

ガボールフィルタを用いた コンクリート構造物上のひび割れ抽出に関する研究 Recognition of Cracks in Concrete Structures Using Gabor Function

瀧内 裕之 Hiroyuki Takiuchi 関西大学大学院 Graduate School Of Kansai University	広兼 道幸 Michiyuki Hirokane 関西大学 Kansai University	林 勲 Isao Hayashi 関西大学 Kansai University
--	--	--

Abstract: At present day, public infrastructures such as bridges and roads can be seen all around. The continuous construction of such infrastructures is posing an important problem of how to maintain and efficiently manage an existing structure. In this paper, system of extracting characteristics of cracks showing up on damage levels is attempted by using these results. So, in this research, in order to aim at maintenance of a structure and the increase in efficiency of management, and to extract a crack from a crack picture, it experimented using the Gabor function.

1. はじめに

近年、高度経済成長期に造られたコンクリート構造物の劣化が深刻な問題となっている。高度経済成長期に急激に増加したコンクリート構造物のうち、国道の橋梁が 2011 年から 2015 年の間、マンションが 2006 年から 2010 年の間に寿命に達する数がピークを迎えるとみられている。また、東京オリンピックの開催された 1964 年を境として、それ以降に建設されたコンクリート構造物の寿命が短くなっている。そのため、コンクリート構造物がどの程度劣化しており、どの程度の補強が必要なかを把握し、いかに効率的に維持管理していくかということが重要になってきている。このような状況下において、我々はコンクリート構造物の耐久性の診断を的確に行い、維持管理の効率化をはかる必要に迫られている。

コンクリート構造物の耐久性の診断方法として、専門家によるひび割れの目視点検、目視することのできないひび割れに対しての超音波を用いたひび割れ深さ測定、テストハンマーを用いて行う反発度の測定等がある。しかし、これらは専門的な知識や経験が必要となる上、人手が必要となり、コンクリートの耐久性の診断にかかるコストが増大することになる。そこで本研究では、ひび割れの抽出を的確に行い維持管理の効率化をはかること、人手を省きコスト削減をはかることを目的としたシステムの提案を行っている。本研究で提案しているシステムは、コンクリート構造物の耐久性の診断の手法の一つである専門家による目視点検の手助けとして、コンクリート構造物のひび割れを抽出するシステムである。

人間がどのように物を認識しているのかを視覚情報処理の観点から考え、人間が物を認識するうえで重要な役割を担っている人間の視細胞の

受容野のモデルとして有用であるガボール関数を利用することで、人間の視覚情報処理と近い処理を行っている。

本研究では、コンクリート構造物を接写したデジタル画像からガボール関数を用いてひび割れを抽出することを試みた。

2. ガボール関数

ガボール関数はガウス関数と正弦・余弦関数から構成されている関数であり、任意の周波数成分を抽出するフィルタリング機能をもつものである。式(1)は二次元正弦関数型ガボール関数 $G(x, y)$ を表したものである。

$$G(x, y) = Ke^{-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-\mu_x)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-\mu_y)^2}{\sigma_y^2} \right)} \times \sin(2\pi f_x \cos\theta + 2\pi f_y \sin\theta + \phi) \quad (1)$$

ここで、 K は振幅、 (μ_x, μ_y) はガボール関数の中心座標、 σ_x と σ_y は x 軸と y 軸の標準偏差、 f_x と f_y は x 軸と y 軸の周波数、 θ はガボール関数の方向角度を表している。ガボール関数の方向角度とは、16 方向を表す角度、つまり 0° 、 22.5° 、 45° と始まり 337.5° で終わる角度のことである。また、 $G(x, y)$ は任意の座標 (x, y) における輝度の値が入る。 ϕ は位相を表しており、 $\phi = 2/\pi$ とした場合は、余弦となる。 0° から 337.5° の 16 方位選択成分の角度を式(1)に代入して 16 枚のガボールフィルタを作成する。式(1)における σ_x や σ_y など、その他のパラメータの値は入力画像によつ

て微調整を行い、入力画像に対して最適なパラメータの値を与える必要がある。また、そのパラメータとは別にガボールフィルタの大きさも設定する必要がある。

2.1 ガボールフィルタリング

ガボールフィルタの中心が入力画像の左上隅の pixel から、入力画像の右下隅の pixel に来るまで 1pixel ずつガボールフィルタを、左から右、一行が終われば上から下へ動かしていき、16 枚の方位選択成分画像ができる。このとき、ガボールフィルタの一部が入力画像からはみ出す場合がある（図 1 ではガボールフィルタがはみ出す場所は点線で表された部分である）。そのため、フィルタリングするときは、入力画像からガボールフィルタがはみ出る部分にあらかじめ値を入れておく必要がある。図 1 の例では、入力画像の三角形は黒色のラインで描かれており、背景は白色である。よって、点線部分にあらかじめ設定しておく値は白色を表す値が望ましい。

