検反作業の自動化技術に関する研究

織物表面凹凸の画像検査技術

安藤正好、池口達治

要　旨

織物表面の凹凸状態に関係する欠陥には、表面がフラットな織物に結び目などの凹凸欠陥がある場合と、もともと凹凸がある織物、例えばサッカー、コーデュロイなどに凹凸欠陥がある場合とがある。これら織物の表面凹凸変化をコンピュータ画像処理技術を用いて解析し、欠陥検査の自動化を図った。

この研究では、織物の設計意図に合致した正常な凹凸の現れ方を基準にして、これとは異なる部分を検出するため、２種類の凹凸検査手法を構築した。

ひとつは、検査織物の斜め上方からフラットランプ光を照射して、できた影の状態をもとに欠陥を認識・抽出する検査手法（以下投光造影法と呼ぶ）である。

もうひとつは、斜め上方からレーザースリット光を照射し、検査織物に当たったスリット光の形状をもとに凹凸量を計測し、欠陥を認識・抽出する検査手法（以下スリット投光法と呼ぶ）である。

１．はじめに

製造業界では、人手の多く要する作業の自動化・省力化が強く望まれており、繊維業界でも例外ではない。

織物の検反作業は、製織・染色整理などの各工程で頻繁に行われており、高品質な織物を製造する上でなくてはならない重要な作業である。この検反作業は熟練者の目視に頼って行われているため多くの人員と手間を要し、作業者への負担が大きくまた個人差もある。このため、製品の品質向上・均質化を図る上からも自動化・省力化が必要と考えられる。

本研究では、検反作業のうち、サッカーやコーデュロイのような織物の凹凸に関する検査にターゲットを絞り、コンピュータ画像処理技術を応用した自動化技術に取り組んだ。

一般に物体の凹凸を検出するには、触針法、モアレ法、レーザー法などがある。電気部品のように硬質な物体の凹凸検出については、既に製造ライン上での自動化が図られている。しかし、織物表面凹凸の検査を自動化するのは、織物に含まれる異常な凹凸をコンピューターで識別する事が難しく、実用化に至ってない。

２．検査方法

２－１　検査装置

・画像処理装置
　㈱東芝製　TOSPIX-II
・プログラム開発装置
　ＮＥＣ製　PC-9801
・非接触変位計測システム
　（スリット投光法に使用）
　㈱オプトアート製

半導体レーザー投光器及び駆動装置

OPLD-11 S-8350 A

OPLD-100 A

発振波長　830 nm

光出力　50 mW

ＣＣＤカメラ

STC-40

可視光カットフィルター付

・照明装置（投光造影法に使用）

450 W フラットランプ

２－２　検査方法の概要

２－２－１　スリット投光法

検査織物の斜め上方に半導体レーザー投光器、垂直上方にＣＣＤカメラを備え、ＣＣＤカメラは画像処理装置に接続した（図１）。

凹凸の検出方法は次の通りである。

① 半導体レーザー投光器から、レーザー光を検査織物に斜め上方から当てる。このレーザー光は波長が非可視波長帯の 810 nm であり、目で見ることはできないが、ＣＣＤカメラを通してモニター上で見ることができる。ビーム形状は 0.2 ㎜幅のスリットである。したがって平坦部に照射すると、スリット像は細い直線状となるが、凹凸があると歪む。

② 織物に当たるレーザースリット光の画像をＣＣＤカメラから取り込む。レーザー光が当たっていない部分の画像は不要であるため、ＣＣＤカメラのレンズに可視光カットフィルターを付け、レーザー光だけが透過するようにした。こうすることにより、明るいところでの検査が可能となるほかに、織物の柄の影響をできるだけ少なくすることができる。

③ スリット光の形状から凹凸量を求め、そのデータをもとに、欠陥抽出を行う（図２）。

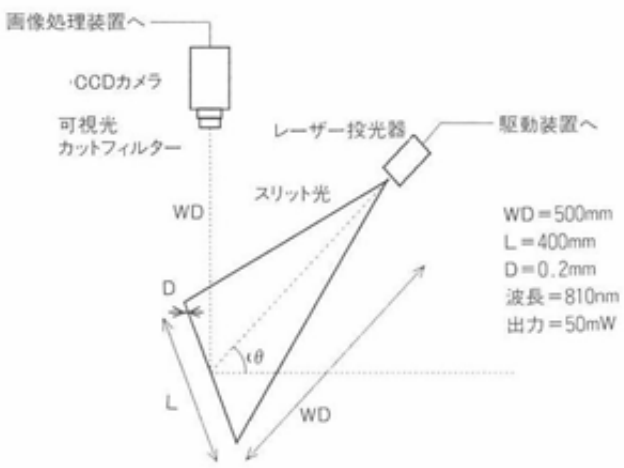

図１　スリット投光法による凹凸量検出装置

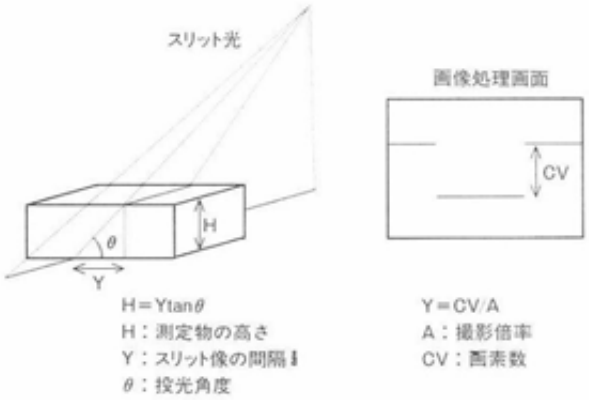

図２　スリット投光法による凹凸量の計測

投光角度が小さいほど凹凸量の検出精度が高い（図３）。しかし凹凸量が大きい織物や起毛した織物を検査する場合、投光角度を小さくすることができないので、投光角度は織物の種類に応じて 15 から 30°の範囲で変えることとした。

