

# 簡便かつ定量的な摩耗調査に向けた 型取りゲージ画像の解析プログラム

農研機構 金森 拓也  
川邊 翔平  
森 充広  
木村 優世

### 1. はじめに

農業用水路における特徴的な劣化として、流水や土砂等による摩耗がある。コンクリート水路における摩耗は、通常、モルタル分が選択的に削られ、表面に粗骨材が露出する形で進展する。したがって、摩耗の進展に伴い、通水表面の粗度が増大し、水理性能を低下させる要因となる。また、かぶりコンクリートの欠損により鉄筋が腐食しやすくなるおそれもあり、間接的に構造耐力を低下させる要因ともなる。近年では、劣化したコンクリート水路に対して、ポリマーセメント系材料を被覆する無機系表面被覆工法による補修が広く行われているが、この被覆材も通水に伴い摩耗する。同工法の被覆厚さは一般に5～15mm程度<sup>1)</sup>と比較的薄いことから、摩耗による被覆材の欠損は補修の寿命(残存耐用年数)の低下に影響する。以上のように、摩耗は水路の性能低下をもたらすことから、水路の通水機能を維持するためには、摩耗状態(表面粗度や摩耗深さ)を定量的にモニタリングすることが重要といえる。

著者らの所属機関では、これまでに水路の摩耗状態を定量的に測定する手法をいくつか提案しており、そのひとつに型取りゲージを用いた手法<sup>2)</sup>(以下、型取り法)がある。型取り法は、必要な器具(型取りゲージ)が数千円程度と安価であり、また現地作業が簡便であるといった利点を有する。一方で、現地で記録した型取り

ゲージの画像から摩耗状態の指標を算出するための解析作業が煩雑であり、この作業に多大な労力・時間を要することが課題であった。

そこで、型取り法における解析作業を自動化する画像解析プログラムを新たに開発した。本報では、型取り法における摩耗深さの測定原理や手順を紹介するとともに、新規に開発したプログラムの概要やその導入メリットについて報告する。

### 2. 摩耗深さの測定原理

摩耗深さの測定原理を図-1に示す。経年的な摩耗深さをモニタリングするためには、基準点となる標点を測定面に2つ設置する必要がある。具体的には、摩耗や腐食が生じにくいステンレス製アンカーを標点として、2つの標点間は約10cm離し、それぞれ測定面から5～

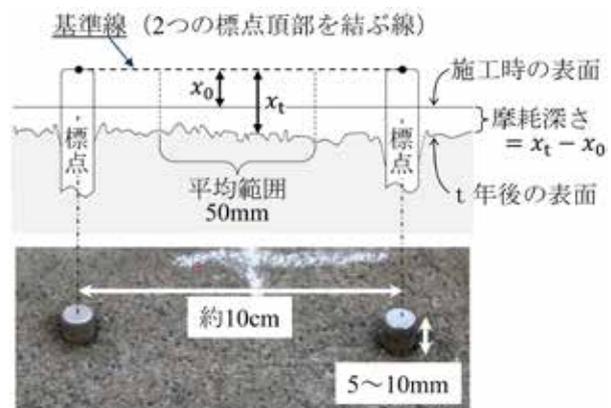


図-1 摩耗深さの測定原理

10mmほど突出するように設置する。また、2つの標点を結ぶ線は水流に対して直交する向きとする。これは、設置した標点による水流の乱れが計測対象範囲の摩耗に影響しないようにするためである。各回の調査では、図-2左に示すように2つの標点頂部を通る線上に型取りゲージを押し当てて形状を取得した後、標点頂部の中心2点を結ぶ線を基準線として、基準線から測定面までの平均的な距離（以下、平均距離）を計算する。平均距離を経年的に追跡することで、その差分を任意の期間中に生じた摩耗深さとして求めることができる。なお、表面粗度（凹凸の程度）のみを測定する場合には、上記の標点の設置は不要である。

