

論文 画像解析によるコンクリート構造物の調査・診断の合理化支援技術

木村 正彦^{*1}・衣笠 貢司^{*2}・山内 昌^{*3}

要旨：本論文は、インフラ構造物に対して、デジタルカメラの撮影画像と画像解析技術により、構造物の劣化状況（0.2mm以上のひび割れなど）を正確にデータ化して、損傷画像・損傷図・点検報告諸表の作成、および解析結果などのデータ保存を行うことによって求められる、構造物の正確な経年変化情報より、構造物の監視および分析・診断が誰でも簡便に可能となるシステムを紹介するものである。

本システムは、国土交通省の新技術活用システム（NETIS）にも、コンクリートのひび割れについて遠方から検出が可能な技術「ImageSR-無線撮影装置」として掲載されている。

キーワード：画像解析、コンクリート、ひび割れ、デジタルカメラ、パソコン

1. はじめに

平成24年（2012年）5月21日に、国土交通省「インフラ長寿命化計画（行動計画：平成26年度～平成32年度）」が決定され、国民生活やあらゆる社会経済活動を支える各種施設をインフラとして持続可能なメンテナンスサイクルの構築に向けた取り組みを進めることになった。

今後の人口減少、少子高齢化の進展などといった社会構造の変化によって厳しい財政状況での安心・安全の確保、中長期的な維持管理・更新などに係るトータルコストの縮減や予算の平準化、メンテナンス産業の競争力確保の実現を目指すことになる。

例えば、橋梁（約70万橋）、トンネル（約1万本）などについては、5年に1回の近接目視による点検が省令によって規定された。社会資本の「アセットマネジメント」の観点から、工学関係だけでなく。経済的・経営的な知見を取り入れ、国民・企業の受益向上のため、長期的な視野で実践する体系的な活動が不可欠である。

本論文は、インフラの健全性評価（ヘルスマニタリング）の基本である、0.2mm以上のクラック幅や長さを確認でき、その経時変化を定量的に評価できる画像診断システムを紹介する^①。

2. 画像解析システムの概要

構造物のひび割れの幅・長さや劣化面積の測定は、従来の方法では、現場でのクラックスケールなどによるひび割れ幅および長さ計測と図面への手書きトレースがほとんどであった。

しかしながら、近年のデジタルカメラ（以降、デジカメと表示）およびパソコン（以降、PCと表示）のハードウェアの高性能化と画像処理技術のソフトウェアの進歩により、それらを技術イノベーションのシステム化によって、簡易で低価格な画像診断システムが可能になった。

筆者の一人が、平成15年（2003年）より、市販のデジカメで撮影した任意の方向から画像を専用の画像処理ソフトにより、真上から見た画像に変換（以降、正射影変換と称す）して、構造物のひび割れなどの表面変状を効率的に計測を行うために、蓄積したひび割れデータなどを照合しながら、デジカメによって撮影した画像データを適正に処理するシステムを開発し、実用化した。

表2-1に、開発した画像診断システムの撮影・解析・診断の手順を示す。現場での作業は、写真撮影（表2-1の①）のみで、その後（②～⑥）は全て事務所内でのPC作業で行う。

*1 総合技術経営研究所 代表主宰者C T O・ケイティック㈱ 代表取締役C E O（正会員）

*2 株中部E N 代表取締役

*3 ㈱ケミカル工事 取締役 名古屋支店長（正会員）

表2-1 画像診断システムの手順

- ① 写 真 摄 影
- ↓
- ② 図面読込基準点座標設定
- ↓
- ③ 撮影画像と図面との相対座標表示
- ↓
- ④ 画 像 正 射 影 変 換
- ↓
- ⑤ 変 状 診 断 ト レ ス
- ↓
- ⑥ 診 断 図 ・ 集 計 表

従来の診断方法と比較すると、現場作業は調査時間が削減され、足場などの仮設設備が不要になるので、時間もコストも低減される。さらに、事務所内での事務処理作業もデータが全てデジタル化されているので、診断精度の向上と解析・診断作業量の削減につながる。

