呉工業高等専門学校 正会員 〇河村進一, バブコック日立 北村淳貴 呉工業高等専門学校専攻科 天竺千紗,日本パーカライジング広島工場 藤井亜紀

1. はじめに

供用年数 50 年を超える老朽化した土木構造物が今後急 速に増加することになる。従来の点検では,構造物外観の 目視検査が主体であり,損傷個所をデジタルカメラで撮影 して写真として保存している。損傷個所の 3D 形状データ を記録し,経年変化をより詳細にとらえることができれば, より精緻な損傷評価が可能になると考えられる。ステレオ 写真を用いた 3D データの取得では,2 枚の写真で被写体 の共通の特徴点を見つける必要があり,構造物の表面に適 用するのは難しい。格子投影法ではプロジェクター等によ り投影した特徴点をデジタルカメラで撮影することで,カ メラの全視野の形状を計測可能にする¹⁾。この方法は,プ ロジェクターで格子を投影し,カメラで撮影するだけのシ ンプルな方法でデータを取得するものであるため,構造物 の表面形状を測定する手法として効率的であると考えられ る。

本研究では、格子投影法による土木構造物のメンテナン スの分野への適用可能性について検討を行うために、X,Y,Z 方向を計測する 3D 計測プログラムを作成し、カメラとプ ロジェクターの最適設置条件の検討を行い、コンクリート の形状計測を試みた。

2. 格子投影法による計測原理

図1に格子投影法の計測原理を示す。プロジェクターから 基準面に出ている線は格子のもっとも明るい光が投影され ている場所を示し、カメラから出ている線は、ある画素が 撮影する方向を表している。Z=Z₀の面に投影された格子の 輝度値 I(x)は式(1)のように余弦波状に分布している。

 $I(x)=a(x)cos(\theta(x))+b(x)$ (1) ここで、a(x),b(x)は、輝度振幅と背景輝度を表し、 $\theta(x)$ は な子の位相値、xは恐影された声における座標値あるいけ

格子の位相値, x は投影された面における座標値あるいは 投影された画像の画素の位置を示している。投影面の高さ が変化すると格子の模様の位置が移動し,既知の高さにお



ける位相値を算出し、キャリブレーションデータとして用いる。図2は、ある画素におけるキャリブレーション結果の例を示したものである。測定対象物を設置した場合、表面に格子が投影され、計測点 P の位相値 θ P を周辺の画像から算出すればキャリブレーションデータより、高さZ が算出できる。

3. 計測プログラム作成

格子解析法では、(1)画像から位相値算出,(2)位相値から座標値算出の2種類の計算が必要となる。全視野 での座標データ取得では大量の画素について計算が必要なため,LabVIEWにより計測用プログラムを作成し た。図3は画像から位相値,図4は位相値から座標値を算出するプログラムのブロックダイアグラムとフロ ントパネルである。



図3 画像から位相値を算出するプログラム



図4 位相値から座標値を算出するプログラム



図5 計測機器の設置状況



4. 計測方法

表1は、本研究で使用する計測機器の構成を示す。 カメラ で画像データをコンパクトフラッシュカードに JPEG 形式 で保存し、その画像をパソコンに読み込み、上記の計測ソフ トで画像処理を行う。図5は、プロジェクターおよびカメラ の設置位置を示す。カメラとプロジェクターは、三脚に取り 付けたアームに固定し、アームの取り付け部でカメラとプロ ジェクターの角度の微調整が可能である。カメラは測定物を 正面から撮影できるように配置し、プロジェクターは測定物 表面に斜めから投影するように設置している。カメラのピン トはマニュアルフォーカス、シャッター速度および絞りをマ ニュアルモードで固定する。格子は白黒の2色を配置した格 子を使用し、プロジェクターの表示可能画素数である 1024 ×768 画素と同じになるように格子画像を作成する。またカ メラの画素数は2240×1488 画素である。撮影した全画素の 位相を求めることも可能であるが、データが多すぎるとパソ コンの処理に問題が生じるため、縦横10画素ごとに表面の 座標値を測定するようにし、1枚の写真から抽出できるデー タ数は 220×140 点、計 30800 個の点群データとした。ある 測定点におけるキャリブレーションデータの例を図 6 に示 す。当初は1ショットの撮影で精度が確保できるのではない かと考えていたが、予想以上に位相値にばらつきが大きいこ とが確認され、キャリブレーションデータ、および形状計測 の両方とも 5 回撮影した平均値により位相を求めることに した。

5. コンクリート片の 3D 計測

図7は、実験室内において、コンクリートの割裂引張試験 片の一部の撮影画像から位相分布を求め、高さzを算出した 例を示している。位相分布は0を黒、2πを 白で表示し、高さの結果は高さ 0mm を黒色、 高さ 50 mmを白色で表示している。各計測点 について高さ方向 (z 方向) だけでなく X, Y 方向もキャリブレーションデータを作成し ておくことにより、3次元座標の取得も可 能になる。図8は、供試体の表面形状の3D 計測の結果である。

6. コンクリートのひび割れの計測

劣化した構造物の計測へ適用性を検討する ために、屋外のコンクリート構造物の表面形 状の計測を試みた。対象とした構造物は呉高





c) 高さ分布 図7 高さzの算出例





図9 機器の設置状況

専環境都市工学棟材料実験室のスロープであり、スロープ と床の境界付近に地盤沈下の影響により生じたひび割れが 発生している箇所である。図9は、カメラとプロジェクタ ーの設置状況である。屋内でのキャリブレーションは計測 可能範囲を0から90mmに設定した。プロジェクターのレ ンズから測定可能な2方向の範囲は960から1050mmであ る。プロジェクターにより格子を投影するため、周囲が明 るい場合は格子が明瞭に表示されない。そのため、計測は 日没後に行い、屋内で計測を行った時と周囲の明るさがほ ぼ同じ状態になるようにした。

図10はひび割れが生じたコンクリート部分の計測結果 を2次元で。図11はその結果を3次元表示したものであ る。×印の位置で画像計測とノギスの実測値と比較した結 果、24.8mmと25.2mmであり、ほぼ同じ深さであった。し かしながら、スロープ表面には投影した格子サイズ程度の ノイズが存在している。特に屋外での測定ではノイズが大 きくなることが確認されたので、これらの対策について検 討が必要である。





参考文献 1)藤垣元治,森本吉春:全空間テーブル化手法による格子投影3次元形状計測,日本実験力学会講演 論文集, Vol.8, No.4, pp.402-408, 2008.