画像解析による土木構造物の形状計測に関する研究

呉工業高等専門学校　学生会員　○北村淳貴
正会員　　河村進一

1. はじめに

社会基盤整備が高度経済成長期に急速かつ重点的に行われたため、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。従来のメンテナンスである構造物外観の目視検査は、異状の箇所を把握することは可能だが、異状の規模を定量的に計測することはできない。

他の分野では、プロジェクターとパソコン、カメラを用いて短時間でデジタルカメラの全視野の形状を計測可能な格子投影法が実用化されつつある。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あるため、モニタリング手法として効率的であると考えられる。

本研究では、格子投影法が土木構造物のメンテナンスの分野への適応可能性について検討をするための第 1 段階として、コンクリート供試体の格子投影法による形状計測プログラムを作成し、高さ解析の精度を検討する。

2. 画像計測の原理

図 - 1 に格子投影法による画像計測の原理を示す。この方法は、プロジェクターで 2 次元格子模様を投影し測定物をカメラで撮影して、全視野の高さ Z を求めるものである。カメラとプロジェクターは、上方に固定する。**図 - 1** で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。

$Z=Z_0$ の面に投影された格子の輝度値 I(x)は余弦波状に分布している。これを式で表すと次の式(1)のようになる。

$$I(x)=a(x)\cos(\theta(x))+b(x) \qquad (1)$$

ここで、a(x),b(x)は、輝度振幅と背景輝度を表し、$\theta(x)$は格子の位相値、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位置が移動していく。ある画素の位相値と高さの関係がわかれば、撮影した画像の各画素の位相値から高さを求めることができる。そこで、基準面を Z 方向に平行移動させて、既知高さの平面に投影された格子の各画素の位相値を測定して、

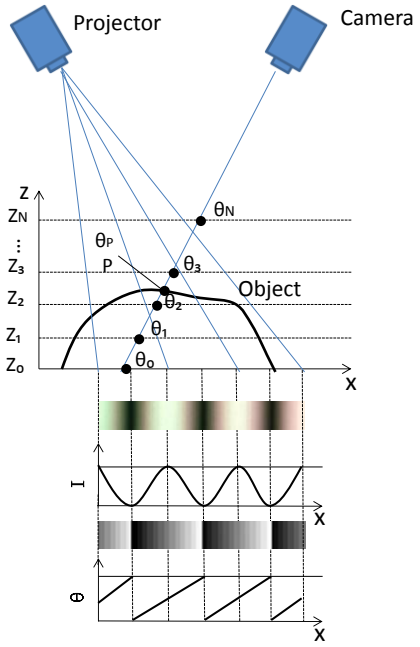


図 - 1　画像計測の原理

これをキャリブレーションデータとして用いる。基準面の上に物体を設置した場合、物体表面に格子が投影され、物体上の点 P を撮影することになり、その点に撮影されている格子の位相 θ_p がその画素の位相として得られる。位相 θ_p とキャリブレーションデータを対応させることにより高さ Z_p を得ることができる。[1)]

3. 計測機器および方法

カメラは Nikon D100(画素数 2240×1488pixel)、プロジェクターは DELL 3400MP を使用する。カメラとプロジェクターのレンズの高さは地上から 1050mm、レンズ間の距離 160mm に設定し、レンズとレンズの軸をそろえて設置する。キャリブレーションデータを作成するため、白い紙を貼った鉄板に格子を投影し、写真を撮る。鉄板の高さはカメラの三脚に取り付けたレーザー変位計により測定する。キャリブレーション用高さは、0, 15, 35, 52mm の 4 層である。投影する格子は Microsoft PowerPoint により、Z=0mm に投影した時の格子の間隔が 10 mmになるように作成した。写真の計測範囲内の全ての画素についてキャリブレーションを行う。

4. 結果と考察

図 - 2 は､1 つの画素に対する位相 θ と高さ Z の関係から作成したキャリブレーションデータである。このデータを線形で結ぶとほとんど直線になることがわかる。**表 - 1** は、平面に対して画像解析を行った計測値の平均、標準偏差、最大値、最小値である。この結果より、平均値での誤差は 0.5㎜ 以内、標準偏差は 0.2 ㎜以内であり、最大値と最小値の差は、最大 3.5㎜ であることがわかる。これより、ひび割れ等の ㎜ 単位の異状を解析することは困難であるが、コンクリートの欠落等の ㎝ 単位の異状は解析することが可能であると考えられる。