2.1 画像システムの撮影・分析・診断の手順

以下に、表2-1の各手順の詳細を説明する。

① 写真撮影（写真2-1）

構造物の撮影に用いるデジカメの性能は、1,500万画素以上、光学レンズの機能を持つ機種（一眼レフ）を使用する。

撮影に際しては、予め基準となる型枠跡・目地などのポイントを設定して、撮影範囲の中の四隅の位置が識別できる状態で撮影する。

この際、正射影変換後の画質の低下を防止するために、可能な限り正射面に近い方向から撮影する。

撮影範囲は、使用するデジカメの性能によって多少異なるが、一般に1,600万画素程度のデジカメを使用する場合では長辺方向4.5m以下程度を推奨範囲とする。なお、一般的に撮影距離は30m程度のものが多いが、光学倍率35倍で撮影距離100mまでの適用を確認している。

② 図面読込基準点座標設定（写真2-2）

まず、構造物の高さ方向、正面方向、奥行方向の基準点および寸法を入力する。この時点で図面データ上での寸法認識が可能である。この基準点が、それ以降の位置情報の基本となり、取り入れた各種図面も使用可能となる。



写真2-1 写真撮影(①)の実例



写真2-2 図面読込基準点座標設定(②)

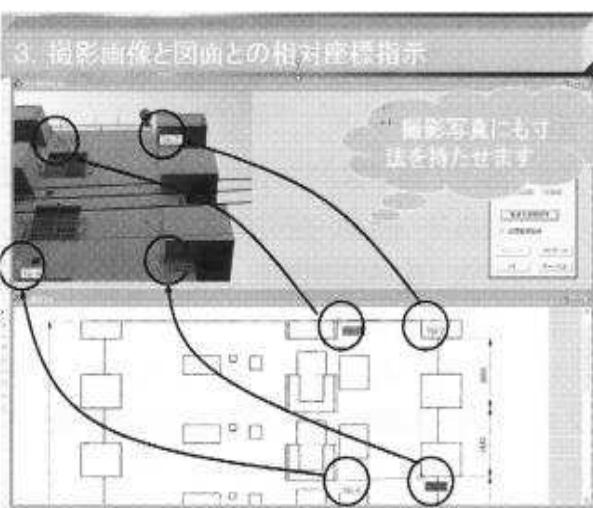


写真2-3 撮影画像と図面との相対座標表示(③)

③ 撮影画像と図面との相対座標表示（写真2-3）

構造物の寸法が認識された図面上のポイントと同じ位置を撮影写真に入力して、写真画像にも高さ方向（Z方向）、平面方向（X方向・Y方向）の寸法情報を認識させ符合化してデータ化する。

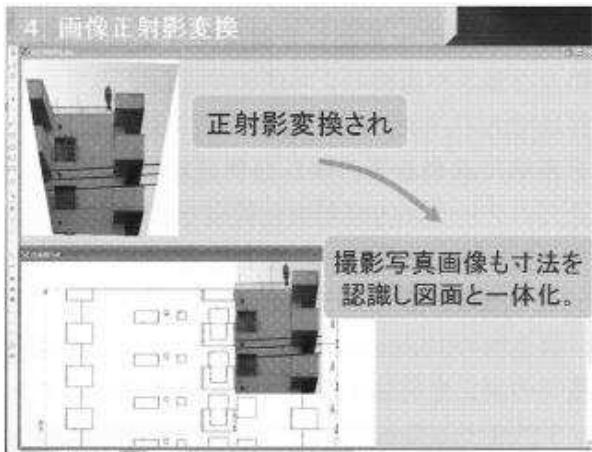


写真2-4 画像正射影変換 (④)

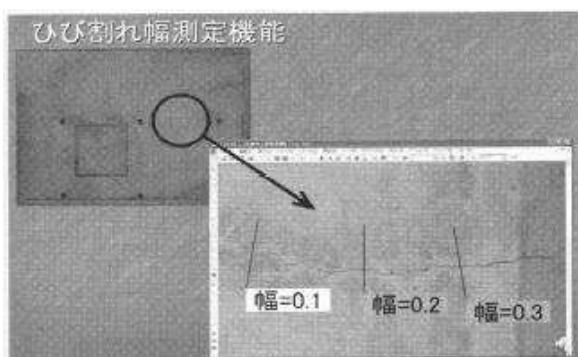


写真2-5 ひび割れ幅の測定 (⑤-1)

