

『検査技術』2015年3月号原稿

タイトル： 「3次元計測手法によるインフラストラクチャー損傷の近接目視の定量化」

サブタイトル： 面単位で高速・精密に計測できるハンディタイプ3次元計測機の応用

著者： 新村 稔（株）セイコーウェーブ副社長

## 1. はじめに

2008年5月、国土交通省は、有識者による「道路橋の予防保全に向けた提言」を公開した。前文では以下のように述べている。

「日本の道路橋は、昭和30年代に始まる高度経済成長期を中心にして大量に建設され、我が国の経済成長と国民生活の向上に大きな役割を果たしてきた。これらの道路橋は近々建設後40年～50年が経過することとなり、劣化損傷が多発する危険性が高まっている。一方、道路橋に要求される性能は、兵庫県南部地震などの大規模な地震被害を教訓にした耐震性強化や、物流効率化（車両の大型化）のための設計自動車荷重引き上げへの対応など、ますます高まるばかりである。（中略）さらに、我が国の道路橋保全の実態に目を向けると、点検、診断、補修補強の信頼性が十分に確保されていないこと、高度な専門知識を必要とする損傷事例に対応する体制（技術拠点や人材）が整備されていないこと、市区町村では約9割の自治体が定期的な道路橋点検を実施していないことなど、道路橋を適切に保全する観点から多くの課題を抱えている実態が浮かび上がった。」

これを受ける形で、国土交通省では2014年6月「橋梁定期点検要領」を公開し、定期点検の目的や維持管理の標準的な進め方をまとめ、「健全性の診断基準」を定めている。

これらの「提言」や「基準」が、我が国の国土保全、事故の未然防止に向けた取り組みにおいて大きな役割を担っているのは疑いの余地はないが、計測手法や診断基準に定性的な部分があり、診断者の主観に負ってしまっている感がぬぐえない。

本稿では近接目視点検や診断における定性的な課題に言及するとともに、既存の計測手段に加えて3次元計測手法を用いることで、かなりの部分を「定量化」「客観化」できることを実例に基づき述べていく。

## 2. 国土交通省「橋梁定期点検要領」と課題

2014年6月に公開された「要領」表4-2. 2. 2によれば、標準的な点検方法は表1の通りである。この表に記載されている点検方法の中で、超音波を使った計測機器や、磁粉探傷試験、渦流探傷試験、浸透探傷試験などは、損傷の定量化が可能な計測機器であるが、が、「写真撮影（画像解析による調査）」の項目は、定性的な診断であると言えよう。表1やその他「要領」で解説された点検手法の主な課題を筆者がまとめたものが表2である。

第3章では、表2で指摘した課題を、3次元計測手法を用いることでどのように解決できるか、鋼橋、コンクリート橋に3次元計測機器を適用した事例を交えて解説する。

表1 「表4-2. 2. 2」 標準的な点検方法

材料	番号	損傷の種類	点検の標準的方法	必要に応じて採用することのできる点検方法
鋼	①	腐食	目視、ノギス、点検ハンマー	超音波板厚計による板厚計測
	②	亀裂	目視	磁粉探傷試験、超音波探傷試験 渦流探傷試験、浸透探傷試験
	③	ゆるみ・脱落	目視、点検ハンマー	ボルトヘッドマークの確認、打音検査 超音波探傷(F11T等)、軸力計を使用した調査
	④	破断	目視、点検ハンマー	打音検査(ボルト)
	⑤	防食機能の劣化	目視	写真撮影(画像解析による調査) インピーダンス測定、膜厚測定、付着性試験
コンクリート	⑥	ひびわれ	目視、クラックゲージ	写真撮影(画像解析による調査)
	⑦	剥離・鉄筋露出	目視、点検ハンマー	写真撮影(画像解析による調査)、打音検査
	⑧	漏水・遊離石灰	目視	
	⑨	抜け落ち	目視	
	⑩	床版ひびわれ	目視、クラックゲージ	写真撮影(画像解析による調査)
	⑪	うき	目視、点検ハンマー	打音検査、赤外線調査

