

光切断法と高精度スライダーを利用した トンネル覆工コンクリートひび割れ計測システムの開発

株式会社大林組 技術研究所 正会員 ○藤岡大輔 正会員 畑 浩二
株式会社大林組 トンネル技術部 正会員 伊藤 哲 正会員 木梨秀雄

1. はじめに

トンネル覆工コンクリートの点検は、主にひび割れや浮き、はく離などを目視と打音により行われているが、最近では計測機器の急速な発達に伴い、画像計測などにより構造物の健全性を非接触で調査する手法が開発されつつある。本報告では、トンネル覆工コンクリートの非接触調査技術として開発した、光切断法と高精度スライダーを利用したひび割れ計測システムの概要とひび割れ幅計測実験の結果について述べる。

2. 光切断法の概要

光切断法とは、図 2-1 に示すように対象物にラインレーザーを照射し、対象物に投影されたレーザー光の輝線(以下光切断線と記す)の形状変化をカメラで捉えて、対象物の三次元形状を測定する技術であり、移動体の品質検査などに利用されている(例えば¹⁾)。図 2-2 は光切断線の形状変化の例である。レーザー照射器とカメラは固定されており、そこを通過する移動体の光切断線の形状が、カメラのシャッターを切るたびに取得される。撮影間隔が短いほど、あるいは移動体の移動速度が遅いほど光切断線の撮影回数が多くなり、精密な三次元形状を取得できる。この手法で用いるカメラでは、光切断線のみを撮影することで三次元形状が演算できるため、照明は不要である。さらに、撮影された画像のデータ量が少なくて済むため高速な計測が可能である。

本研究はトンネル内の覆工コンクリートのひび割れ幅の計測を目的とする。前述した移動体の品質検査では検査対象を移動させるが、本研究ではカメラとレーザー照射器を覆工コンクリートと平行に移動させ、ひび割れ幅を計測することとした。精度よい三次元形状を取得するためには、カメラ等の機器を、振動させることなく一定の速度で移動させる必要がある。そこで筆者らは、高精度かつ低振動で物体の移動速度を制御することが可能なリニアスライダーを本手法に適用した。このスライダーはベルト駆動でトンネル内の粉塵にも耐久性がある。

3. ひび割れ幅計測実験

(1) 計測方法

図 3-1 に供試体とカメラの配置状況を示す。カメラと供試体の距離は現場で覆工コンクリートの表面を計測する場合を想定して 40cm と設定し、その時の X 軸方向の撮影幅を 32cm とした。カメラの画素数は 1536×512(pixel)、レンズ焦点距離は 25mm である。レーザー照射器のレーザークラスは 2M である。供試体はコンクリート棚板(長さ 1m、幅 0.3m、厚さ 3cm) に曲げ荷重を与えて幅 0.15～3.50mm のひび割れを発生させたものである(図 3-2)。図 3-1 の様に供試体を 3 枚並べ、それに平

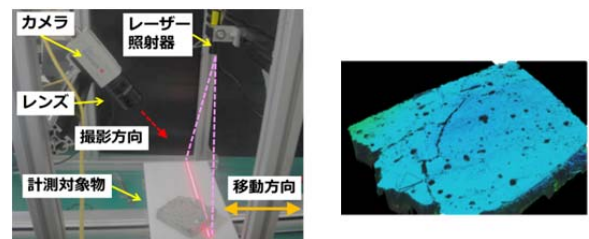


図 2-1 計測例(左)と計測された三次元形状(右)

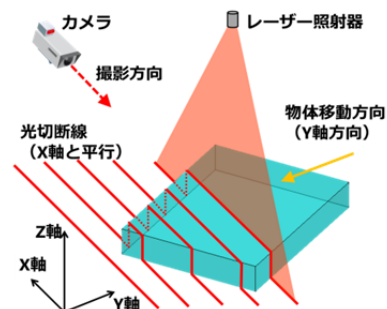


図 2-2 光切断線の形状変化の例

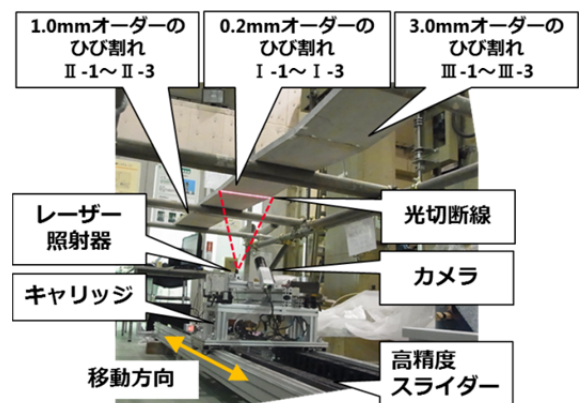


図3-1 供試体とカメラの配置状況

キーワード：光切断法，形状計測，コンクリート調査技術，ひび割れ，リニューアル
連絡先：〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 大林組技術研究所 Tel：042-495-1015

行にカメラとレーザー照射器を動かしてひび割れ幅を計測した。本手法による計測値はクラックスケールによる実測値と比較をした。

キャリッジの移動長は 3.5m, 移動速度は 200mm/s と 400mm/s の 2 パターンで計測を行った。なお, 移動速度を 200mm/s で計測を行う場合, 3.5m を 1 回走行するのに 17.5 秒要するが, 覆工コンクリートの天端 120 度(周長 10.5m)を計測範囲とすると, 1 回の計測幅を 0.6m(キャリッジにカメラを 2 基搭載)とすれば, $10.5\text{m}/0.6\text{m} \div 18$ 回走行して, 3.5m の計測が約 5 分で完了する。スライダーを 3 セットに増やすことで計測時間は 5/3 分まで短縮される。次の 3.5m の計測準備に 5 分要するとし, 覆工コンクリート 1 スパン 10.5m の計測の所要時間は $5/3 \times 3 \text{ 回} + 5 \text{ 分} \times 2 \text{ 回} = \text{約 } 15 \text{ 分}$ と試算した。

