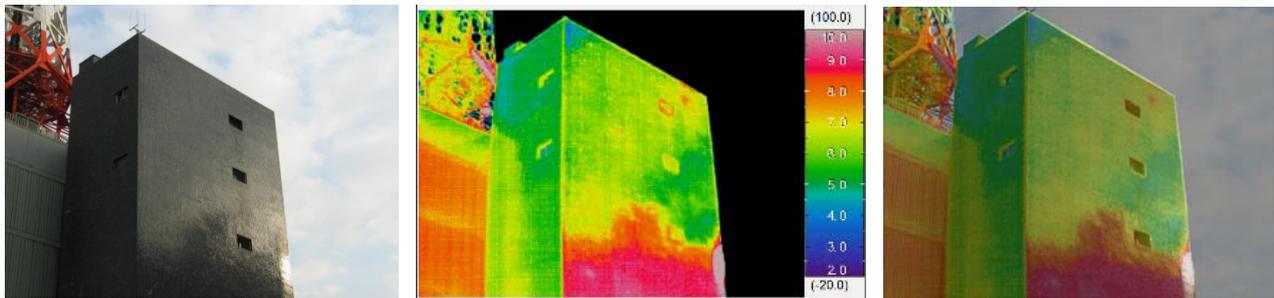


(c) 元画像 1 及び元画像 2 の減算処理画像

図 4. 4. 2 可視化事例（可視画像との重ね合わせ）

(3) 可視画像との重ね合せ

太陽光や背景反射など対象物の変状と無関係な温度変化が生データに含まれることが少なくない。また、対象物の色ムラや放射率の異なる異種材料が顕著な温度差として観察される。図 4.4.3 に示す事例では反射率の高いタイル外壁の一部に日射が当たり、赤外線画像には日射の反射が見かけの温度差として現れている。このような場合、赤外線画像と同じ範囲を撮影した可視画像と赤外線画像を並べるあるいは重ね合わせ、さらに注釈などを付記することにより、依頼者への理解を助けることができる。