表2 「点検方法」の課題

	鋼構造物	コンクリート構造物
超音波計測機器の課題	塗料などの浮き量(剥離度合い)の計測はできない。	超音波の伝搬が困難。或いは反射波が多いので損傷との分別が困難。
手計測(ノギス)の課題	錆瘤の高さ計測は困難。	
	腐食による損失体積計測には、型を取ることで対応可能だが、その型計測に手間。	損傷による損失体積は、縦横高さによる概算のみ。
ボルト腐食計測の課題	塗料などの浮き量は、一部を剥がさないと計測できない。	同左。
	計測手法、定量化方法が決まっていない。	同左。
スケッチの課題	定量化方法が決まっていないため、残存強度判定基準がない。	同左。
	手作業によるスケッチでは、作業者による違いが大きい。	同左。
判断基準の課題	国土交通省の点検要領では、定量化指針がないため、判断基準が定性的。	同左。

### 3. 防食機能劣化診断への応用

図1は、道路橋の鋼桁の防食塗装が、数年の経時変化により浮き上がってしまっている部分をカメラで撮影したものである。この写真からも、防食塗装がかなり浮き上がっている様子が伺えるが、実際、何ミリ浮いているのかは、ノギスを使った従来手法では、計測が困難である。

図2は、同じ領域を3次元計測装置で計測し、計測対象領域の平均高さからの差分をカラーマップで表示したものである。赤い着色領域が平均高さから低い部分、青い着色領域が平均高さより高い部分。この事例では健全面が全くないため、鋼桁表面からの浮き絶対値は不明であるが、浮きの高さ（最低と最高の差分の絶対値）は一目瞭然である。図2の左のグラフは右側のカラーマップ表示の縦断面、横断面をミリメートル表示したものである。

図3は、図2の計測領域を縦横1ミリメートル間隔でサンプリングしてCSVデータ化し、エクセルで色付け、一つの縦ラインの高さをグラフ表示したものである。（この表示は90度回転しているので注意）。計測された3次元座標群を所定の標本化間隔でCSVデータとして出力、機械強度計算ソフト（有限要素法）への入力データとすることが可能となる。

図1 防食塗装が経年変化で浮き上がっている様子（写真）



図2 防食塗装の浮きの3次元計測と解析

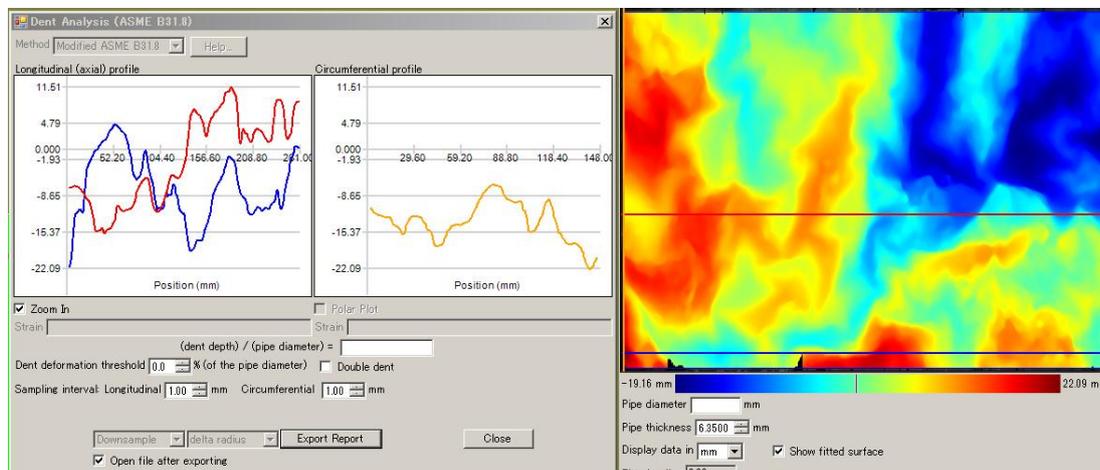
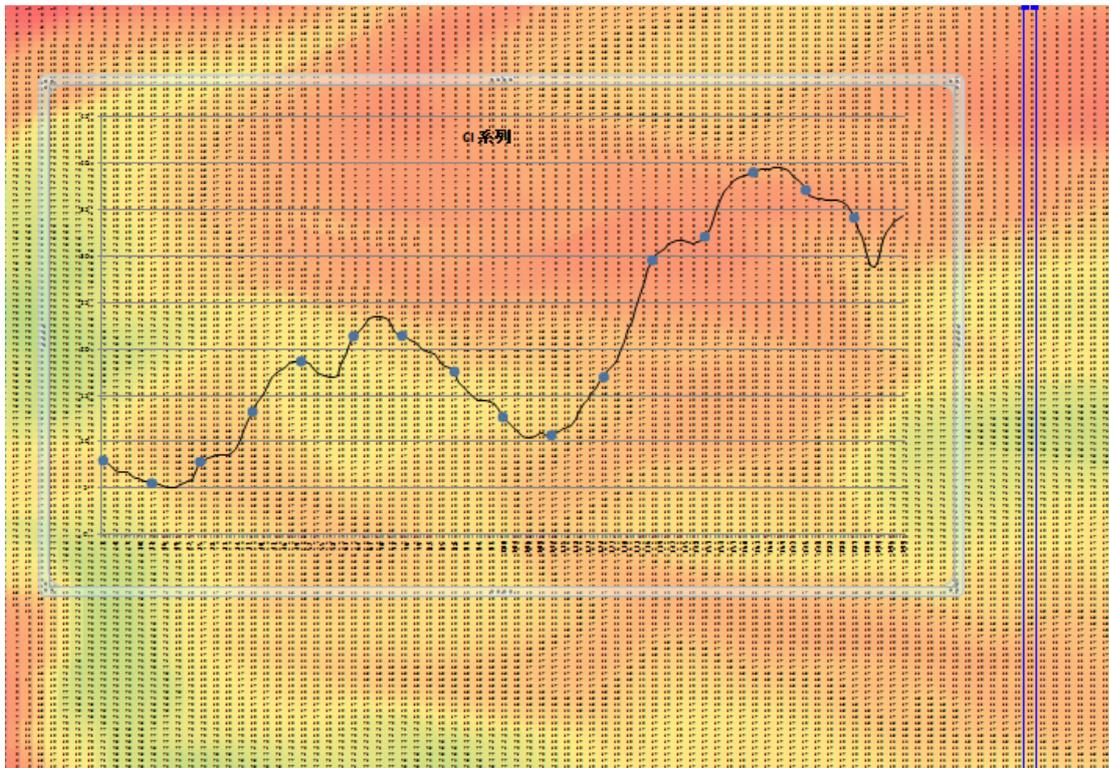