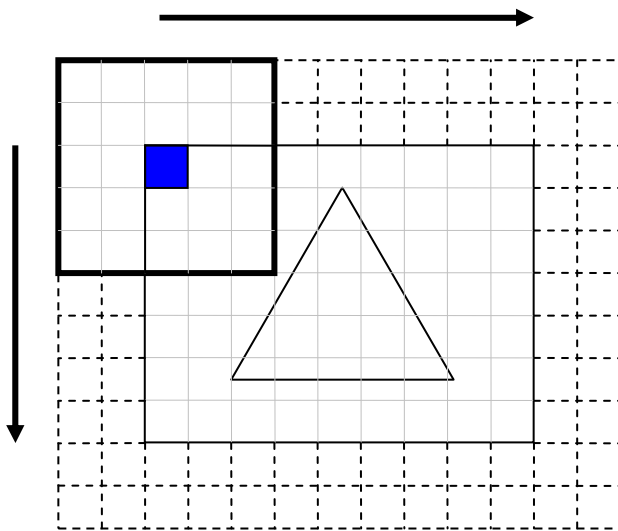


図 1 フィルタリング

2.2 畳み込み計算

ガボールフィルタを作成した後に畳み込み計算を行う。式(2)は i 方向の方位選択成分 $C_i(x, y)$ を抽出する畳み込み計算の式である。

$$C_i(x, y) = \sum_{q=1}^{I_h} \sum_{p=1}^{I_w} G_i(x-p, y-q) \times I(p, q) \quad (2)$$

ここで、 I_h は入力画像の縦幅の pixel 数、 I_w は入力画像の横幅の pixel 数である。

$G_i(x-p, y-q)$ は 16 方位選択成分の i に対応

した θ の角度を用いたガボール関数、 $I(p, q)$ は入力画像の任意の座標 (p, q) の輝度を表している。また、 $C_i(x, y)$ は i 方向の方位選択成分画像の座標 (x, y) に入る輝度の値を示し、実際の畳み込み計算は、図 2 に示すような考え方で計算が行われることになる。

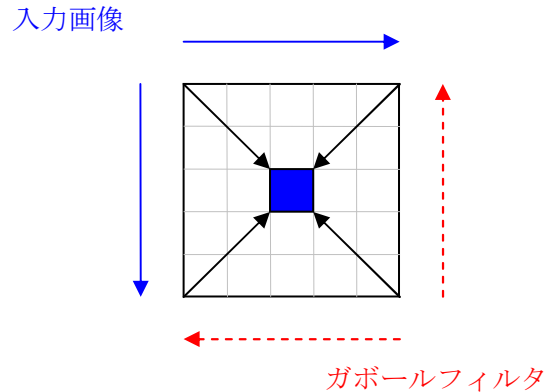


図 2 畳み込み計算の概念

3. ひびわれ抽出(ケース 1)

3.1 入力画像(ケース 1)

本研究では、前処理としてコンクリート構造物を接写したデジタル画像に対して、図 3 に示すように、フルカラー画像からグレースケール画像への変換を行っている。変換後の画像をシステムに取り込み、処理を行う。ケース 1 で使用する画像における大部分のひび割れは、幅が 0.20mm から 0.30mm であり、ひび割れは縦方向に伸びている。