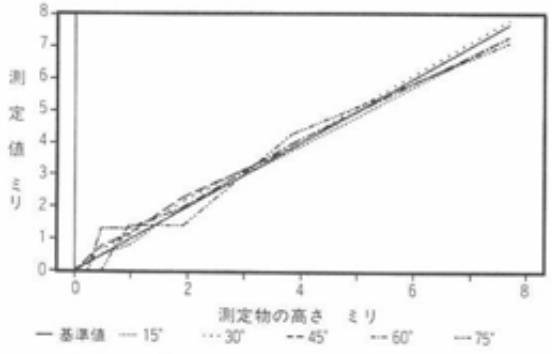

図３　投光角度と測定値の関係

測定物の明度とレーザー光の反射率との関係は、蛍光灯のそれと比較して安定しており

（図４）、織物の柄などによる明るさの影響は少ない。また測定物の素材が反射率に及ぼす影響は少ない（図５）。

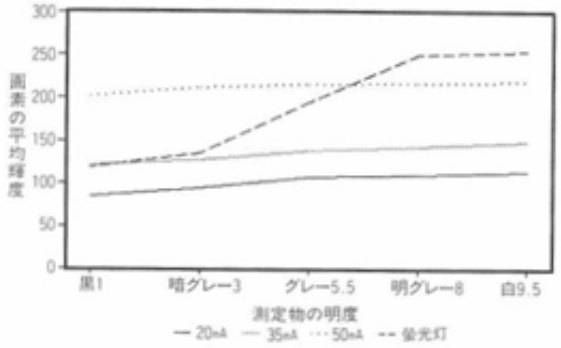

図４　測定物の明度とレーザー光の反射率との関係

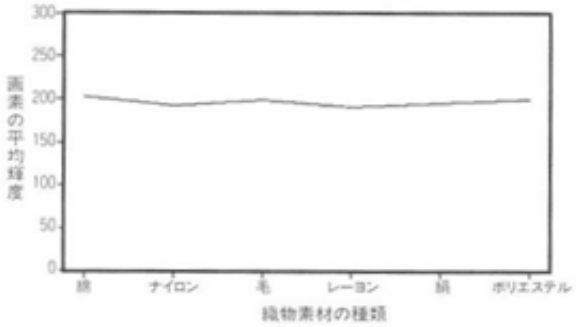

図５　測定物の素材とレーザー光の反射率との関係

２－２－２　投光造影法

検査織物の斜め上方に照明装置、垂直上方にＣＣＤカメラを備えた（図６）。

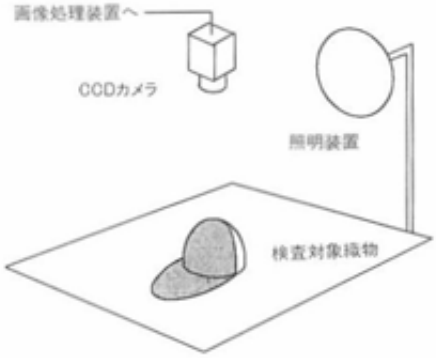

図６　投光造影法による検査装置

凹凸の検出方法は次の通りである。

① 織物の斜め上方からライトで照明する。照明角度は織物の種類に応じて15から45°の範囲で変えた。このとき通常の室内照明は暗くしておく必要がある。

② 織物の凹凸によって現れる影の画像をＣＣＤカメラから取り込む。

③ 画像処理装置で影の画像を解析し、その情報をもとに欠陥抽出する。

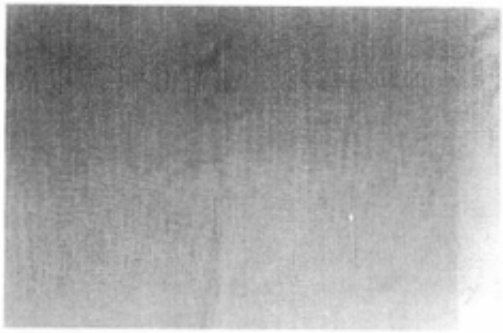

写真１　フラットタイプの例

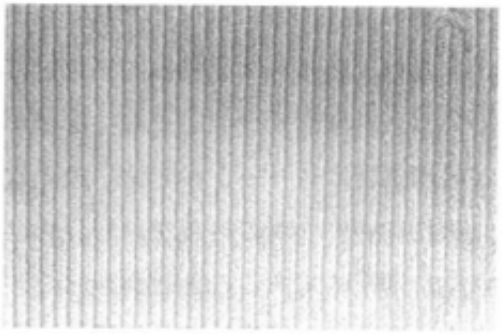

写真２　うねタイプの例

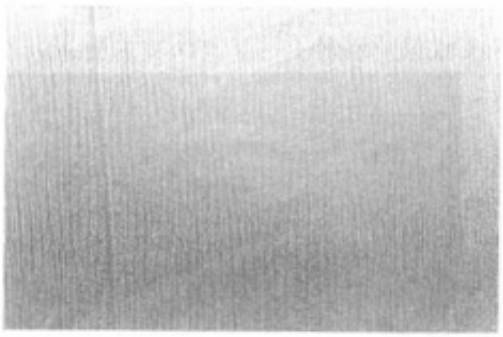

写真３　楊柳タイプの例

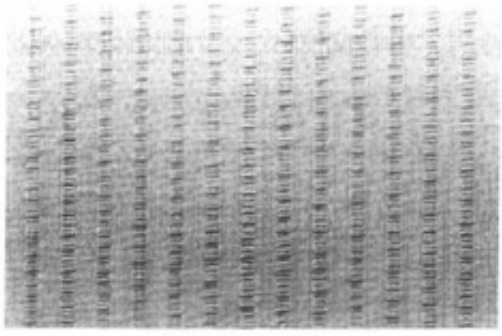

写真４　サッカータイプの例

2－3　検査織物

検査織物は凹凸の現れ方の違いにより、次の4タイプに分類した。

①フラットタイプ（写真1）

クリア仕上げの織物、起毛織物など表面に凹凸がないフラットな織物の、凹凸欠陥について検査を行う。

②うねタイプ（写真2）

コーデュロイなど規則的にうねのある織物の凹凸の現れ方の異常について検査を行う。

③楊柳タイプ（写真3）

楊柳のようにしぼ状の凹凸があるが、畝タイプより規則性が低い織物の凹凸欠陥について検査を行う。

④サッカータイプ（写真4）

サッカーのように凹凸の現れ方が特定できない織物のピッチ、凹凸幅、凹凸形状、凹凸分布などの異常について検査を行う。

3．画像処理方法

3－1　前処理

カメラからの画像信号にはノイズなど余分な成分が含まれており、欠陥抽出を効果的に行うためには、画像に手を加えておく必要がある。この前処理はスリット投光法、投光造影法それぞれにいくつかの処理を試し、次の処理フローが効率的であることがわかった。

3－1－1　スリット投光法の前処理

スリット投光法の前処理は、主に2値化とノイズ除去、中心線抽出などの画像処理を組み合わせた(図7)。2値化した後のスリット像には、織物表面の毛羽などが原因の細かな変動があるため、隣接する数画素間の平均値に置き換え、スリット像全体をならす平滑化処理を行う。中心線抽出後のスリット像は1画素の細さの1本のライン状となる（写真5～6)。

図7　スリット投光法の前処理フローチャート

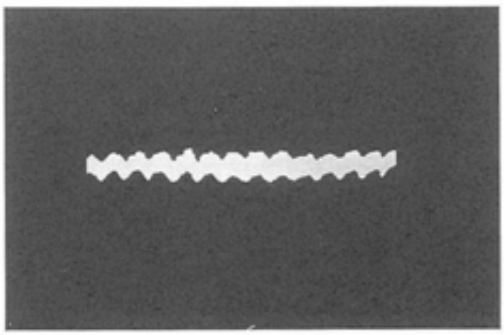

写真5　スリット投光法の2値化画像

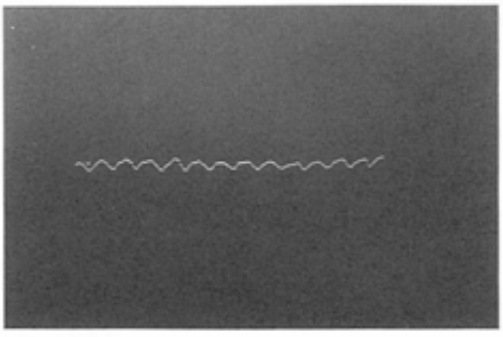

写真6　スリット投光法の前処理後の画像

3－1－2　投光造影法の前処理

投光造影法では斜めから照明するために生じる照明むらを補正するため、前処理でシェーディング補正を行った。2値化した後、ノイズ除去のため数画素以下の面積からなる影の画像を消去した(図8)。この処理後の画像には凹凸によってできた影部分だけが残る(写真7～8)。