図3 防食塗装の浮きの3次元データのCSV化とエクセルによるグラフ描画



#### 4. 錆コブ高さ計測への応用

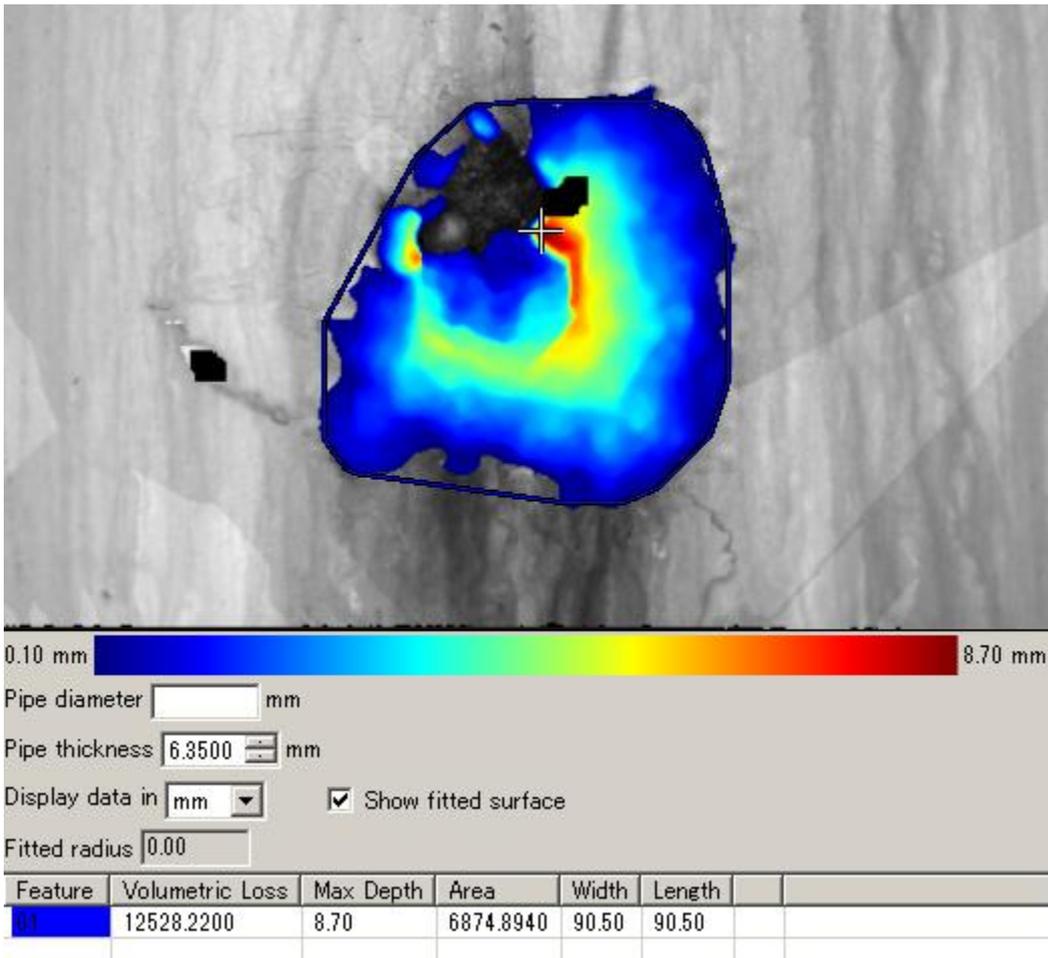
図4は道路橋の鋼柱表面に発生した錆コブの写真である。図5はその錆コブの3次元計測結果。ノギスを使った従来手法でも、錆コブ領域の縦横の長さのおおよその計測ができるが、高さを計測することはほとんどの事例で困難である。