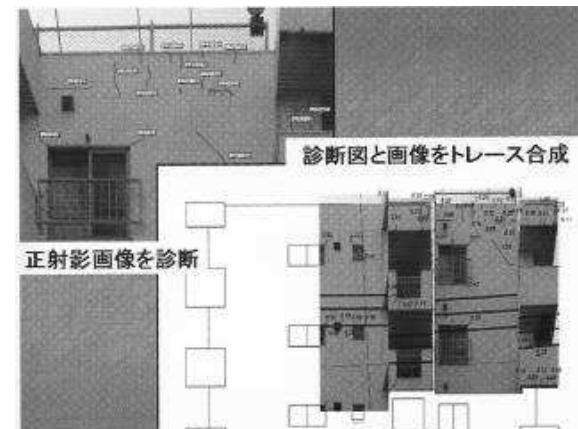


写真2-6 診断図と画像とのトレース合成 (⑤-2)

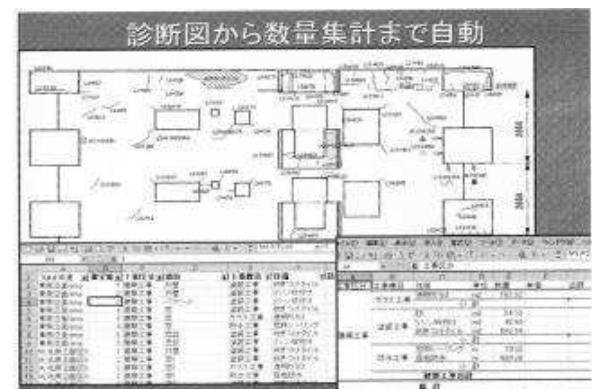


写真2-7 診断図・集計表 (⑥)

④ 画像正射影変換 (写真2-4)

③で写真画像に寸法を入力したことにより、写真が正射影変換されることによって。図面上に位置および長さが、正確に真正面から見た写真レイヤーを作成した状態となり、写真画像と図面情報が一致・一体化される。

⑤ 変状診断トレース (写真2-5、2-6)

システムのひび割れ測定機能によって、正射影後の画像から任意のひび割れ幅を機械的に選択して、ひび割れ幅を区分・決定する(写真2-5)。

決定したひび割れ幅の区分ごとに、パソコン画面上で、ひび割れのトレース、および範囲を指定し、エフロエッセンス、鉄筋錆、塗膜剥離、タイル欠落などの診断情報を入力すると、自動的にその長さや面積を計算して、画面上に表示される。

その計測・診断情報は、診断図などの図面とエクセル（商標名）などの帳票に連動している(写真2-6)。

⑥ 診断図・集計表

上記の作業を同様な手順で繰り返し作業することによって、全てのひび割れ、変状が示された診断図が自動的に出来上がってくる。

さらに、各診断項目ごとの集計表も同時に診断図と連動して作成される。

以上の画像診断システムを使った構造物点検診断方法は、従来の手書き・アナログの診断図作成・数量計算に比較すると、記録のデジタル化、診断精度の向上、診断図・変状数量表の作成の短縮につながるものと判断する。

特に、ひび割れ幅や面積測定機能などによって、幅・長さ・面積などの数値情報が瞬時に算定できるので、変状・劣化の原因推定、詳細調査、緊急対策、および補修・補強の必要性の判断、詳細調査・緊急対策・補修工事・補強工事の方法・工法の選択の判断資料を得るのに短期間かつ省力化ができるものと考える。

デジタルカメラ撮影のみで、ある程度までの診断図作成は容易となり、構造物点検者養成にも繋がっていくと思われる。

3. 本画像診断システムの特長

3.1 経年変化の追跡

本画像診断システムは、最新の構造物撮影画像と過去に撮られた撮影画像とを、基準点を一致させることによって、ひび割れ・変状データを簡便に合成することができる。

つまり、過去の点検データに新たに発生したひび割れ・変状データを付け加えることにより、写真3-1に示すような経年変化の追跡が容易になる。

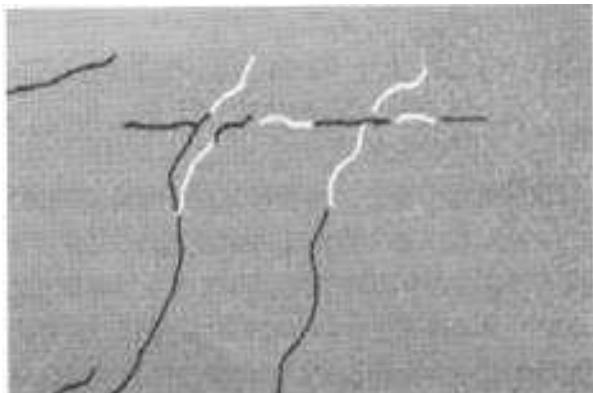


写真3-1 経年変化の追跡事例
(白色部分が新たに発生したひび割れ)