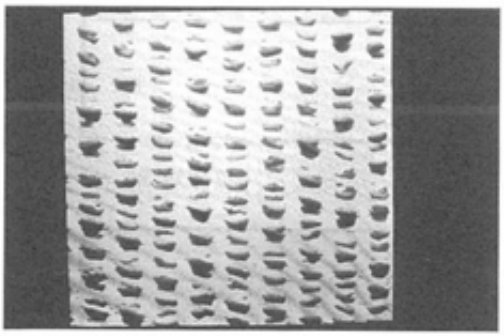

写真7　投光造影法の入力画像

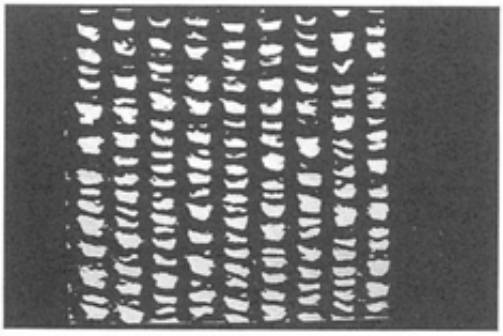

写真8　投光造影法の前処理後の画像

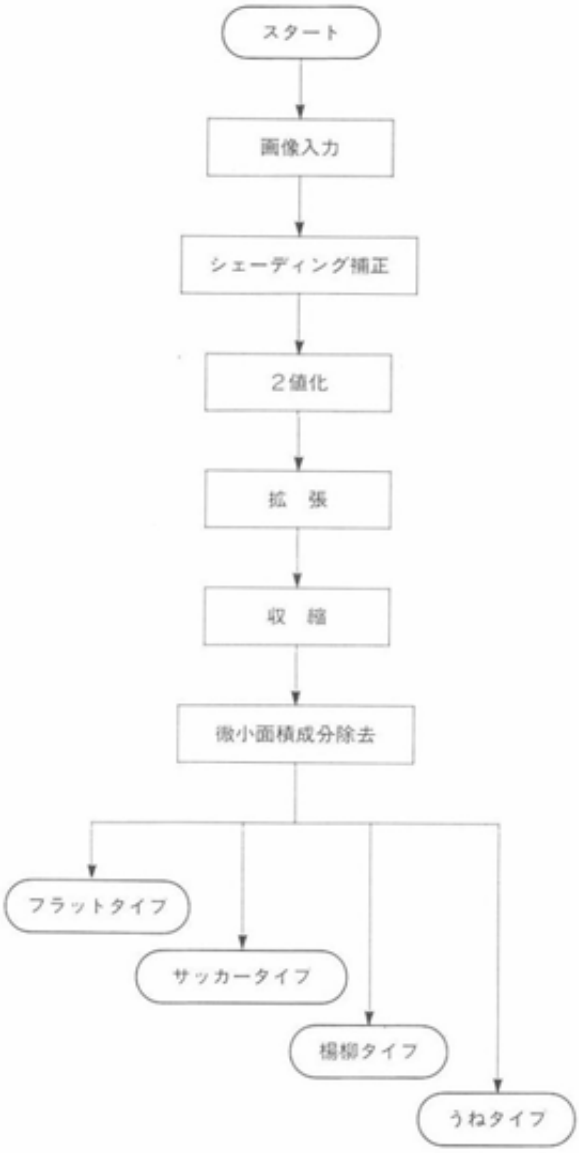

図8　投光造影法の前処理フローチャート

3－2　欠陥抽出処理

3－2－1　スリット投光法によるフラットタイプの欠陥抽出手法

・差分処理法

フラットタイプのスリット像は欠陥がある位置で歪むので、スリット像を正常の物と比較して見れば欠陥の有無はすぐにわかる。しかし、中心線を抽出しただけのスリット像には上下の位置ずれ、傾きが含まれることが多く、そのままでは比較できないので差分処理を行った(図9～11)。これは、Y座標をそこから数画素分離れた位置のY座標との差に置き換えて表したもので、凹凸の変動が大きいほど差分値が中心から離れる。正常な織物のスリット像の変動の標準偏差をあらかじめ求めておき、検査する織物を比較して、欠陥を抽出することとした。

平織の正常な織物と穴欠陥及びボツ欠陥のある織物を、差分処理法により処理した。この結果、穴欠陥、ボツ欠陥ともに強調され、それらの差分値の標準偏差及び最大値は、正常なものより大きく、これらを比較することにより欠陥抽出が可能であることがわかった(図12～13、表1)。

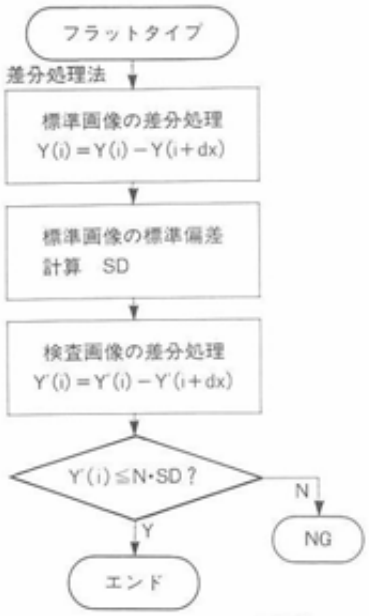

図9　フラットタイプ欠陥抽出フローチャート（スリット投光法）

図10　欠陥がある場合の処理フローチャート

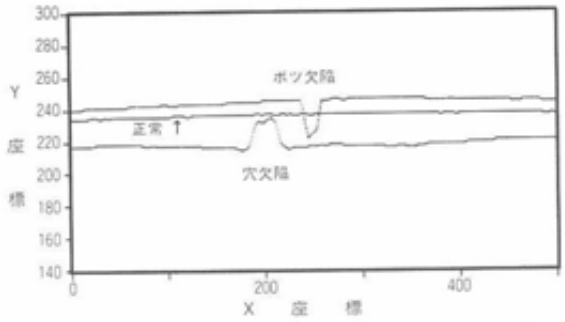

図12　平織物（正常、穴欠陥、ボツ欠陥）のスリット像の状態

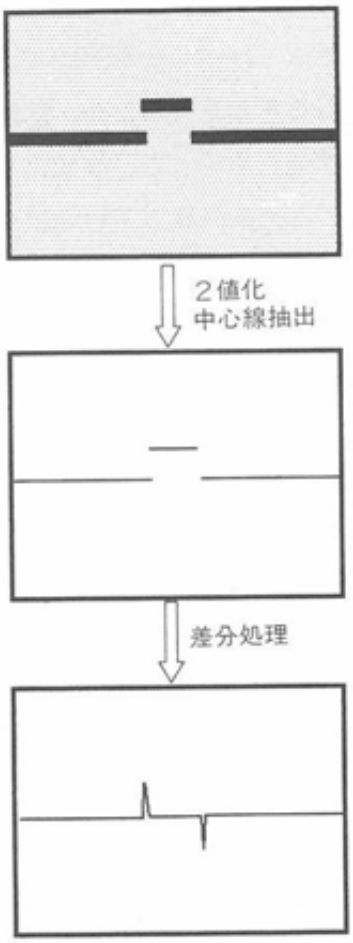

図11　差分処理法モデル

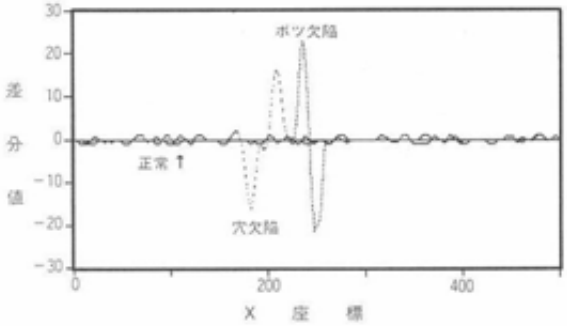

図13　差分処理後のスリット像の状態

表1　差分処理法による欠陥解析結果

	平織物						起毛織物			
	正常		ボツ欠陥		穴欠陥		正常		穴欠陥	
	原画像	差分値	原画像	差分値	原画像	差分値	原画像	差分値	原画像	差分値
平均	236.24	−0.04	243.50	−0.08	218.32	−0.06	251.07	0.04	252.26	−0.08
標準偏差	0.89	0.38	3.46	3.81	3.38	2.96	1.74	1.08	2.78	1.81
分散	0.80	0.15	11.95	14.50	11.42	8.73	3.02	1.17	7.70	3.28
最大値	237.00	1.00	246.00	22.80	234.20	16.00	254.80	2.80	260.00	5.20
最小値	234.00	−1.00	222.20	−21.40	214.00	−16.00	247.00	−4.00	248.00	−5.40
範囲	3.00	2.00	23.80	44.20	20.20	32.00	7.80	6.80	12.00	10.60

3－2－2　投光造影法によるフラットタイプの欠陥抽出手法

・単純2値化法

フラットタイプに凹凸があれば、何らかの異常がそこに存在すると考えられるので、投光造影法による欠陥抽出は最も簡単である。2値化した後の画像に残存成分があれば、欠陥であると判断できる（図14～15）。