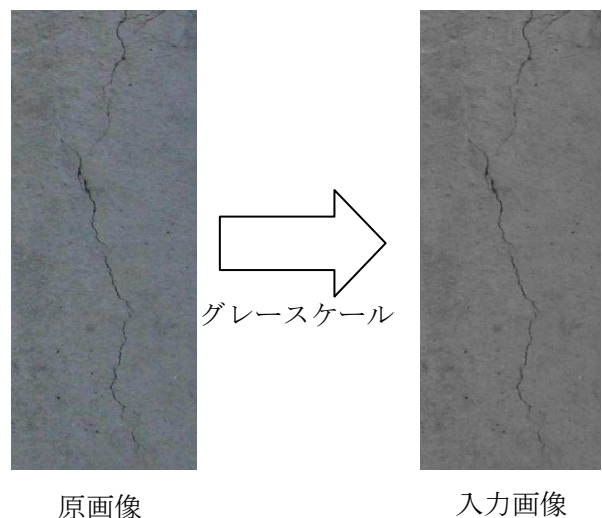


図 3 原画像と入力画像

3.2 ガボールフィルタ

16 方位選択成分画像を抽出するために用いたガボールフィルタの式(1)に代入するパラメータを表 1 に、そのパラメータを用いて作成した 16 方

位のガボールフィルタの画像を図4の(a)~(p)にそれぞれ示している. 今回ガボールフィルタ処理に用いたガボールフィルタの大きさは, 縦 9pixel × 横 9pixel である. なお, 本研究では式(1)のパラメータのうち ϕ は常に0としたため表には書き込んでいない.

表1 パラメータ (ケース1)

K	0.9
σ_x, σ_y	1.92
f_x, f_y	0.187

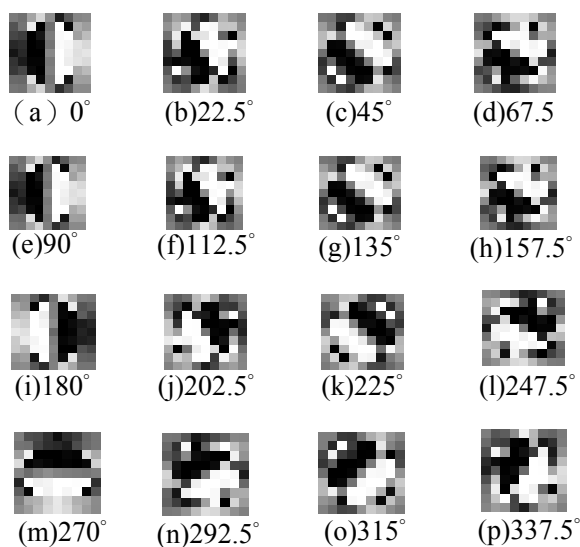


図4 ガボールフィルタ

3.3 二値化・画像出力

方位選択成分画像を重ね合わせた画像に二値化処理を行い, ノイズ等のひび割れ以外の余分な特徴を取り除き, ひび割れの特徴を明確なものにする. ひび割れ抽出画像はグレースケール形式で出力する.

3.4 出力結果 (ケース1)

16 方位の方位選択成分画像を重ね合わせたものに二値化を行い, ひび割れ抽出画像を作成する. 図5(a)は入力画像であり, 図5(b)は入力画像に対して固定閾値二値化処理(閾値=102)を施したものである. 図5(c)は本システムでのひび割れ抽出を行った結果である. 図5(b)では, コンクリートの汚れや, コンクリートの色とひび割れの色の違いが微少なため, ひび割れ以外にノイズ等の不要な画素まで抽出しており, 正確なひび割れの抽出

が行われていない. それに対し, 図5(c)では, ノイズと思われる不要な画素は図5(b)ほど抽出されておらず, 正確なひび割れの抽出が行われている.

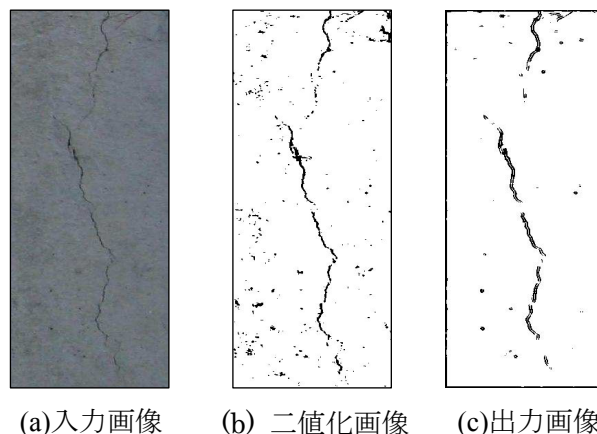


図5 入力画像と出力画像

4. ひび割れ抽出 (ケース2)

4.1 入力画像 (ケース2)

ケース1のひび割れ幅は0.2mmから0.3mmの幅で実験を行った. ケース2のひび割れ幅は, 図6に示すように, 大部分が0.05mmから0.2mmの横方向に伸びたひび割れであり, 人間が直接画像を見ても, よく見れば分るが, すぐにはひび割れを判断することが困難な画像を用いて実験を実施した.

また, 図6の入力画像はひび割れ幅が小さくひび割れとその周りの階調に差があまりなく, ひび割れを抽出しにくいことから, パラメータとノイズとの関係を見るために, 表2に示すように, 標準偏差 σ_x, σ_y の値が1.92の場合と0.92の場合について, ひび割れの抽出を実施した.