(a) 可視画像

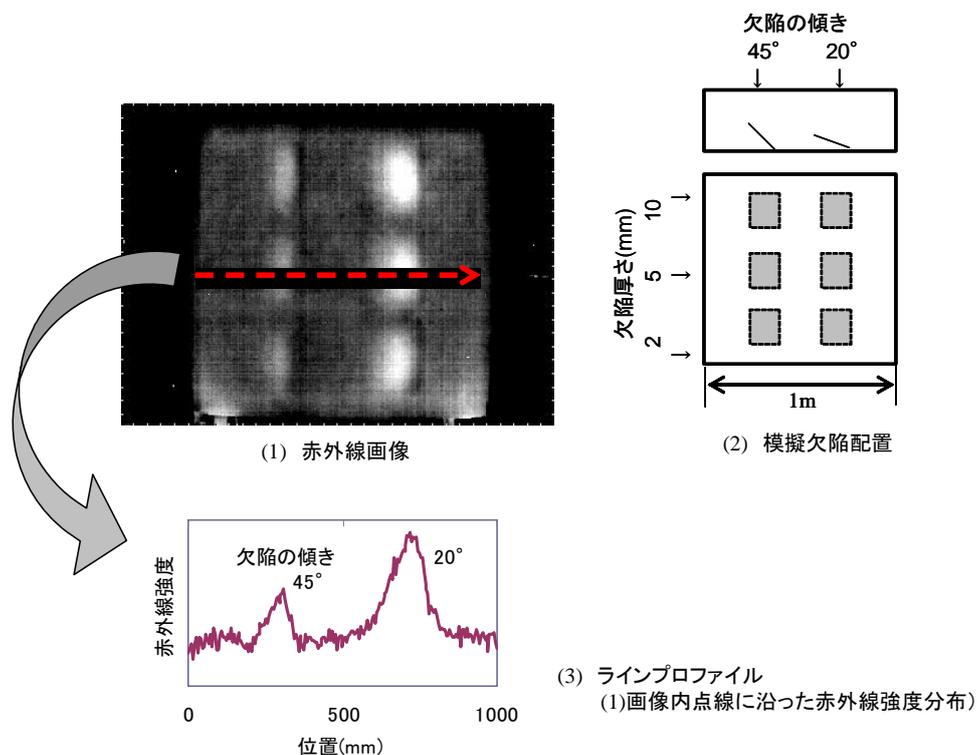
(b) 赤外線画像

(c) 合成画像

図 4.4.3 可視化事例（可視画像との重ね合わせ）

(4) グラフ化（ラインプロファイル）

変状と判断される画像中的一部分の温度分布をラインプロファイルとして1次元のデータにグラフ化することにより、変状の存在やその程度が理解しやすくなることもある。図 4.4.4 は、表面付近から奥に向けて斜めに模擬欠陥が配置された試験体の赤外線画像と模擬欠陥を横切るラインプロファイルである。赤外線画像からは大きさの異なる欠陥の存在しか確認できない。一方、ラインプロファイルでは斜め模擬欠陥の角度の違いが良く分かる。



(1) 赤外線画像

(2) 模擬欠陥配置

(3) ラインプロファイル

(1) 画像内点線に沿った赤外線強度分布)

図 4.4.4 可視化事例（グラフ化）

4.4.3 可視化の効果と課題

赤外線サーモグラフィ法における可視化は、既に画像化された生データ（赤外線画像）から例えば浮き、はく離などの変状を抽出、あるいは分かりやすく表現するデータ処理に関するものが大部分である。非破壊試験としての信頼性を高めるためには、標準的な可視化方法を確立することが望ましい。しかし、例えば2009年に制定されたNDIS3428「赤外線サーモグラフィ法による建築・土木構造物表層部の変状評価のための試験方法」においても、温度異常部を変状として評価するための判断基準や判断のためのデータ処理方法については記載が無い。試験者の技量に委ねられているのが実情である。

前項までに述べたように、信頼性の高い変状の評価、診断に用いるための可視化手法はいくつも提案され、活用されている。各可視化手法の適用範囲や標準的な方法の確立が今後の課題である。

(執筆者：中村 士郎)

4.5 放射線透過試験法による埋設物等の可視化

4.5.1 概要

(1) 一般的な評価方法と課題

放射線透過試験法（X線法）は、X線が物体の種類、厚さ、密度によって物体を透過する能力が異なることを利用して、透過したX線強度をX線フィルムやイメージングプレート等で写し出し、鉄筋や埋設管の位置確認、版厚の測定、鉄筋の溶接部の欠陥などを検出する非破壊試験である。

X線法は、対象検出物に直接X線を照射し、透過画像を得るため、もともと精度の高い非破壊試験として用いられているが、撮影条件によっては対象としている検出物を確認出来ない場合や誤差を生じることがある。例えば、シース管内の空洞の調査において、鋼材と空洞がちょうど重なっている場合や鉄筋溶接部の確認試験において薄い欠陥部に対してX線照射方向が垂直に撮影されていない場合などである。X線の透過画像は、「内部の状況を正確に透過した画像」であることに間違いはないが、その画像を判断する際、鋼材などのようなX線を吸収しやすい物質の画像の影には、吸収しにくい物質が隠れている可能性があること、また、得られる画像は三次元の空間データを二次元に重ねた拡大画像であることを忘れてはいけない。

(2) 可視化により期待される効果

X線法によって得られるデータは、もともと可視化された画像であるため、ここでは「可視化により期待される効果」として、X線透過画像の撮影方法や、他の試験方法との重ね合わせおよび画像処理によりデータ表現を工夫し、より評価精度を向上させるための提案を行う。

提案の一つ目として、同一箇所を別の角度から撮影し、立体視鏡などを用いて三次元的に観察する方法である。X線法は透過画像であるため、一般の写真のような画像とは異なるが、コンクリート中の鉄筋の配置やひび割れなどの形状を視覚的に捉えられるため、データの信頼性は向上するものと思われる。後の事例では、ひび割れに対して造影剤を注入した結果を紹介する。