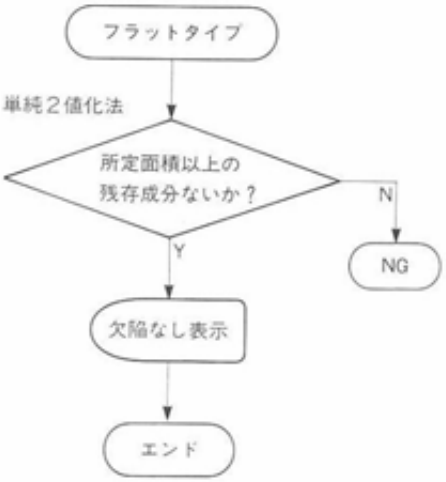

図14　フラットタイプ欠陥抽出フローチャート（投光造影法）

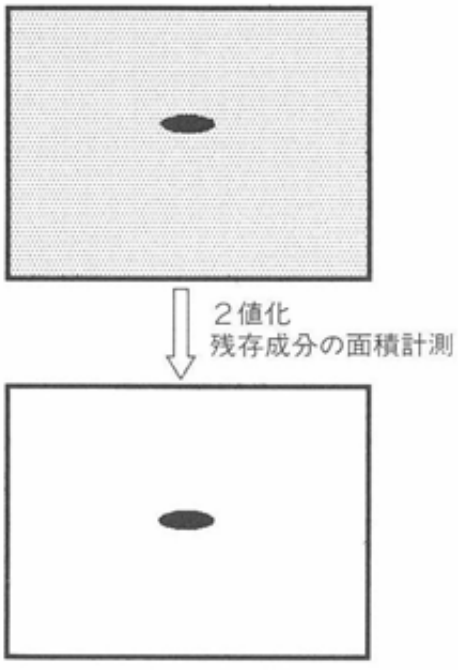

図15　単純2値化法モデル

3－2－3　スリット投光法によるうねタイプの欠陥抽出手法

・ＦＦＴ法

うねタイプも目で見れば欠陥部分が明らかだが、織物本来の凹凸と欠陥による凹凸とを分離する必要がある。

うねタイプには規則的な凹凸があり、その周期性を乱すものがあれば欠陥であると考えられる。このスリット像のＹ座標をフーリエ変換（ＦＦＴ）すると、織物の凹凸の周期に関するパワースペクトル分布がわかり、ピークのある周波数帯から、このうね固有の周期成分が得られる。この情報をもとに、任意の周期成分だけを通過させるフィルターを作製し、通過成分を逆フーリエ変換（IFFT）する事により欠陥抽出することとした（図16～17）。

うねタイプのひとつであるコーデュロイのパワースペクトルは、うね固有の周期成分の部分に強いピークを示すが、凹欠陥があると

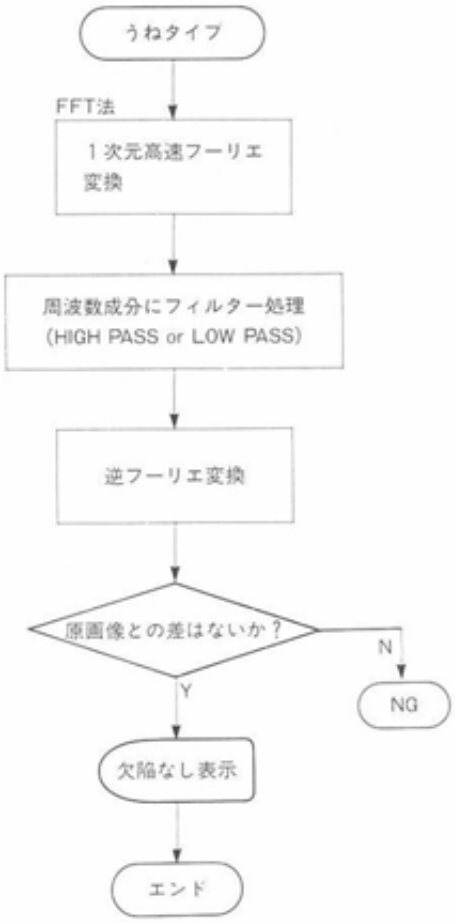

図16　うねタイプ欠陥抽出フローチャート（スリット投光法）

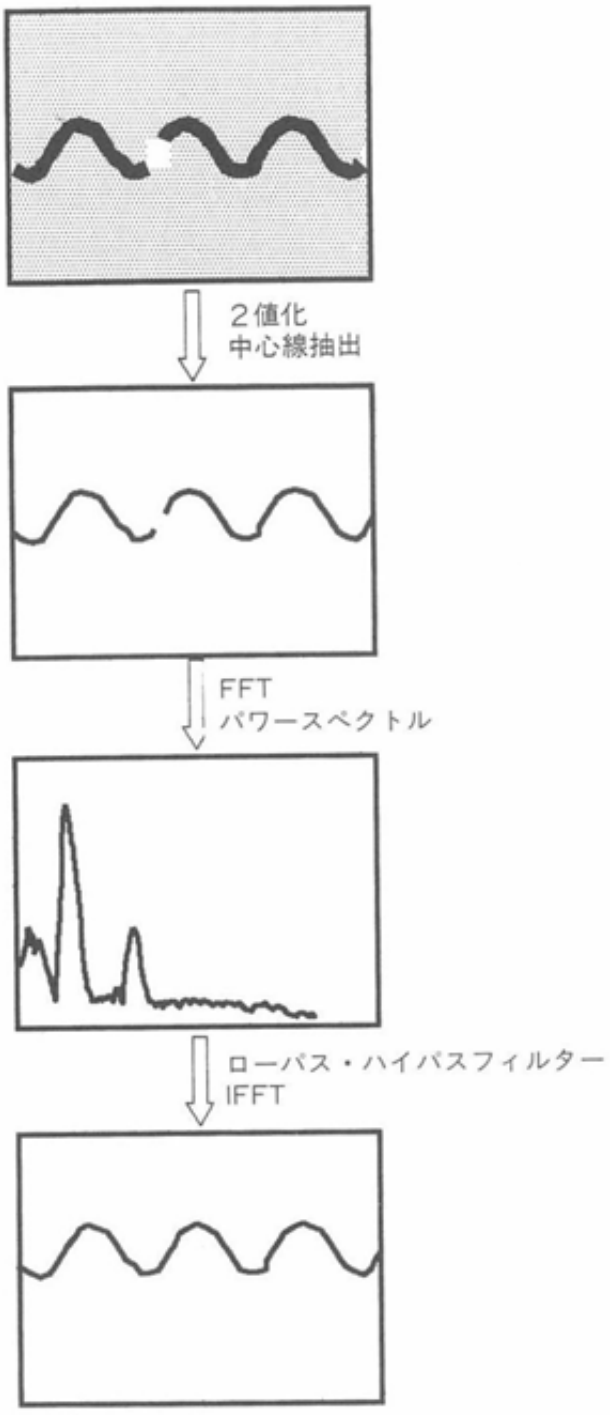

図17　FFT法モデル

なだらかなスペクトルになる（図18～19）。

凹欠陥があるコーデュロイのスリット像（図20、写真9）に、うね固有の周期成分だけを通すバンドパスフィルターによるＦＦＴ法を行うと、うねの凹凸成分が強調されて残った(図21)。逆に、うねの固有成分を含む高周波成分をカットするローパスフィルターによるＦＦＴ法を行うと、検査織物に含まれていたしわの成分を抽出することができた（図22)。また、うねの固有成分を含む低周波成分をカットするハイパスフィルターによるＦＦＴ法を行うと、凹欠陥部分を抽出することができた（図23、写真10)。