3.2 赤外線画像によるより精密な画像診断

赤外線画像と通常画像で求められた診断図を合成することによって、新たな変状の発見にも繋がり、より精度の高い構造物診断が可能になる。

特に、建築物のタイル・外壁塗装の浮きなどには有効であると判断する。

写真3-2に、赤外線画像とデジカメ画像の合成によるひび割れ・外壁浮き診断事例を示す。

3.3 無線リモート撮影機能

デジカメの撮影データを無線でタブレット端末に送信することによるリモート撮影も可能になり機動性が増強される。

写真3-3に、無線リモート撮影装置を、写真3-4に無線リモート装置適用事例を、示す。

これらの機能を付加することによって、過去のひび割れ・変状と最新のひび割れ・変状の比較を、データの線種・太さ・色を変えて表示しながら、ひび割れの幅・長さや変状範囲の面積の経年変化がさらにわかりやすく一瞬にして把握することが可能になる。

赤外線と診断図を合成することで、より精度の高い診断を可能にできます



写真3-2 赤外線画像とデジカメ画像の合成によるひび割れ・外壁浮き診断事例



写真3-3 無線リモート撮影装置

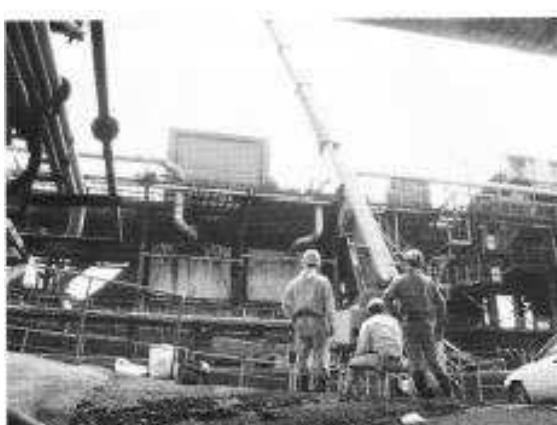


写真3-4 無線リモート装置適用事例

4. 画像診断システムの適用事例

4.1 アーチダムの内外壁（約 25,000 m²）診断

コンクリートの内外壁（約 25,000 m²）の機能診断調査業務の内のひび割れ診断業務の撮影箇所図（ダム下流側 102m）と撮影状況（下流側、デジカメ：使用レンズ 800mm、2,600 万画素使用）を図 4-1、写真 4-1 に、それぞれ示す。