提案の二つ目として、X線法を用いて空洞やひび割れの検出を行う場合、その箇所に吸収係数の高い物質（造影剤）を注入し撮影を行うことによって、より明瞭に検出が可能となる。シース管内に生じる空洞などは、X線で一度撮影を行い、不明確な箇所に5mm程度のドリルで穿孔し、造影剤を注して撮影を行えば、空隙の大きさや範囲を明瞭にするものと期待できる。

提案の三つ目として、上記提案において撮影された造影剤注入前後の画像において、画像処理を用いて両者の差を求めることによって、変化した箇所のみを抽出することが可能となる。

(3) 可視化事例の概要

上記の提案について段階的な行程を図4.5.1に示す。今回の事例は、鉄筋コンクリート内に発生したひび割れの検出を目的に書かれている。一般的なX線法では、検出物に対して数枚、同一地点又は移動して撮影を行い、得られた画像から直接評価する場合と、フィルム上に写し出された標点などの移動距離から計算によって厚さや位置の測定を行う場合とがある。今回の提案では、目視画像から始まり、造影剤を注入前と後で撮影を行い、得られた画像から三次元でひび割れを観察するとともに、画像処理からひび割れだけを抽出する事例を示す。

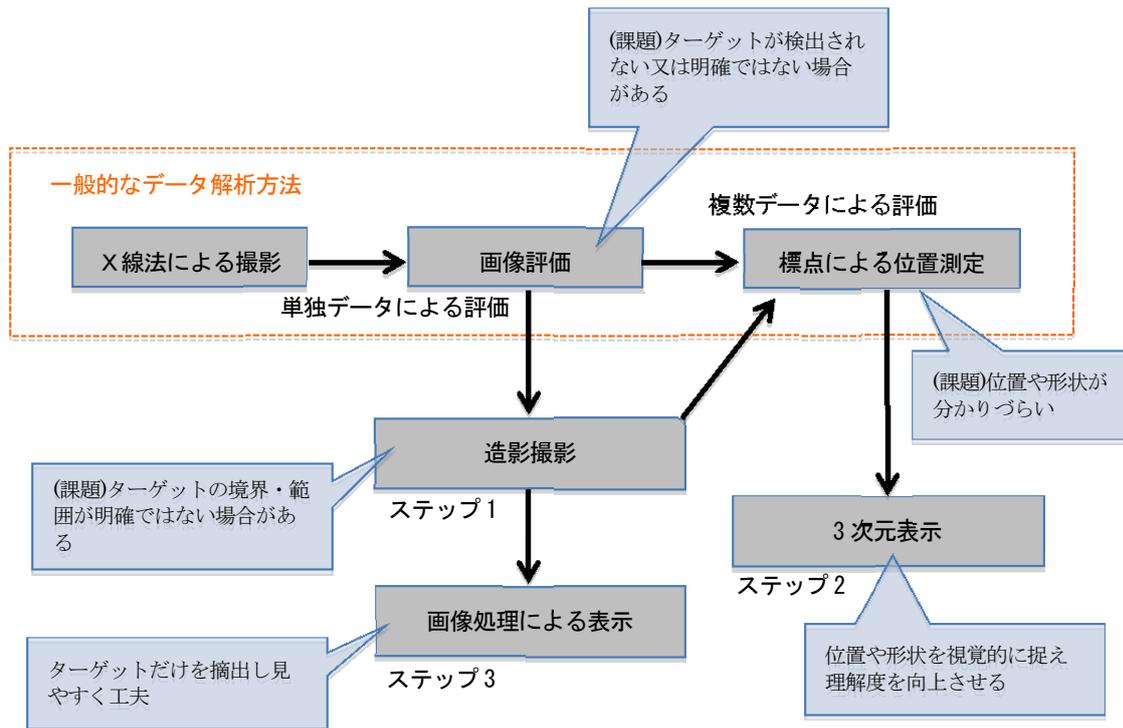


図 4.5.1 放射線透過試験法における可視化の段階的なステップ

4.5.2 可視化の事例

【ステップ 1】

図 4.5.2 は、両引き試験後の鉄筋コンクリート供試体の目視画像である。鉛直方向と水平方向にひび割れが入っているのが分かる。この供試体を X 線法で撮影したものが図 4.5.3 である。図 4.5.2 で見られたひび割れ（点線）を重ねると、表層のひび割れと検出されたひび割れとはずれており、別の箇所が発生したひび割れであることがわかる。この状態では、コンクリート内部に発生したひび割れの範囲が明確ではない。次に、この供試体のひび割れに造影剤を浸透させて X 線撮影したものが、図 4.5.4 である。造影撮影を行うことにより、ひび割れの幅や長さが明確になるが、ひび割れの形状が不明でどの様にひび割れが入っているのか分からない状況である。