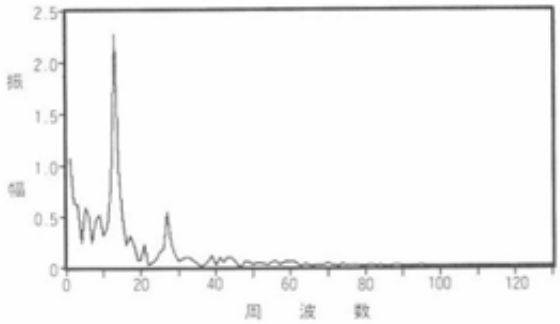

図18　正常なコーデュロイのパワースペクトル

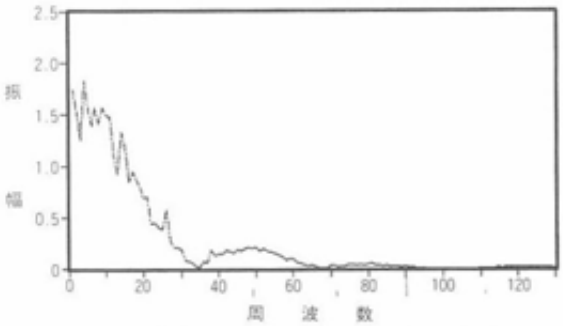

図19　凹欠陥があるコーデュロイのパワースペクトル

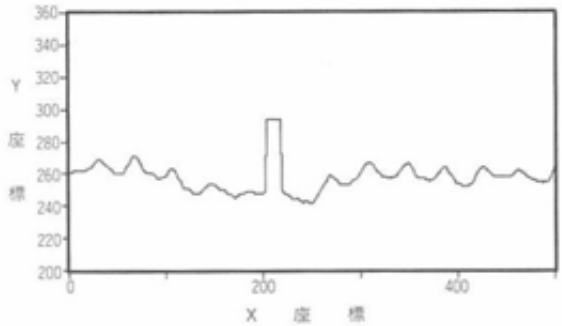

図20　凹欠陥があるコーデュロイのスリット像の状態

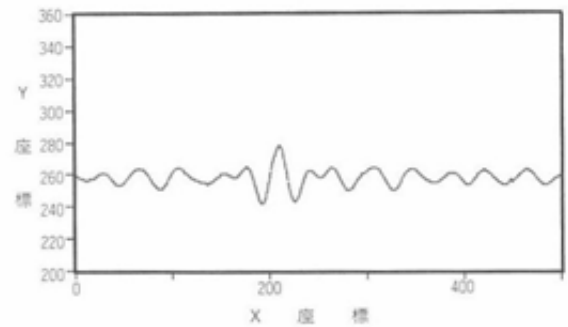

図21　バンドパスフィルターによるFFT法の処理結果

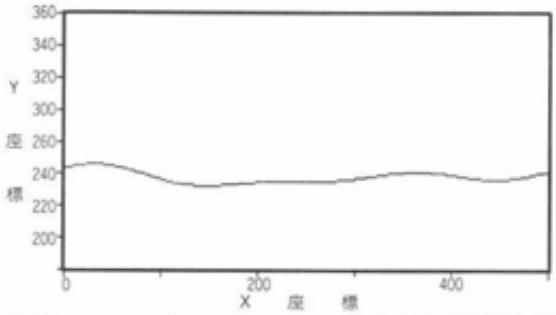

図22　ローパスフィルターによるFFT法の処理結果

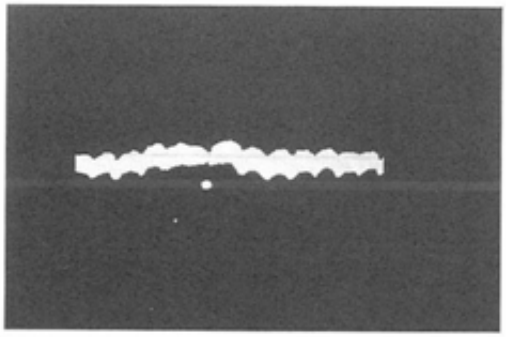

写真９　凹欠陥があるコーデュロイのスリット像

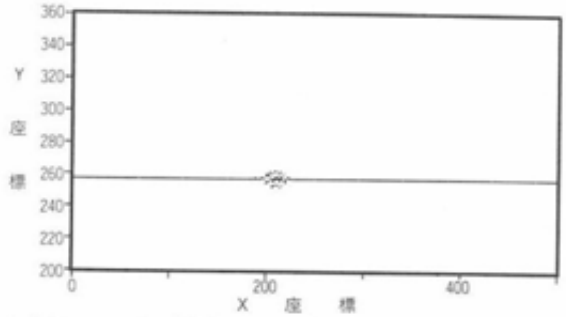

図23　ハイパスフィルターによるFFT法の処理結果

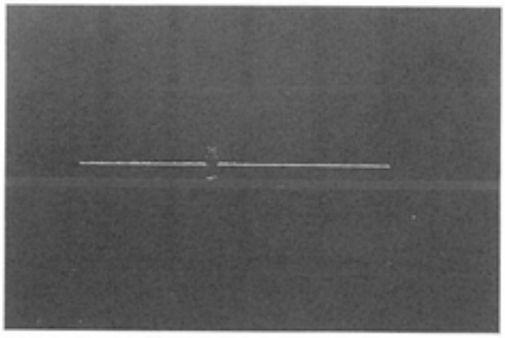

写真10　ハイパスフィルターによるFFT法の処理結果画像

３－２－４　投光造影法によるうねタイプの欠陥抽出手法

・ブロック周辺分布解析法

投光造影法でも、うねタイプの織物の規則的な縞模様が乱れたところに欠陥があると考えられる。画像全体の周辺分布を求める方法では、画像が傾いている場合に欠陥が埋没してしまうことがあるので、この画像をたて方向の短冊状のブロックに切り分け、それぞれのブロックごとに周辺分布を求めた（図24～25）。この方法により、クリアな周辺分布が得られ（写真11～12）、分布に異常があるかどうか調べることにより欠陥を抽出することができた（図26）。