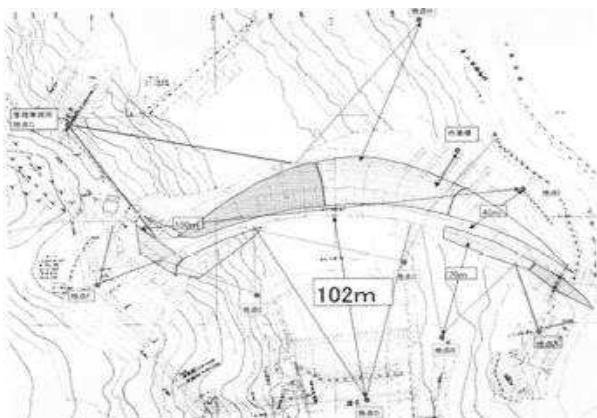


図 4-1 撮影箇所図（ダム下流側 102m 地点）



写真 4-1 ダム写真撮影状況（下流側より）

4.2 トンネル（延長 550m）変状点検²⁾

対象トンネルは、約 30 年前に矢板工法により施工されたトンネルで、約 20 年前からトンネル坑門および覆工コンクリートに変状が確認され、一部補修もされている。



写真 4-2 トンネル写真撮影状況

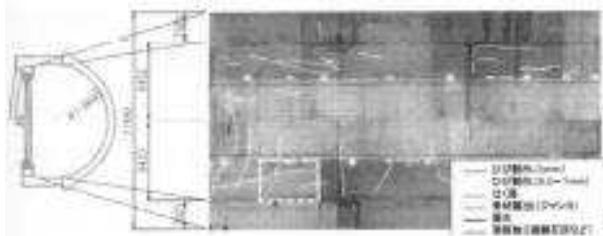


写真 4-3 トンネル変状診断結果

写真 4-2 にデジカメ撮影状況を示す。さらに、写真 4-3 にトンネル変状診断結果を示す。

トンネル撮影に際しては、あらかじめ基準となるトンネルの付属設備などを設定して、撮影範囲が重なるように撮影する。

また、画角 45° 以内で撮影された画像は、正射影変換が可能であるため、撮影の位置やアングルを撮影者は気にする必要がほとんどない。

さらに、センターインに立って、展開画像を撮影する必要もないため、車両規制の必要もないことも利点の一つである。

撮影時の明るさも、通常のカメラ内蔵のストロボであれば十分であることが本調査でも確認された。

トンネル延長は 550m であったが、撮影者は一人で撮影時間は 4 時間程度で終了した。現場での変状データ収集は非常に簡便であった。

以上の現場での撮影画像を第 2 章④で紹介した正射影変換・曲面補正を施して、平面画像に展開して、変状展開図と同様に出力した。

次に、ひび割れ幅測定機能により、撮影画像から任意のひび割れ幅を測定し、ひび割れ幅を区分した。

さらに、パソコン画面上で区分（1mm、0.2～1mm など）ごとにひび割れ長さが計測される。また、はく落、骨材露出（ジャンカ）、湧水、溶脱物（遊離石灰など）などの初期診断情報を入力すると、長さ・面積が自動計測されて合計が表示される。集計表も出力される。

そして、赤外線カメラによる診断も今回は併用したため、覆工表面だけでなく覆工背面にも水が存在することが推定できた。写真 4-4 に赤外線画像による湧水箇所推定を示す。



写真4-4 赤外線画像による漏水箇所推定

5. 定期点検におけるひび割れ調査の重要性

表5-1に、国土交通省 道路局 国道・防災課「橋梁定期点検要領（平成26年6月発行）³⁾」の点検調書の項目を、表5-2に、国土交通省 道路局「道路トンネル定期点検要領（平成26年6月発行）⁴⁾」の点検表記録様式項目を、それぞれ示す。

表5-1 橋梁定期点検要領の点検調書の項目

番号	点検調書の項目
その1	橋梁の諸元と総合検査結果
その2	径間別一般図
その3	現地状況写真
その4	要素番号図及び部材番号図
その5	損傷図
その6	損傷写真
その7	損傷程度の評価記入表（主要部材）
その8	損傷程度の評価記入表 (点検調書(その7)に記載以外の部材)
その9	損傷程度の評価結果総括
その10	対策区分判定結果（主要部材）
その11	対策区分判定結果 (点検調書(その10)に記載以外の部材)

表5-2 道路トンネル定期点検要領の点検表記録内容

様式番号	点検表記録内容	
A-1	トンネル	トンネル諸元、非常用施設諸元
A-2		トンネル情報一覧表
A-3	台帳	トンネル記録 (位置図、断面図、施工実績他)
B		トンネル変状・異常箇所写真位置図
C-1-1		点検結果総括表（トンネル本体工）
C-1-2	点検	点検結果総括表 (トンネル内附属物の取付状態)
C-2	調査	調査・措置の履歴
D-1	書	変状写真台帳
D-2		トンネル全体変状展開図
D-3		覆工スパン別変状詳細展開図
E-1	診断	診断結果（変状単位）
E-2	結果	診断結果（覆工スパン毎、 トンネル毎）

表5-3 日本コンクリート工学会の「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-」の標準調査の調査項目