図6 入力画像

表2 パラメータ (ケース2)

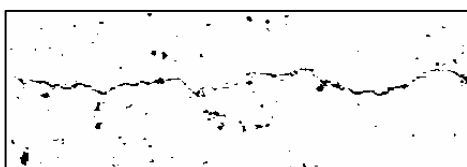
K	0.9
σ_x, σ_y	1.92 or 0.92
f_x, f_y	0.187

4.2 出力結果 (ケース 2)

図 7(a)は入力画像である。図 7(b)は入力画像を閾値 133 で二値化を行った画像である。図 7(c)は標準偏差を 1.92 として本システムでのひび割れ抽出を行い方位選択成分画像を重ね合わせたものである。図 7(d)は、(c)の出力画像のパラメータ内の標準偏差を 0.92 に変更し抽出した画像である。図 7(c)はコンクリートの汚れや、コンクリートの色とひび割れの色の違いが微少であり、ひび割れ幅が小さいため、ひび割れ以外にノイズ等の不要な画素まで抽出しているが、ひび割れ自体は 0.05mm を抽出することができている。それに対し、図 7(d)では、ノイズと思われる不要な画素は図 7(c)ほど多く抽出されてはいないが、実際のひび割れが発生している箇所について、あまり正確な抽出が行われていない。このことから、ひび割れの発生状況によっては、標準偏差など、ガボール関数のパラメータを適切に設定する必要があることがわかった。ガボール関数を用いて作成した画像と、二値化画像を比較した場合、ひび割れの抽出率は同じぐらいだが、ノイズの量に違いが見られる。



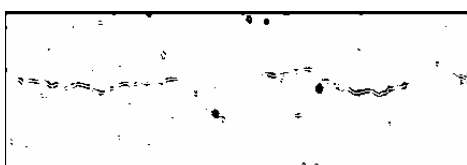
(a) 入力画像



(b) 二値化画像



(c) 出力画像 ($\sigma_x = 1.92$)



(d) 出力画像 ($\sigma_x = 0.92$)

図 7 入力画像と出力画像

5. おわりに

本研究では、入力画像にガボール処理を施すことにより、入力画像の輝度情報からひび割れを抽出することを試みた。

本システムではガボール関数のパラメータを使用者が任意で設定しなければいけないことから、ノイズが大量に発生し、ひび割れを正確に抽出することができないことがあった。ひび割れ幅が 0.02mm 以上の画像については、ある程度正確なひび割れ抽出を行うことができた。しかし、ひび割れ幅が 0.05mm のように小さい場合、ノイズをおさえ正確なひび割れ抽出を行うためのパラメータを見つけ出すため、何度もパラメータを変更し、試行錯誤する必要があった。

今回、本文に掲載していないが、縦方向、横方向のひび割れ以外に、無秩序な方向 (2 方向) に伸びたひび割れでも抽出実験を行ったが、幅が大きすぎるとしたひび割れは、正確に抽出することができたが、幅の小さいひび割れについてはあまり正確に抽出することができなかった。これは 1 枚の入力画像に対して標準偏差などのパラメータを固定して実行したことが原因の 1 つとして考えられ、幅の異なるひび割れが混在する画像に対しては、同一試行の中でも、幅に応じて動的にパラメータを調節していく仕組みが必要であると考えられる。今回の実験で用いた画像はコンクリート構造物を接写した画像の一部に過ぎず、実際のサイズの約 480 分の 1 のサイズでしかない。実際のコンクリート構造物を接写した画像は実験で用いた画像より大きい場合、さらに大きなサイズの対応が必要になる。

参考文献

- [1]小林一輔：コンクリートが危ない，岩波書店，1999
- [2]淀川英司，東倉洋一，中根一成：視聴覚の認知科学，社会法人電子情報通信学会編，1998
- [3]高木幹雄・下田陽久：新編 画像解析ハンドブック，東京大学出版会，2004
- [4]永野俊・梶真寿・森晃徳：視覚系の情報処理 心理学・神経科学・情報工学からのアプローチ，啓学出版，1993
- [5]林勲，前田裕正：ガボール関数を用いた TAM ネットワークの受容野入力構造，第 20 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，pp.410-413(2004)
- [6]林勲，James R. Williamson：広範囲受容野をもつ TAM ネットワークの提案，第 21 回ファジィシステムシンポジウム(2005)

連絡先

広兼 道幸

E-mail:hiro Kane@res.kutc.kansai-u.ac.jp