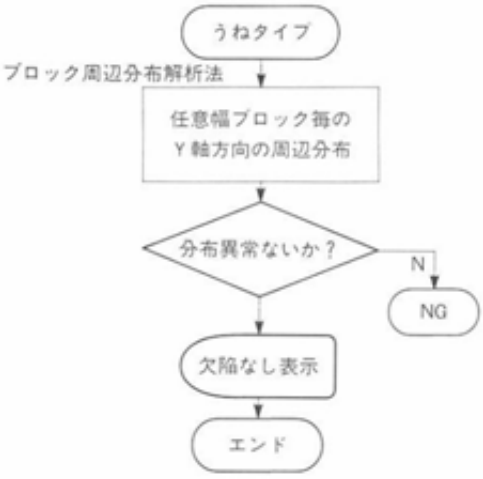

図24　うねタイプ欠陥抽出フローチャート（投光造影法）

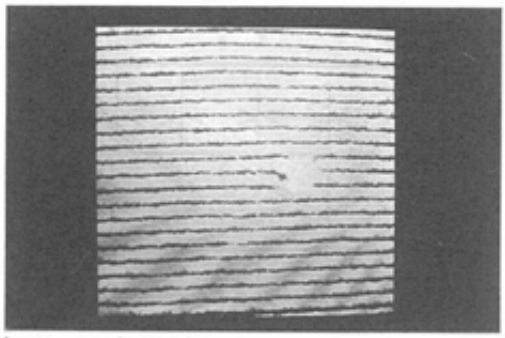

写真11　凹欠陥があるコーデュロイの投光造影法の画像

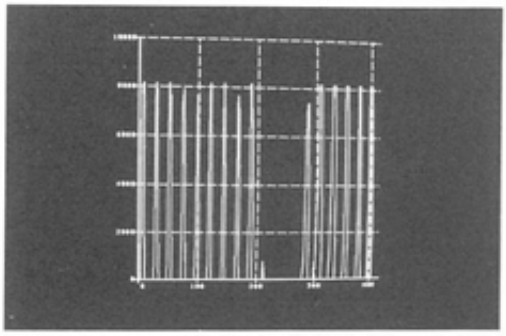

写真12　ブロック周辺分布解析法の処理中の画像
（凹欠陥があるブロックの周辺分布）

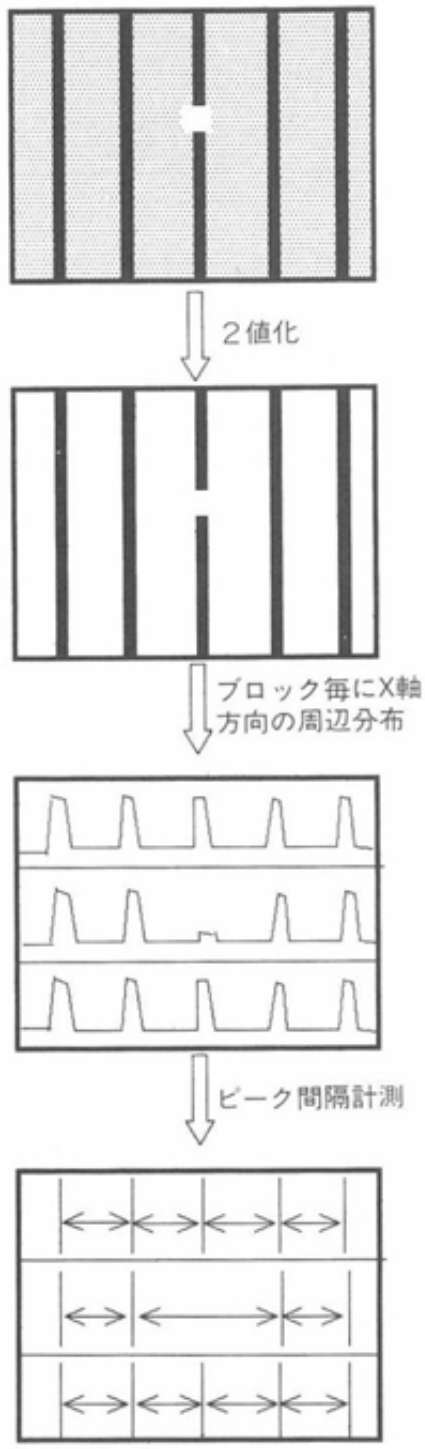

図25　ブロック周辺分布解析法モデル

3－2－5　投光造影法による楊柳タイプの欠陥抽出手法

・エッヂ強調法

楊柳タイプの場合、しぼの規則性はほとんどないので、うねタイプの方法では欠陥を抽出することが不可能である。そこで、同じ方向に向かってしぼがあるというテクスチャーの特徴に注目して、うねと同方向のエッヂ強調フィルターを使用してから2値化し、残存成分を調べることとした。(図27～28)。この結果、ボツ欠陥部分は楊柳のテクスチャーに対して異質ともいえる垂直方向の境界線を含み、このエッヂが残された(写真13～14)。この楊柳では正常な部分にも残存成分があり、小画素成分を除去するなどの処理を加えることにより、欠陥だけを抽出することができる。

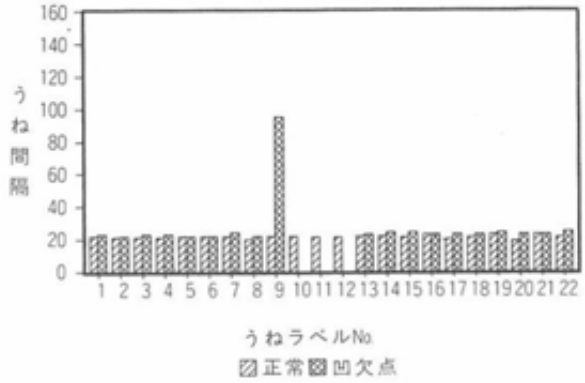

図26　ブロック周辺分布のピーク間距離の比較（コーデュロイ）

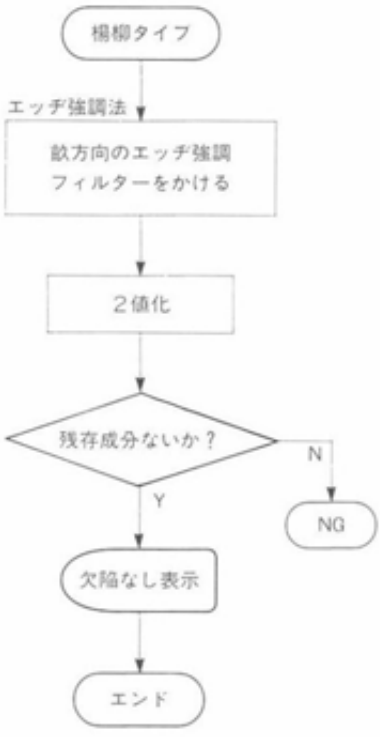

図27　楊柳タイプ欠陥抽出フローチャート

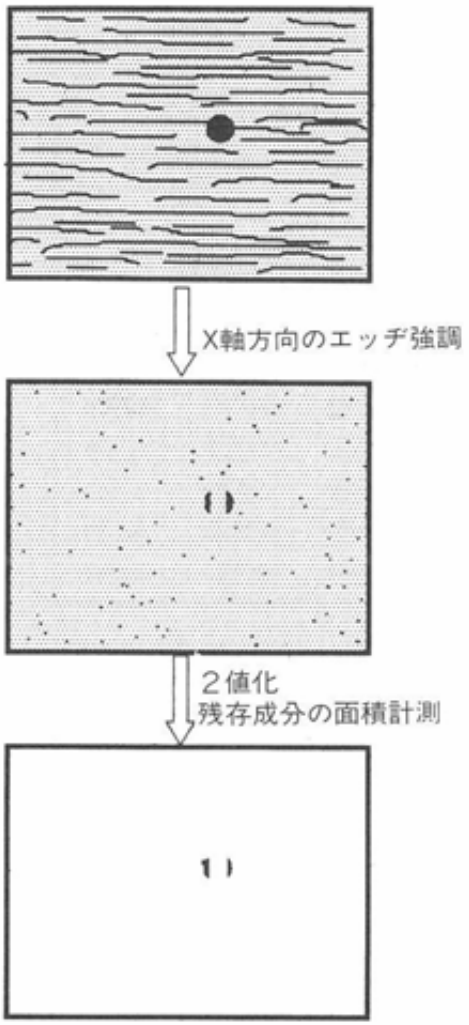

図28　エッヂ強調法モデル

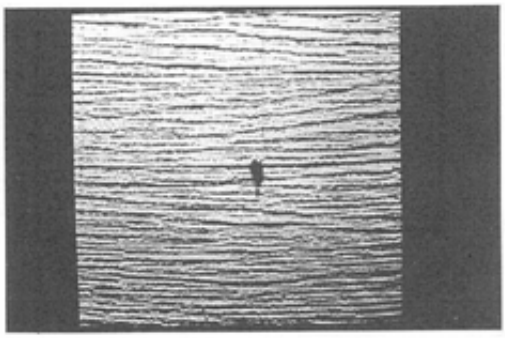

写真13　凸欠陥がある楊柳の投光造影法の画像

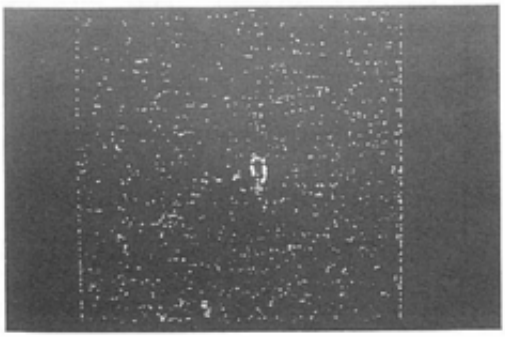

写真14　エッヂ強調法処理後の画像

3－2－6　投光造影法によるサッカータイプの欠陥抽出手法

サッカータイプだけは、一枚の織物上に凹凸部分とフラットな部分が両方とも存在するために、欠陥の現れ方がいくつか考えられる。そこで、欠陥のケースごとに抽出法を複数に分けて対処することにした。画像全体を検査する手法と(図29)、凹凸部分とフラット部分を別々に検査する手法（図30）に分け、それぞれ数種類の欠陥抽出手法を開発した。同じ欠陥が複数の手法により抽出されることもあり、どれかの検査で異常が検出されれば以後の検査は省略しても良い。