【ステップ 2】

図 4.5.4 では、ひび割れの幅や長さを知ることが出来たが、この画像だけでは、ひび割れがどのような形状をしているのかは分かりづらい。そこで、造影剤を注入した後の供試体に対して、別々の 2 箇所 X 線撮影を行い、その画像を立体視鏡などを用いて、見ることによって、ひび割れの形状を知ることが出来る。図 4.5.5 は、2 箇所から撮影した透過画像（ひび割れ部拡大）である。立体視鏡が無い場合でも、直接肉眼でも平行法によって見ることで、このひび割れ発生状況を立体的に見ることが出来る。この方法を用いることにより、ひび割れの発生状況がより詳細に知ることが出来る。また、複数の鉄筋が存在している場合は、その鉄筋の配置形状も三次元で認識することが可能となる。しかし、図のように鉄筋とひび割れとの境界が不鮮明な場合もある。

【ステップ 3】

ひび割れと鉄筋の境界が不鮮明な問題を解決するため、画像処理を用いて造影剤注入前と注入後の透過画像の差

を求める。図 4.5.6 は、2 枚の透過画像の差を求めた結果を示したものである。この図から、鉄筋やコンクリートのような箇所は、造影剤注入前後で画像に変化が無いため、その差は、0 となり黒く写し出される。一方、ひび割れ部は、新たに検出されたため、差異が大きくなり、白く写し出されている。この様な方法を用いることにより、ひび割れだけの検出が可能となる。