資料調査	a. 設計図書の調査 (設計図、配筋図、構造計算書)
	b. 施工記録の調査[使用材料（セメント、骨材、混和材（剤）、練混ぜ水など）に関する各種データ、配（調）合、打込み・養生方法、工程・管理記録データ、地盤の状況、型枠類、コンクリート打込み時の環境条件など]
	c. 過去の調査および補修・補強工事などの履歴の確認（構造物の維持管理記録、補修・補強、増改築工事の履歴、被災、苦情などの記録）
	d. 使用時の荷重条件の調査（設計時の条件と現状との関係など）
	e. 気象・海象条件の調査（温度、湿度、風速、風向、波高、波向、気圧など）
	f. 立地条件の調査（海岸からの距離、凍結防止剤・融雪剤の散布の有無、化学物質の有無など）
	g. 地盤条件の調査（隣接地との高低差、擁壁の状況、地盤の状況）
現況調査・外観調査	a. ひび割れの現況の調査（幅、長さ、総延長、発生位置、範囲、発生パターン、貫通・段差の有無など）
	b. ひび割れ以外の調査（コンクリートおよび仕上げ材のはく離・はく落、豆板、ポップアウト、エフロレッセンスの有無、乾湿の状態など）
	c. ひび割れに伴う不具合の調査（漏水、鉄筋のさび、部材のたわみ、変色、その他）
	d. 異常感・振動の調査（車両走行時、人の歩行時など）

表5-3に、日本コンクリート工学会の「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-（2013年4月発行）⁵⁾」の標準調査（資料調査・現況調査）の調査項目を示す。

以上の定期点検・標準調査において、本画像診断システムのひび割れ・変状調査が、特に現況調査・外観調査において、大きな比重を占め、人員も時間もかかることがよくわかる。

特に、損傷・変状の現況写真と損傷図・変状展開図の撮影および作成は、点検・調査業務の根幹を成すものである。これらの業務の合理化・省力化が、インフラ構造物の維持管理業務全体の適正化につながっていく。

6. 今後のインフラ構造物の点検に望むこと

我が国の社会資本は、特に第二次世界大戦終戦（1945年・昭和20年）以降、道路・河川・港湾・水道・農林・情報通信・建築などの不足する社会資本の整備が順次進められ、大規模な橋梁、トンネル、堤防、水路、建築物などの構造物が建設された高度成長期を経た今日では、700兆円を超すと言われるような膨大なストックを蓄積する時代を迎えており、

一方、これらのコンクリート構造物、鋼構造物、トンネルなどの社会資本施設は、建造後50年を超える老朽化したものが増加する時代を迎えており、新設・建設事業・技術中心から、近年維持管理事業・技術の一層の発展・進歩が求められている。

また、大量の社会資本をマネジメントしていくには、社会資本の長寿命化を図りつつ、資産価値を高める必要がある。そのためには、まず、構造物の現状を調査・把握することを始めなければならない。

その現状を鑑み、構造物の劣化の点検・調査・診断の技術の普及・向上を図るとともに、劣化点検・調査・診断に携わる人材（財）を養成することが急務とされる。

つまり、構造物の劣化状況の点検調査診断技術を関係者に、理論立ててわかりやすく説明し、その理解と支援を図って、現場で実際に点検に携わる人材の確保が重要である。

巷には、様々な団体が講習会などを開催し、構造物の劣化の調査・診断する能力を有することを認定する資格も多数あるが、構造物の初心者・初学者の人たちまでを対象とした間口を拡げた団体・資格はなかなか見当たらない。

構造物、コンクリート、鉄（鋼材）などの知識をほとんど持っていない方などが今後需要やその重要性が高まるインフラ構造物の維持管理を志す要望・要請に応えることがますます必要になってくる。

さらに、材料的には、コンクリート構造物、鋼構造物などの各種構造物、用途的には、道路・河川・港湾・空港・鉄道・電力・ガス・上下水道・

情報通信・農業・建築などインフラ全ての構造物を対象とする、グローバルな見地・視点から、インフラ構造物の維持管理を捉えていくことが重要である。

即ち、人材、材料、用途などを超越して、多元的に構造物の経年劣化を点検・調査・診断していくという姿勢が大切である。

さらに、最終目的は、建設業に携わっておられる方が、実際点検調査診断業務を行って、点検・診断・調査・評価書類を作成するところまで指導して、インフラ点検の底辺を広げることが必須である。表6-1に、構造物の劣化調査・診断の対象を示す。