図29　サッカータイプ欠陥抽出フローチャート（フル画像検査）

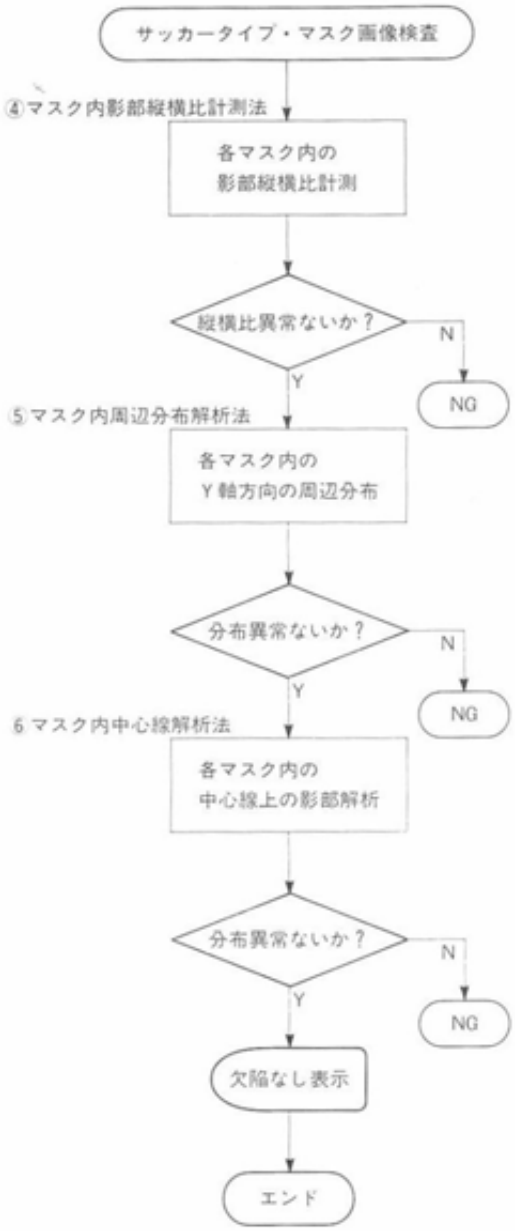

図30　サッカータイプ欠陥抽出フローチャート（マスク画像検査）

・ピッチ計測法

サッカー部分のピッチ異常は、X軸方向の周辺分布を求めて、ピーク間距離を比較することで検出した(図31)。ピッチ異常のあるサッカーの検査結果は、そのほかのものと比較するとはずれている（図32)。

・影部幅計測法

次に、凹凸によってできる影の部分。これを影部と呼ぶこととするが、この影部の幅を計測することにより、異常な歪が原因で生じた大きな凹凸部を検出することができた（図33)。正常なサッカーと大きな凸欠陥を持つサッカーの影部の幅の分布を比較すると、欠陥部分が正常な分布からはずれることがわかる（図34)。

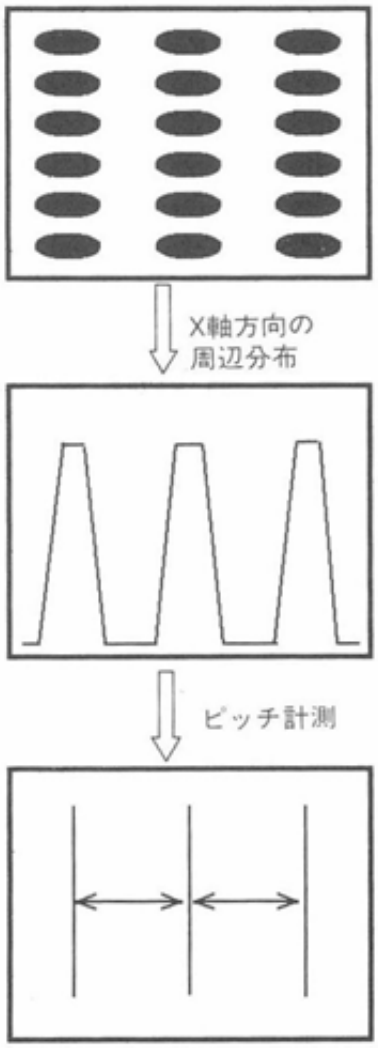

図31　ピッチ計測法モデル

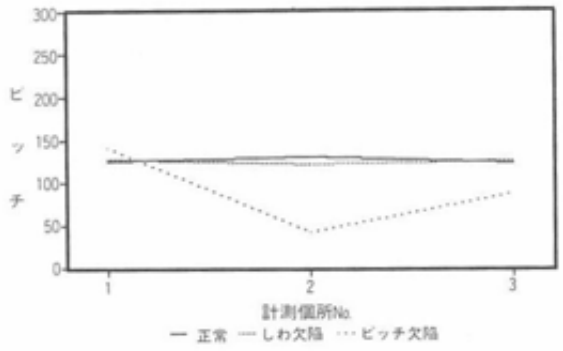

図32　ピッチ計測法の処理効果

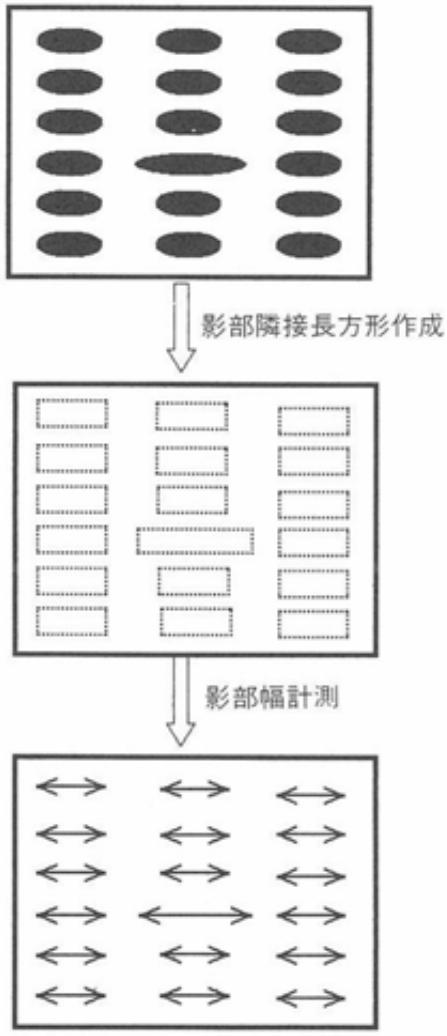

図33　影部幅計測法モデル

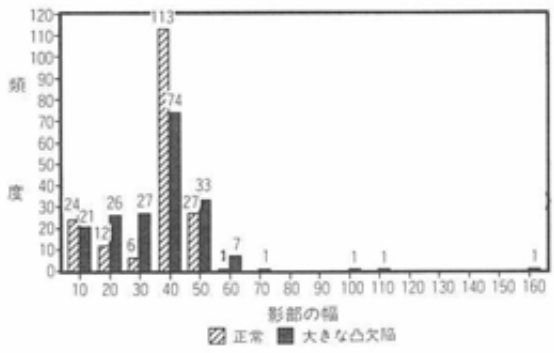

図34　影部幅計測法の処理結果

・マスク消去法

本来フラットであるはずの地の部分に、凹凸欠陥がある場合は、サッカー部分の位置と幅を周辺分布によって求め、サッカー部分と同サイズのマスクウインドウを作製する。マスクで全てのサッカー部分を覆い、サッカー部分を消去し、残存成分によって欠陥抽出を行う(図35)。この手法により地の部分にある凸欠陥を抽出することができた(写真15～16)。