図5において、Max Depth が錆コブの高さ（8.7ミリメートル）、Volumetric Loss が、錆コブ発生領域の盛り上がり容積（12528立方ミリメートル）、縦・横とも90.5ミリメートルであることが分かる。

図4 防食塗装に発生する錆コブの写真



図5 防食塗装に発生した錆コブの3次元解析



### 5. 鉄筋コンクリート損傷計測への応用（名古屋大学ご協力）

図6は、名古屋大学工学研究科北根准教授（土木学会会員、日本鋼構造協会会員）研究室保管の、鉄筋コンクリートサンプル計測事例である。これは、内部の鉄筋に発生した腐食の膨張により、表面が剥離したコンクリート損傷の計測結果を示している。図6は3次元計測データのスクリーンショットであるが、当該装置は反射の濃淡を表現できるため、モノクロ写真としても使うことが可能である。図7は、図6データに高さ解析を施した結果である。この図では、剥離による損失領域の明示化、最大剥離深度地点の十字表示、損失体積の表示などが行われている。これら4つの損傷領域を一つの損傷領域として結果表示をすることも可能である。

図6 鉄筋腐食により表面が剥離したコンクリートの3次元計測（テクスチャあり）

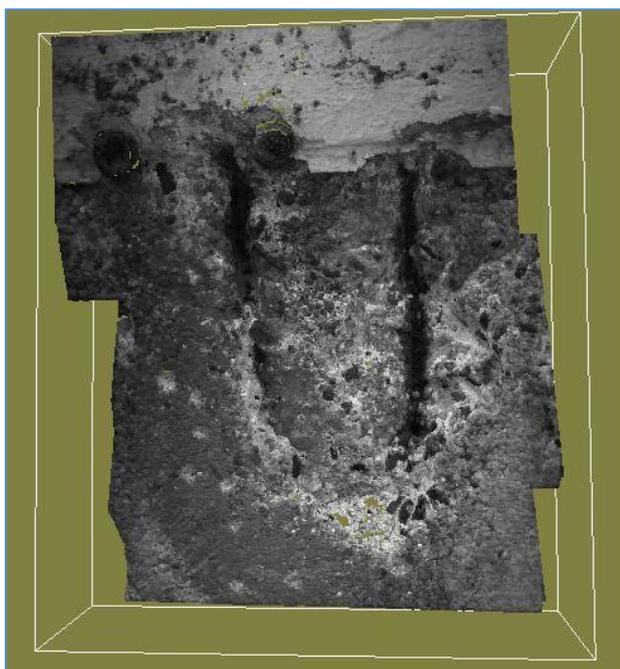


図7 図6の3次元解析

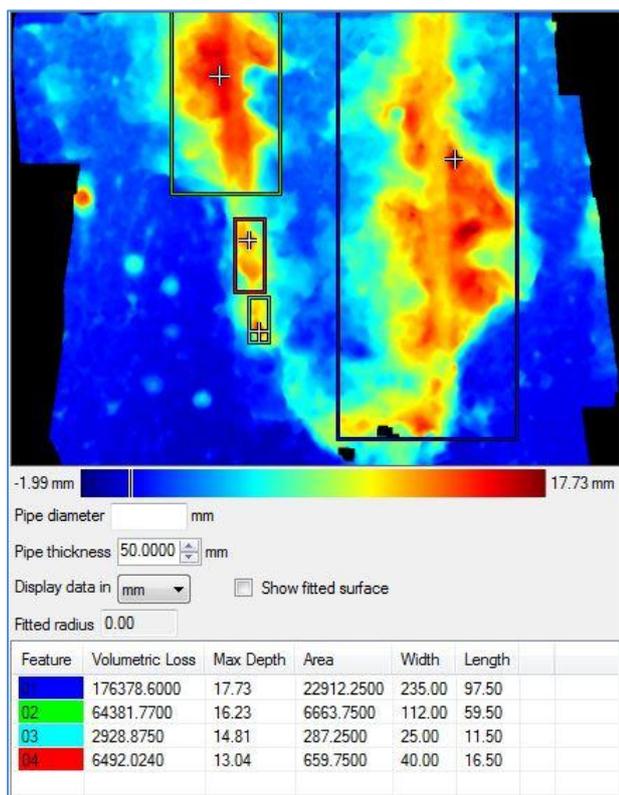


図8は、コンクリート面亀裂の3次元画像（スクリーンショット）である。縦に亀裂が走っているが、この状態ではどのような損傷なのか判別できない。図9は図8の縦断面（橙色線と緑色線）と横断面（赤線と青線）をグラフ化した高さ解析画像である。亀裂の左右で0.1ミリメートル～0.2ミリメートルの高さの違いが

あることが、色わけではっきりと読み取れる。つまり、亀裂の存在だけでなく、亀裂を引き起こした力の作用で、コンクリート面（この場合、亀裂の左側）が内部から押されて、飛び出している様子が定量的に把握できる。

図8 コンクリート面亀裂の3次元画像（スクリーンショット）

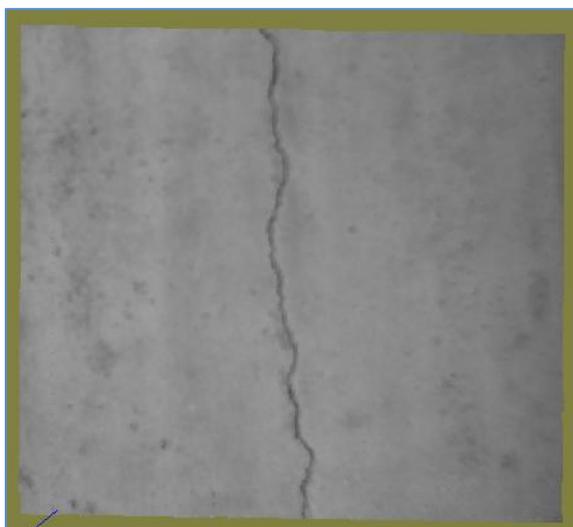
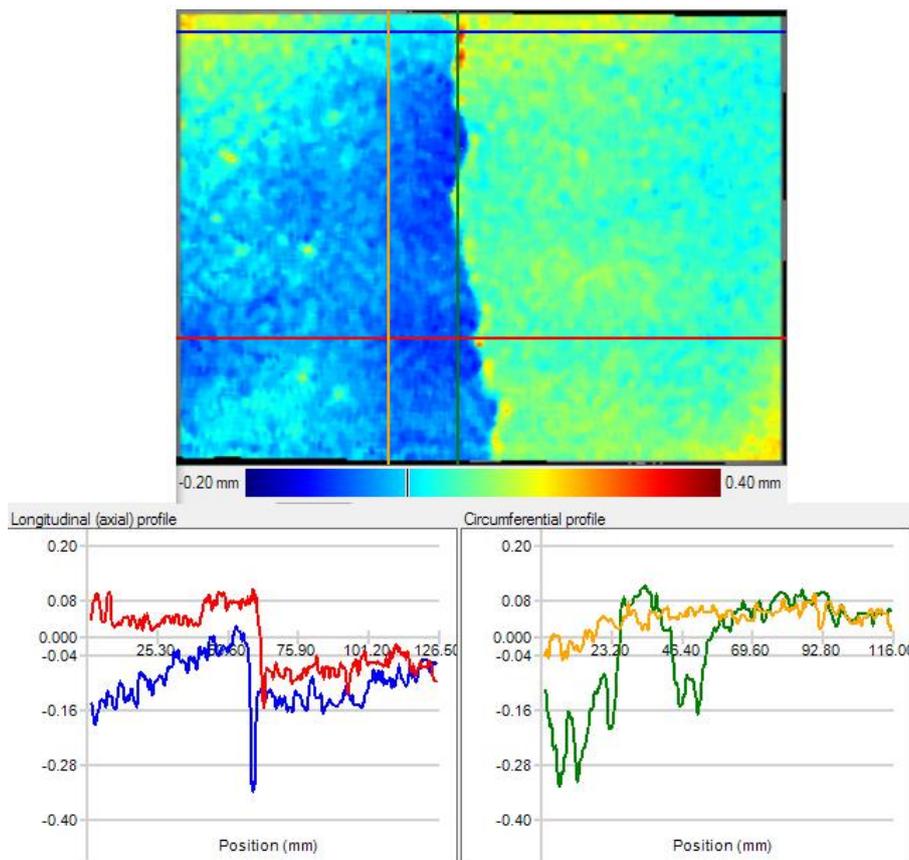