### 3. 型取り法およびプログラムの概要

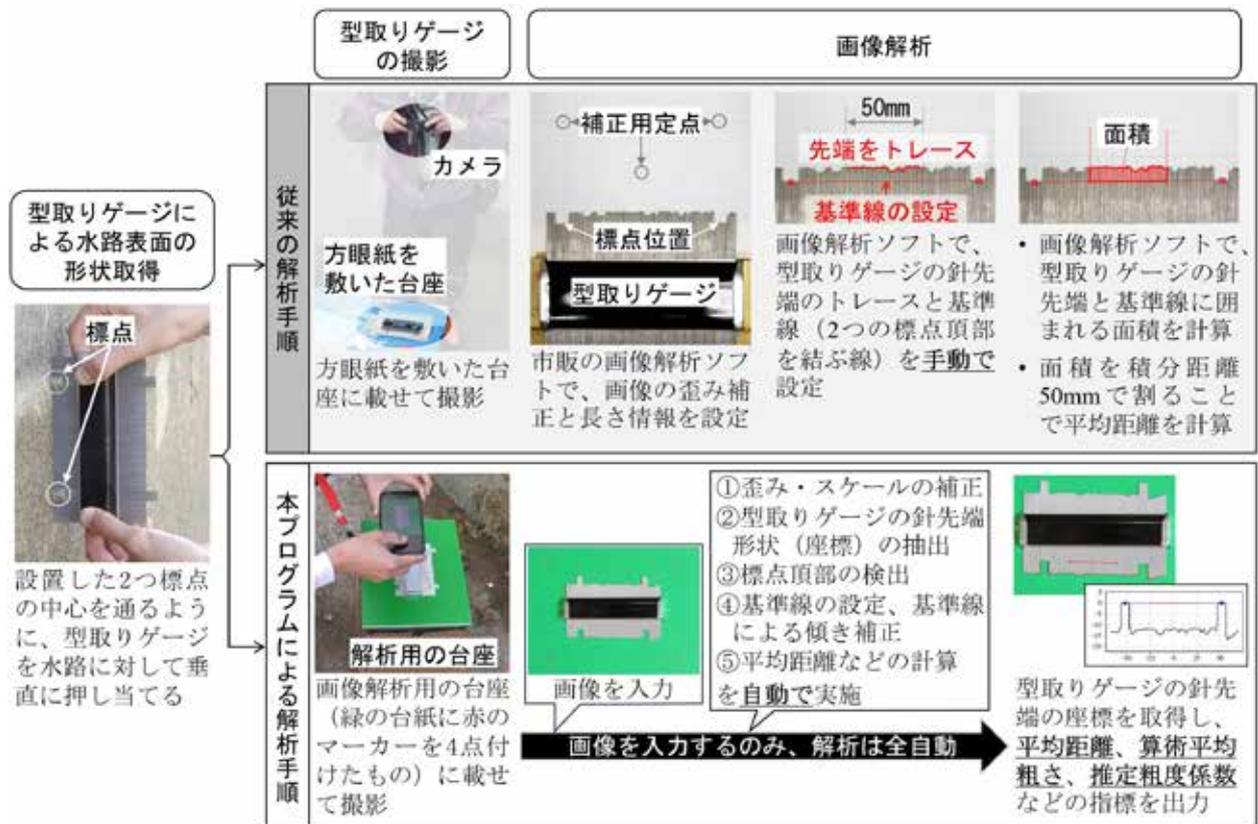
型取り法では表面粗度および摩耗深さのいずれも測定可能であるが、ここでは摩耗深さを測定する場合（すなわち、測定面に標点が設置さ

れている場合）を例に、その手順やプログラムにより自動化が図られる解析プロセスについて解説する。

#### (1) 従来手順

型取り法の測定から解析までの従来手順を図-2上段に示す。本手法では、まず型取りゲージを標点頂部の中心を通るように測定面に押し当て、測定面の表面形状を写し取る。次に、方眼紙などのスケールと併せて、型取りゲージの画像をデジタルカメラ等で記録する。ここまでが現地で行う作業であり、その後、室内で画像解析作業に移る。

従来解析作業では、現地で記録した画像を市販の解析ソフトで処理することによって平均距離を求める<sup>1)</sup>。しかし、ここで使用される解析ソフトは型取り法のための専用ツールではないため、例えば、以下の操作を測定者が目視・手作業で行う必要があった。



※) 上段 (従来解析手順) の図は、『農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】』を再編成したものである。

図-2 型取り法の手順 (上段：従来解析手順, 下段：プログラムによる解析手順)

- ① 画像の歪みや距離情報を補正するための定点の設定
- ② 型取りゲージの針先端の形状のトレース
- ③ 2つの標点頂部の位置設定、および、その2点を結ぶ基準線の設定

このような煩雑な処理を自動化するために後述のプログラムを開発した。

## (2) プログラムを用いた手順

プログラムを用いた場合の手順を図-2下段に示す。現地での作業は従来と同じであり、型取りゲージを測定面に押し当てることで表面形状を写し取り、その画像を記録する。ただし、型取りゲージの撮影では、解析時に画像から距離情報を自動的に判定するために専用の台座を用いる必要がある。台座は緑色のスチレンボードに赤色のマーカーを4点付したものであり、単純な色調とすることで解析精度の向上を図っ