図 - 3 は､Z=0㎜ の平面にコンクリートの割裂引張り試験での破片である供試体を置き、格子を投影した全画素の画像である。**図 - 4** は、高さを求めるために供試体周辺の 300×300 画素を抽出した画像と、その下に枠で囲んだ部分の輝度と位相、高さグラフである。(a)は､輝度値から位相に解析する時に輝度の極小値を基準に 0 から 2π の位相に解析する方法を使用した結果であり、(b)は輝度の極大値を基準に 0 から 2π の位相に解析する方法を使用した結果である。**図 - 4** の枠で囲んだ y=150pixel の部分の x 方向の高さの解析を行うと、(b)は供試体の形状である円形の形になっていることがわかるが、(a)は円形の形になっていないことがわかる。これは、供試体の右端(x=250pixel 付近)で供試体の影が映っており、これは格子でないにも関わらず解析上では格子と認識されていることが原因である。これより、輝度から位相に解析する時は、輝度の極大値を基準に行った方が良いと考えられる。また、㎜ 単位の異状を検出するには、現在使用している格子から位相に解析するプログラムは簡易的であるため、より高度な解析方法で行い精度を向上させる必要があると考えられる。

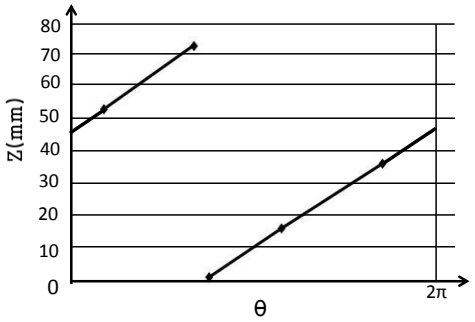


図 - 2　キャリブレーションデータ

表 - 1　画像解析による計測値

	画像解析による計測値(mm)			
レーザー変位計で測定した高さ(mm)	平均	標準偏差	最大値	最小値
6.9	6.8	0.2	8.6	5.1
25.5	26.0	0.2	27.7	24.5
43.6	44.1	0.2	45.7	42.7

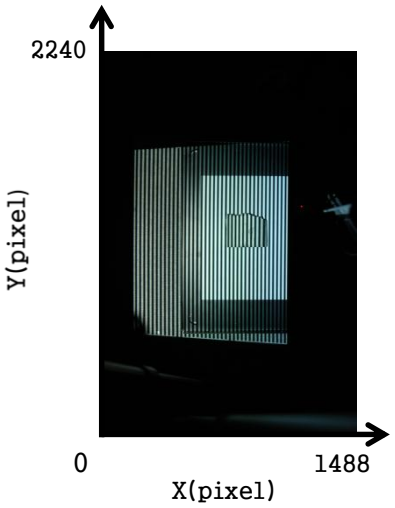
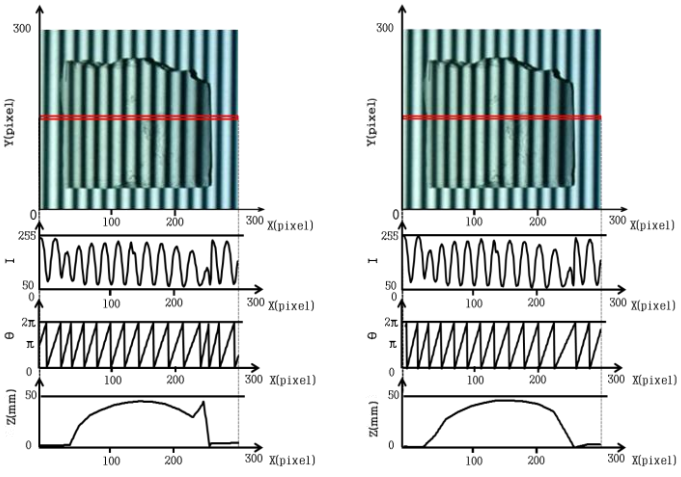


図 - 3　供試体に格子を投影した全画素の画像



(a)極小値　　(b)極大値

図 - 4　供試体の輝度、位相、高さ

5. まとめ

データの解析結果が誤差 4 ㎜以内であることより、人間の目で見える範囲の構造物の変形は、この方法により解析することが可能であることがわかった。

高さを解析時の精度を向上させるには、供試体の色や反射率に考慮した投影方法で行うことと、格子から位相への解析プログラムの高度化が必要であると考えられる。

6. 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, 実験力学, Vol. 8 No. 4 pp. 402-408, 2008.