図9 図8の高さ解析図



## 6. ボルト損傷計測への応用（名古屋大学ご協力）

図10は、橋桁などを固定している門頭部の写真、図11はその3次元画像（テクスチャー無し）、図12はその高さ解析画像である。図12において、計測された門頭部の体積を求めているので、元の健全体積（規格値）から現状の体積を引くことで、損失量を知ることができる。

図10 橋桁門頭部の写真



図11 橋桁門頭部の3次元画像（テクスチャー無しの場合）

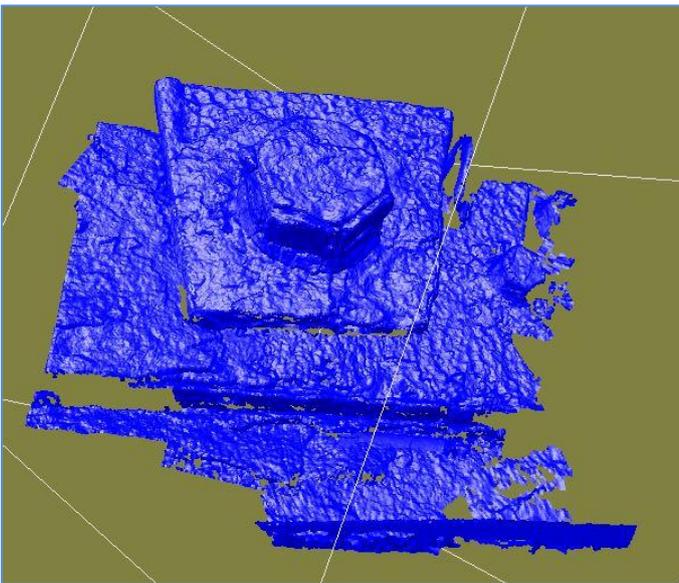
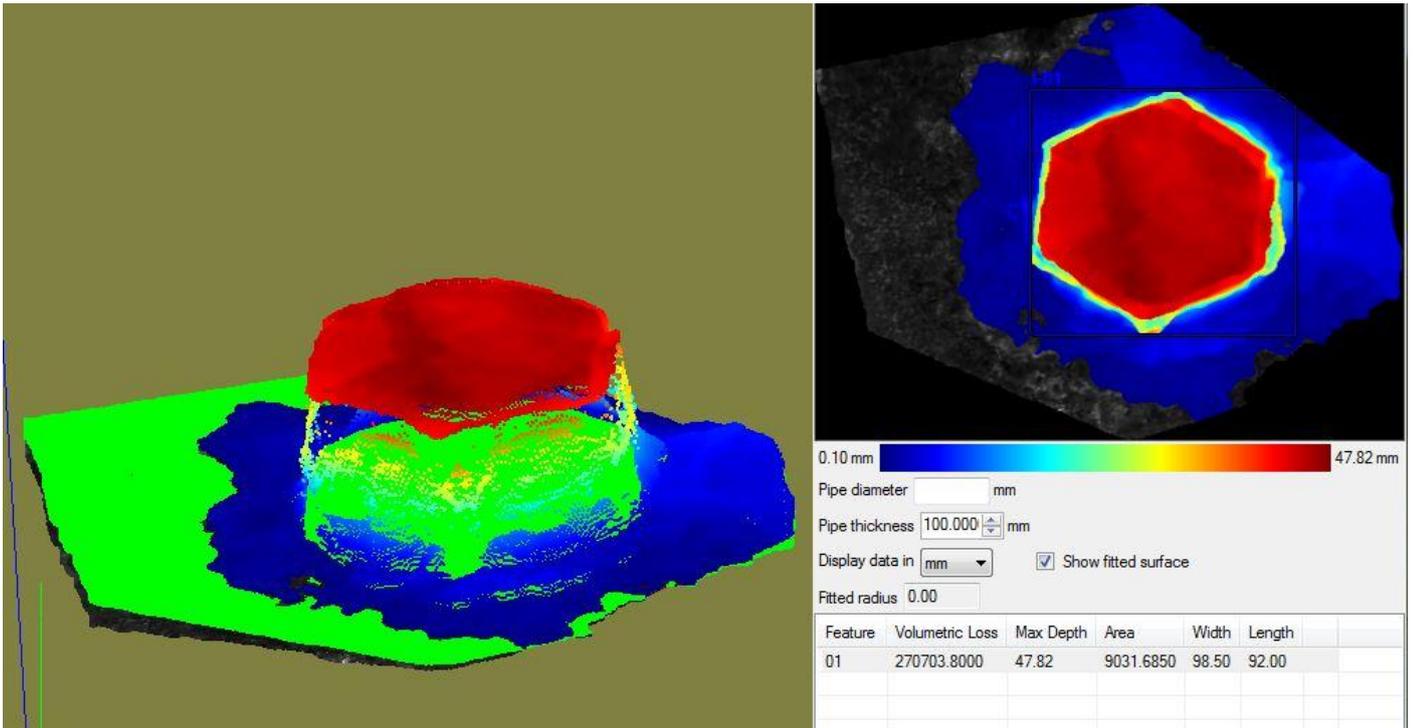