(2) 計測結果

図 3-3 に移動速度 200mm/s において取得した供試体三次元形状図を示す。三次元形状図は高さ情報(Z 方向の大きさ)がカラースケールによって表示されている。なお, グレースケールの三枚の画像は三次元形状図を真上から見た図(XY 平面に投影)である。ひび割れ部は黒い画素で表示されており, その黒い画素数を数えてそこに分解能を掛け合わせ, ひび割れ幅を算出した。本システムの撮影画像の分解能は, 移動速度 200mm/s の時は X 方向 0.212mm/pixel, Y 方向 0.040mm/pixel, Z 方向 0.020mm/pixel であり, 移動速度 400mm/s の時は X 方向 0.212mm/pixel, Y 方向 0.080mm/pixel, Z 方向 0.020mm/pixel である。撮影画像の分解能は, 撮影距離や焦点距離といった撮影パラメータと物体の移動速度によって左右される。

表 3-1 に計測値と実測値の比較を示す。クラックスケールの目盛間隔(分解能)はひび割れ幅が 1mm 未満の場合は 0.05mm 刻み, 1mm を超え 2mm 未満の場合は 0.1mm 刻み, 2mm を超える場合は 0.5mm 刻みとなっており, ひび割れ幅が大きくなると誤差も大きくなる。計測されたいずれのひび割れにおいても, 誤差はクラックスケールの分解能と同程度かそれ以下となったことから, 本手法は従来手法であるクラックスケールによるひび割れ幅計測の代替手法として提案することができる。特に幅 0.2mm のひび割れ I-2 では, いずれ移動速度においても, 0.15~0.24mm の範囲内の計測値が得られ, 0.2mm のひび割れと判定可能な精度で計測を行うことができた。

4. まとめ

本研究では, 光切断法と高精度スライダーを組み合わせた手法であり, 0.2mm のひび割れを検知することが可能で, 覆工コンクリートのひび割れ調査技術としての適用性が高いことを見出すことができた。また, 本システムは Z 方向のズレの検出も出来るため, 覆工コンクリートの浮きを検知できる可能性があり, 今後検証実験を行う予定である。

謝辞

光切断法の適用に際してはジック株式会社坪井氏, 大澤氏に, 高精度スライダーの適用に際してはオザック精工株式会社原田氏, 林氏に多大なるご支援をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 高橋, 青木, 片山, 坪井, 塚原: 連続ベルトコンベア監視における光切断法の適用性における研究, 第 70 回土木学会年次学術講演会, 2015

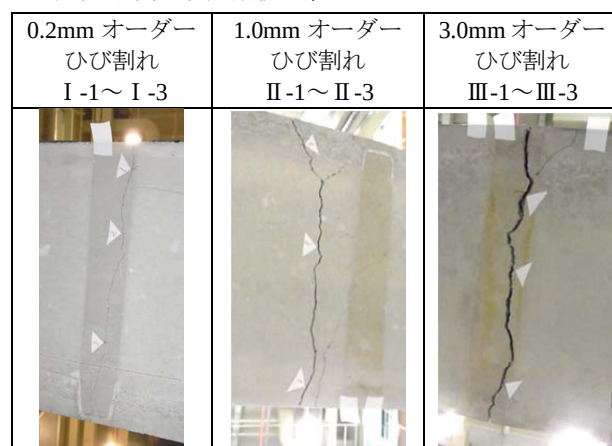


図3-2 供試体一覧

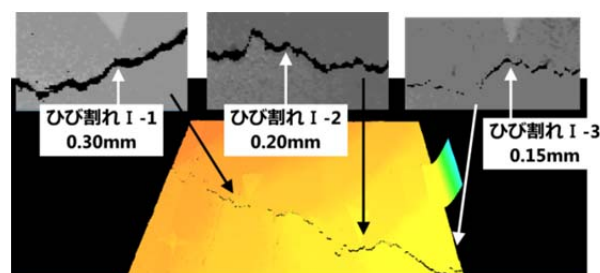


図 3-3 取得した三次元形状

表 3-1 計測値と実測値の比較

移動速度	I-1			I-2			I-3		
	計測値	実測値	誤差	計測値	実測値	誤差	計測値	実測値	誤差
200mm/s	0.32	0.30	0.02	0.20	0.20	0.00	0.16	0.15	0.01
400mm/s	0.28	0.30	-0.02	0.24	0.20	0.04	0.16	0.15	0.01
移動速度	II-1			II-2			II-3		
	計測値	実測値	誤差	計測値	実測値	誤差	計測値	実測値	誤差
200mm/s	1.32	1.20	0.12	1.28	1.10	0.18	0.98	1.10	-0.12
400mm/s	1.28	1.20	0.08	1.21	1.10	0.11	0.90	1.10	-0.20
移動速度	III-1			III-2			III-3		
	計測値	実測値	誤差	計測値	実測値	誤差	計測値	実測値	誤差
200mm/s	3.45	3.50	-0.05	3.16	3.00	0.16	2.96	2.50	0.46
400mm/s	3.66	3.50	0.16	3.30	3.00	0.30	2.92	2.50	0.42