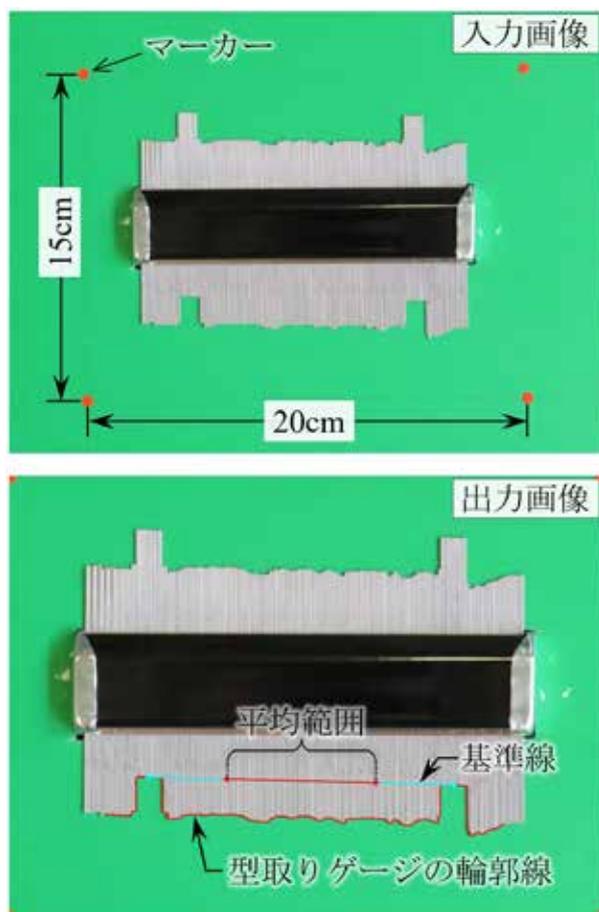


図-3 プログラムにおける入力・出力画像

ている。赤色のマーカーは20cm × 15cmの長方形の四隅に配置することを標準とし(図-3上)、これら4点の位置関係に基づき画像の歪みおよびスケールを補正している。

本プログラムでは、従来測定者が行っていた解析作業のすべてが自動で処理され、型取りゲージの輪郭線の二次元座標をもとに平均距離が計算・出力される。また、算術平均粗さ(Ra)やRaから推定される粗度係数<sup>3)</sup>など、表面粗度に関わる指標も併せて出力される。加えて、元画像に型取りゲージの輪郭線を描画した画像(図-3下)も出力されるため、解析が適切に実行されたかを視覚的に確認することができる。

## 4. プログラム導入によるメリット

本プログラムの導入によって、型取り法の解析作業が自動化されることで生まれるメリットは大きく分けて2つある。

1つ目に、解析に要する労力・時間の縮減が挙げられる。既述のとおり、従来は主に解析作業の前処理を測定者自身で行う必要があり、1枚の画像を処理するのに30分程度以上の時間を要していた。本プログラムは各種補正から結果の出力までを一括で処理するものであり、解析にかかる手間を大幅に縮減できる。