図 1 2 橋桁門頭部の 3 次元画像（高さ、体積解析）



## 7. 3次元計測装置の仕様と利点

本稿で取り上げた3次元計測装置の概仕様は以下の通りである。

- 計測範囲 縦横300ミリメートルx150ミリメートル
- 縦横分解能 0.4ミリメートル
- 奥行き分解能 0.05ミリメートル
- データ取得時間 0.3秒
- 3次元化所要時間 3秒前後

本稿では、3次元計測装置を使うことで、今まで計測が困難であった部位の計測・定量化が可能となり、表2で上げた計測にかかる課題が解決できることを明らかにしてきた。3次元計測装置を利用した計測方法の利点をまとめると以下ようになる。

- 計測再現性が向上する（高い奥行き精度（標準偏差1シグマは50ミクロン））
- 大量な精密データを迅速に取得できる
- 損傷による損失体積や高さ・深さ解析が簡便に行える
- 定点観測に利用することで、経時変化を定量的にとらえることができる
- 有限要素法を使った強度計算ソフトウェアへデータを出力することができる

我が国の道路橋や鉄橋など生活や経済活動に重要なインフラストラクチャーは、昭和30年代の高度成長期に大量に構築され、すでに50年以上が経過している。これらの古い構造体には、防食塗装の劣化、鋼材の腐食、コンクリートの剥離、断裂、亀裂などが多数発生し、効率的で定量的な計測とデータに基づいた数値的な

判断基準の確立、判断基準に則った合理的な補修が喫緊の課題となっている。本稿で紹介した3次元計測装置のような機器が現場において多数活用され、国土保全に役立つことを願ってやまない。

最後に本稿で取り上げたコンクリート損傷や門の計測事例の掲載をご許可頂き、貴重なご助言もいただいた名古屋大学工学部北根准教授に御礼を申し上げたい。

-引用文献-

国土交通省「道路橋の予防保全に向けた提言」2008年5月  
同「橋梁定期点検要領」2014年6月

-寄稿概要-

本稿では、国土強靱化に向けたインフラ計測・整備・保全における点検方法や判定基準の課題を明確にし、それに対して、3次元計測装置がどのように解決可能であるかを、実際の鋼橋、コンクリート構造体の計測事例を基に解説した。