表6-1 構造物の劣化調査・診断の対象

材料	○コンクリート構造物（コンクリート） ○鋼構造物（鉄骨） ○アスファルト舗装（アスファルト）など	
用途	道 路	橋梁、トンネル、舗装など 国土交通省 道路局、
河 川	堤防、樋（ひ）門、樋管、水門など	同省 水管理 ・国土保全局
港 湾	防波堤、水門、護岸、埠頭など	同省 港湾局
空 港	滑走路、護岸、空港建物など	国土交通省 航空局
鉄 道	橋梁、トンネル、土構造物など	国土交通省 鉄道局
電 力	発電所、変電所、送電鉄塔など	資源エネルギー庁
ガ ス	ガスタンク、ガス管路など	資源エネルギー庁
上 下 水 道	上下水道管路、下水処理場など	厚生労働省 水道課、 国土交通省 下水道部
共 同 溝	電気、ガス、水道など	国土交通省 資源エネルギー庁など
情 報 通 信	管路、マンホール、とう道設備など	経済産業省 商務情報 政策局
農 業	用水路など	農林水産省 農村振興局
建 築	事務所、共同住宅、工場、病院など	国土交通省 住宅局

7. 本画像診断システムの今後

本画像診断システムは、デジカメで撮影した画像やスキャナで読み込んだ図面を利用し、画像処理技術で構造物の点検、調査、補修・補強工事を支援するもので、以下の業務を短時間、少人数で取り行うことができる。

1) 初期診断書・劣化調査数量表作成

- ・双眼鏡での初期診断の代替として利用できる。
- ・補修工事の営業に写真とともに診断内容をビジュアル的に表現でき、より説得力のあるプレゼンテーション資料の作成が可能である。

2) 下地補修図・数量表作成

- ・1)の初期診断で作成した診断図に、現場工事で作成した隠れた部分などの詳細の診断内容を追記し、下地補修図作成と数量表集計が可能である。
- ・現場工事で作成した詳細の診断図をスキャナで読み込み、新規に提出用下地補修図と数量表集計が可能である。

3) 見積数量拾い

- ・スキャナ読み込み図やデジタル画像（デジカメで撮像した画像）から作成した図面上でトレースしたり、範囲指定することで数量拾いが簡単にできる。

4) 図面作成

- ・建物全体を撮影した画像から簡単に図面を作成できる。

5) BDF ピュアとデータの共有化

- ・CAD ソフトウェアへのデータ出力は、DXF・SFX に対応している。
- ・補修・補強工事に関するデータの電子化で、管理の効率化に役立つ。

以上、従来のインフラ構造物の点検における画像診断のみならず、グラフィック機能により積算、設計補助・支援にも十分威力が発揮できるものと確信している。

さらに、写真撮影データの変換によるデータの有効活用により、既存構造物の三次元CAD、CIM・BIMへの形状データ作成が容易にできる。

さらに、最近話題になっているドローンの使用により、足場不要になるため、自由にデジカメ撮影ができることにより、設計図面を喪失したような構造物の調査や図面再生・復元化も容易になるものと考える。

また、画像診断の対象を構造物のみならず、緑化などの環境に拡げれば、緑化率の算定などに面積算定機能を十分活用できる。

また、デジカメによる静止画像だけでなく、デジタル動画による連続撮影が可能になれば、トンネル・道路舗装などの延長の長い構造物に対して、より効率的な作業も可能になる。

今後、ますます本画像診断システムの適用範囲を拡げ、システム使用者の作業時間の省力化と業務の高度化に活用してもらえるように働きかけていきたい。

本画像診断システムを用いた簡便な点検により、インフラ構造物の予防保全・予知保全が可能になれば、維持管理費用の縮減にもつながり、構造物の長寿命化・延命化になって、最終的に国土保全の最適化となるであろう。

参考文献

- 1) 衣笠貢司：インフラ保全における画像診断支援システム デジタルカメラ画像によりひび割れ幅 0.2mm 以上を検出可能な技術の現状と展開、検査技術 Vol. 20 No. 2 pp. 25～35、日本工業出版、2015. 2
- 2) 山本拓治・大畠俊輔・衣笠貢司・三上恵津子：デジタル画像診断手法を用いた簡易トンネル変状点検システム、土木学会第 69 回年次学術講演会予稿集 VI-503 pp. 1005～1006、土木学会、平成 26 年 9 月
- 3) 国土交通省 道路局 国道・防災課：橋梁定期点検要領、平成 26 年 6 月
- 4) 国土交通省 道路局：道路トンネル定期点検要領、平成 26 年 6 月
- 5) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-、2013. 4