2つ目に、解析結果のばらつきの低減が挙げ

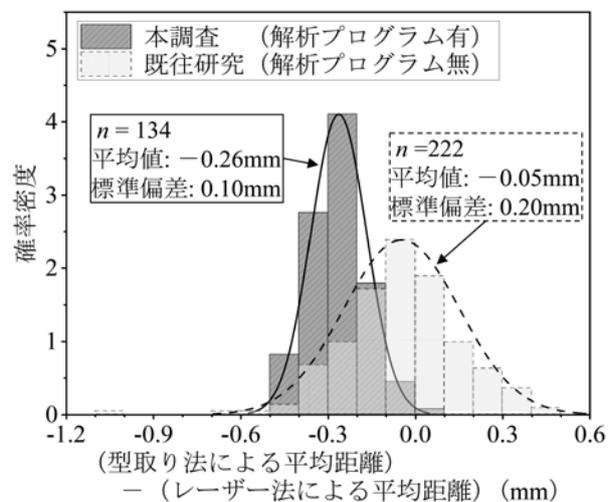


図-4 レーザー法に対する差のヒストグラム

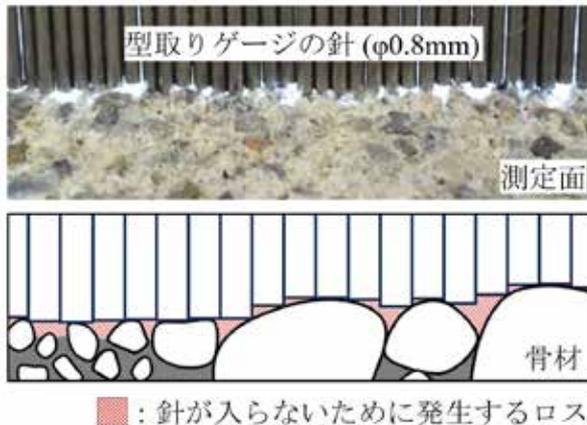


図-5 型取り法における過小評価の要因

られる。従来の解析では測定者が目視・手作業で行うプロセスが複数あり、たとえ同一の画像を処理する場合でも、測定者間あるいは繰り返しによる誤差が生じていた。本プログラムを活用すれば、こうした人為的誤差を排除できるため、解析結果が安定すると考えられる。

解析結果の精度を示すデータの一例として、無機系表面被覆工法により補修された開水路を対象とした現地調査の結果を図-4に示す<sup>4)</sup>。この図は、型取り法で求めた平均距離と、高精度なレーザー距離計を用いた手法<sup>5)</sup>（以下、レーザー法）で求めた平均距離の差の分布を表しており、比較として解析プログラムを用いていない既往研究<sup>2)</sup>の結果も併記している。本調査と既往研究では調査地区やサンプル数が異なることに注意を要するが、両結果を比べると、本調査の標準偏差は既往研究の半分の値となっており、解析作業が自動化されたことによるばらつきの低減効果が示唆される。なお、本調査と既往研究の平均値には約0.2mmの差が生じている。この主要因については定かでないが、骨材等が露出した凹凸面では型取りゲージの針が物理的に入らない部分が生じる<sup>6)</sup>（図-5）ことから、型取り法はレーザー法よりもやや過小側に評価されるのが自然であると考えられる。こうした表面の凹凸に起因するロスは、型取りゲージのハード面の特徴により避けられない誤差である。ただし、その大きさは表面の凹凸度に依存し、凹凸度が大きく変化しない条件では、各回

の調査結果（平均距離）にほぼ同じだけの誤差が含まれることになる。例えば、粗骨材を含まない無機系表面被覆工法では表面の凹凸度が経年的に著しく変化することは考えにくい。そのような条件下で摩耗深さを経年的にモニタリングする場合には、平均距離の差分をとる際に誤差が相殺されるため、摩耗深さへの影響は小さいと考えられる。

## 5. おわりに

従来の型取り法は安価かつ定量的に摩耗状態を調査するために有効な手法であったものの、解析に要する手間やばらつきが大きかった。今回開発したプログラムによってこの課題が解消され、より簡便で高精度な手法へと改良されたと考えている。

現在、本プログラムを搭載したWebアプリの構築も進めている。ウェブブラウザで動作する形にすることで、通信環境さえ確保できれば、現地調査のその場で結果を確認できるようになる。これにより、測定ミスによる再調査の手戻りを回避できる、内業時間を削減できる等、より利便性が向上すると考えている。サーバー上に調査結果が自動的に保存されることも利点の一つであり、将来的には、蓄積されたデータを活用した劣化予測や対策時期の決定等に発展することを期待している。

なお、本プログラムは、農研機構ウェブページからの申請により利用できる<sup>7)</sup>。ご興味がある方は、ぜひお試しいただけると幸いです。

## 参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局整備部設計課（2023）：農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】、<https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/sutomane/attach/pdf/kaisuiro-1.pdf>
- 2) 川上昭彦、浅野勇、森充広、川邊翔平、渡嘉敷勝（2017）：型どりゲージを用いた摩耗測定手法、農業農村工学会論文集、304、I\_77- I\_84
- 3) 中矢哲郎、渡嘉敷勝、森充広（2016）：コンクリート水路の摩耗状態の変化を考慮した粗度係数評価

- 手法、農村工学研究所技報、218、107-113
- 4) 金森拓也、森充広、川邊翔平 (2023): 型取りゲージを用いた水路の摩耗測定手法の効率化に向けた画像解析プログラムの開発、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム、23、313-318
  - 5) 浅野勇、渡嘉敷勝、森充広、西原正彦 (2014): レーザ距離計による摩耗測定手法の開発、農業農村工学会論文集、293、1-12
  - 6) 川邊翔平、金森拓也、木村優世、森充広 (2024): 型取りゲージによる摩耗調査のための画像解析プログラムの検証、2024年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集、23-24
  - 7) 農研機構、2024年3月6日、プレスリリース、(研究成果) 農業用開水路等の摩耗調査を省力化するプログラムを開発 - 画像解析の自動化で分析を大幅省力化 -、[https://www.naro.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/nire/162137.html](https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nire/162137.html)