図 4.5.2 両引き試験後の供試体ひび割れ状況

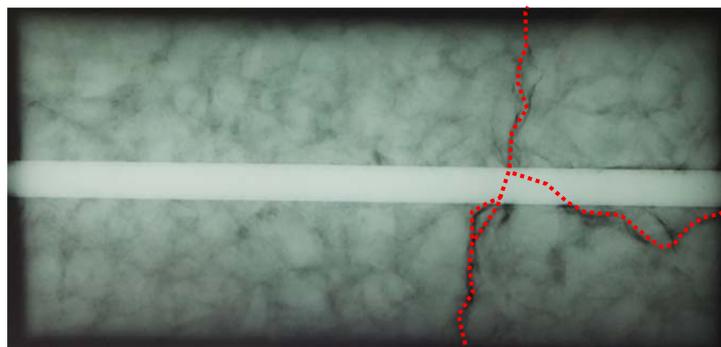


図 4.5.3 X線法による供試体内部の透過画像

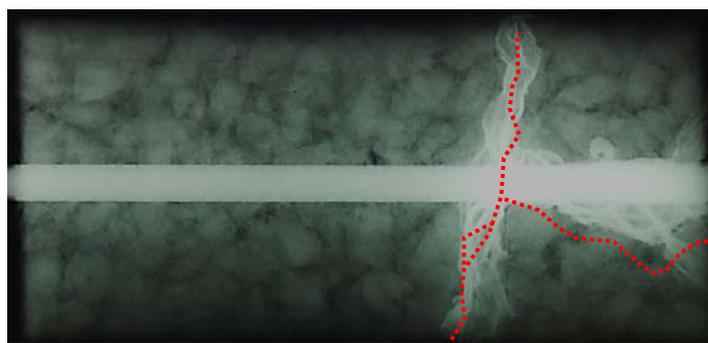
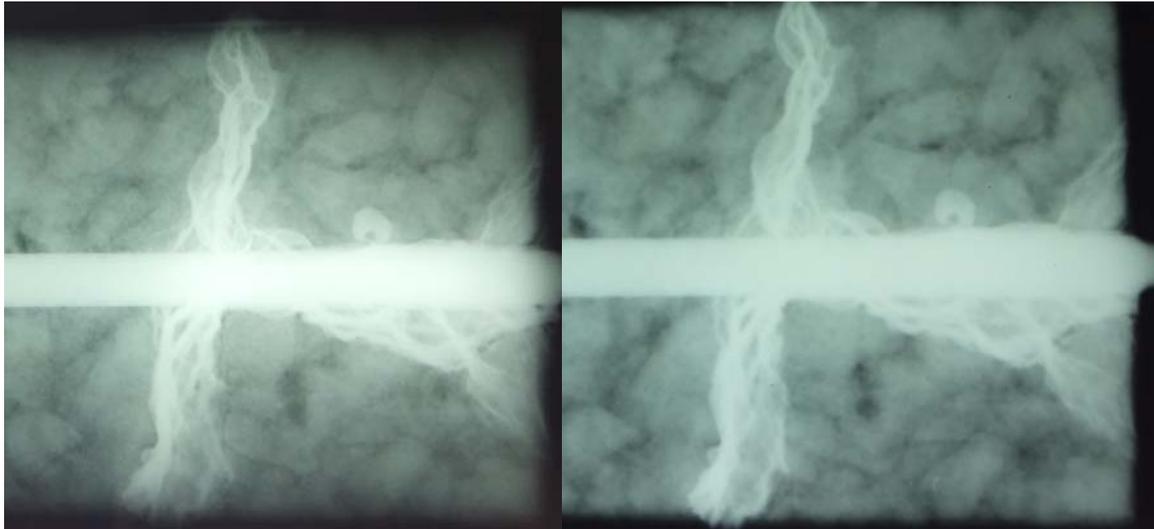


図 4.5.4 造影撮影後の供試体内部の透過画像



左撮影

右撮影

図 4.5.5 別々の箇所による造影撮影結果

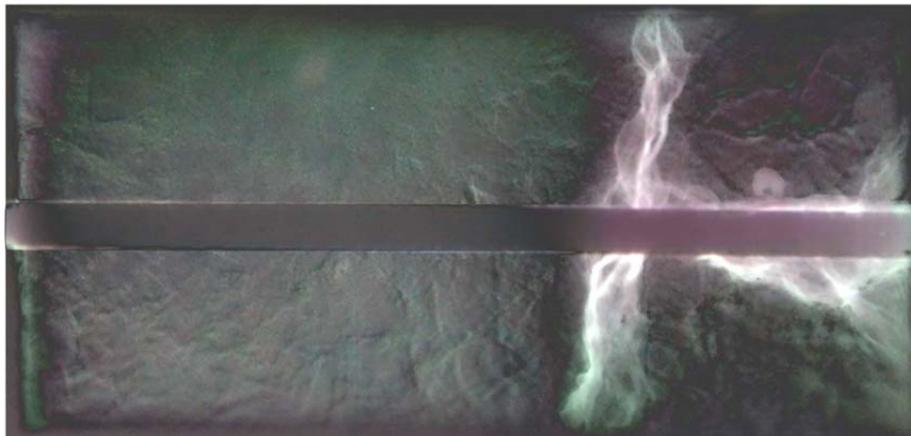


図 4.5.6 造影剤注入前後の透過画像の差異

4.5.3 可視化の効果と課題

今回、コンクリートに発生したひび割れの検出ということで可視化の効果を述べたが、X線法から、造影剤を用いた撮影に進化させ、かつ別角度からの撮影方法や画像処理を用いることによって、見えなかったひび割れや不明であった形状などを知ることが出来ることが分かる。しかし、もともとの画質が悪く判別できない場合や見えないものを画像処理によって見えるようには決してできない。その為、X線撮影によりどの程度までの解像度のある画像を得られるかが重要となる。

今回の事例は、小型の供試体であるため、透過画像の解像度や測定精度は高く、良い結果が得られているが、実構造物の場合には、画質の低下が大きくなることが想定できる。X線法を用いる場合は、より高い解像度の画像を得るための撮影技術が一番重要であり、得られた画像を目的に合わせてどの様に加工するかが試験者の力量であると思われる。

(執筆者：武田 三弘)