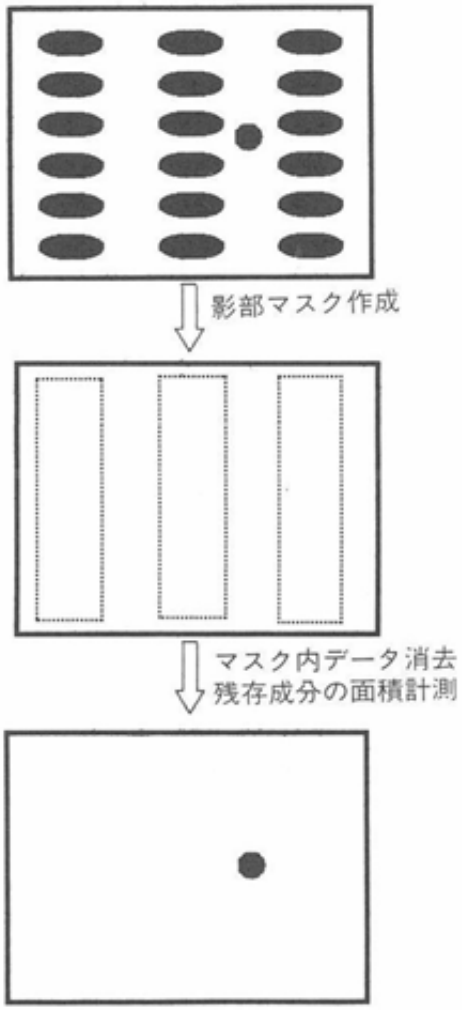

図35　マスク消去法モデル

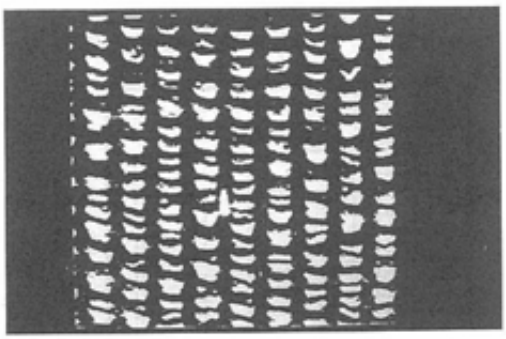

写真15　フラット部に凸欠陥があるサッカーの投光造影法の画像

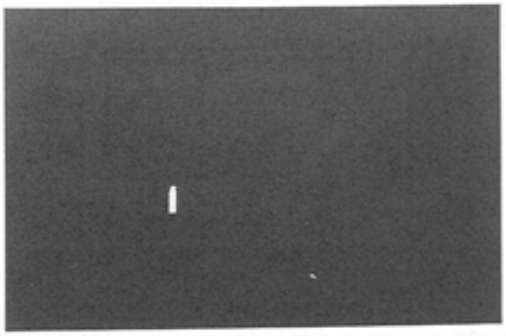

写真16　マスク消去法処理後の画像

・マスク内影部縦横比計測法

さらに作製したマスクウインドウ内部の画像について、影部の縦横比を計測した（図36）。サッカーの部分に凸欠陥があるサッカーを検査すると、異常な縦横比を示す影の凸欠陥を抽出することができた（図37～38）。この方法は、影部のほとんどが横長であるサッカーの場合に、特に効率的な欠陥抽出が可能である。

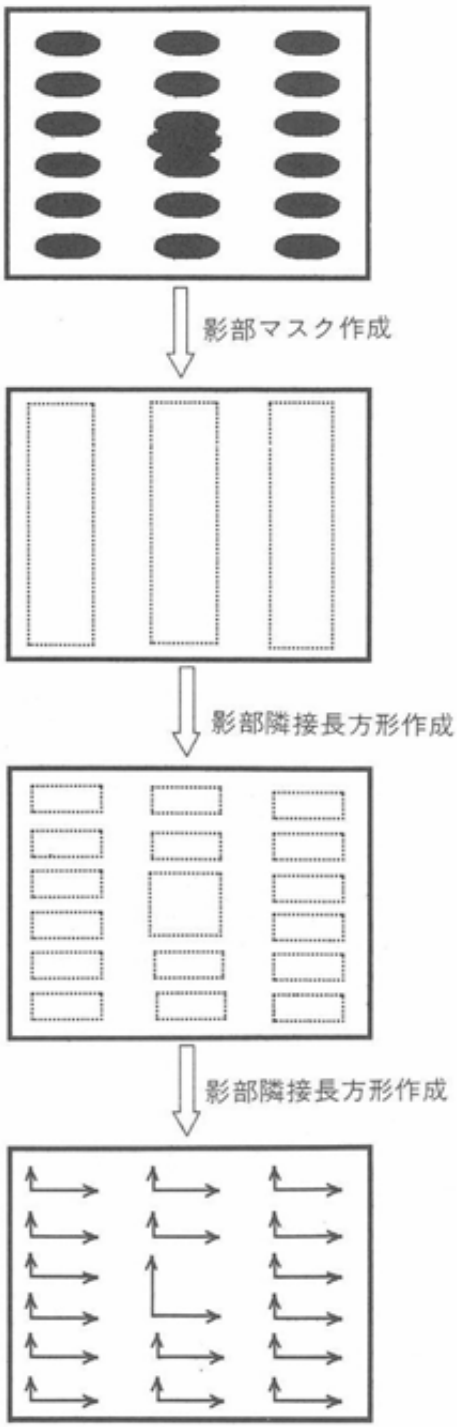

図36　マスク内影部縦横比計測法モデル

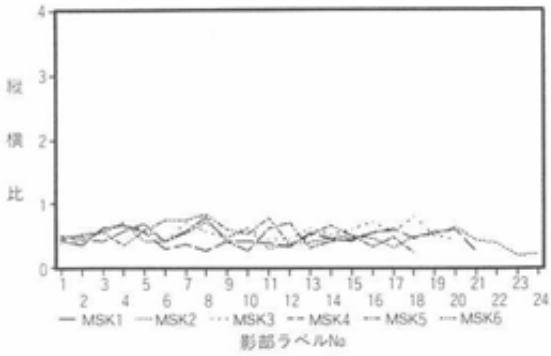

図37　正常なサッカーのマスク内影部縦横比計測法の処理結果

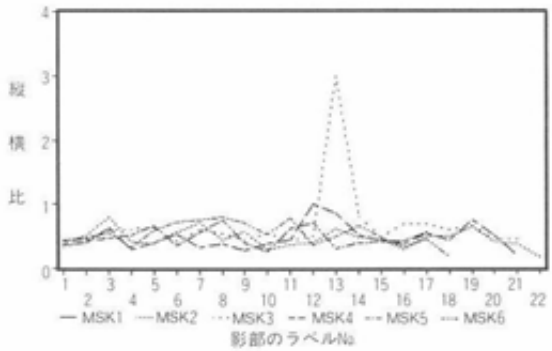

図38　凸欠陥があるサッカーのマスク内影部縦横比計測法の処理結果

・マスク内影部周辺分布解析法

マスク内部の周辺分布から影部のピッチを求め、凹凸の欠落や大きな凹凸などの異常を検出することができた（図39）。経糸のつりによって凹凸の現れ方が異常であるサッカーを処理した結果、正常なピッチの分布から外れた欠陥が認められた（図40～41）。

・マスク内中心線解析法

上述のサッカー部分の影部の形状が水平線に対して傾きをもつ場合、影部の周辺分布が明瞭でないことがある。そこで、マスクの中心線上にかかる影の分布を求め、そのピッチを求めた（図42）。凹凸の現れ方に異常があるサッカーの場合、ピッチの分布が外れたものが認められた（図43～44）。

3－3　各検査方法の特徴

各欠陥抽出法の処理時間は、前処理を含めて1秒から9.5秒である（表2）。これはラボ用の実験装置を使用した処理例なので、検査用の専用プロセッサーを使用すれば、より高

速な処理が期待できる。

各検査方法には長所、短所があり（表3）、検査対象や目的に応じて、これらの検査方法

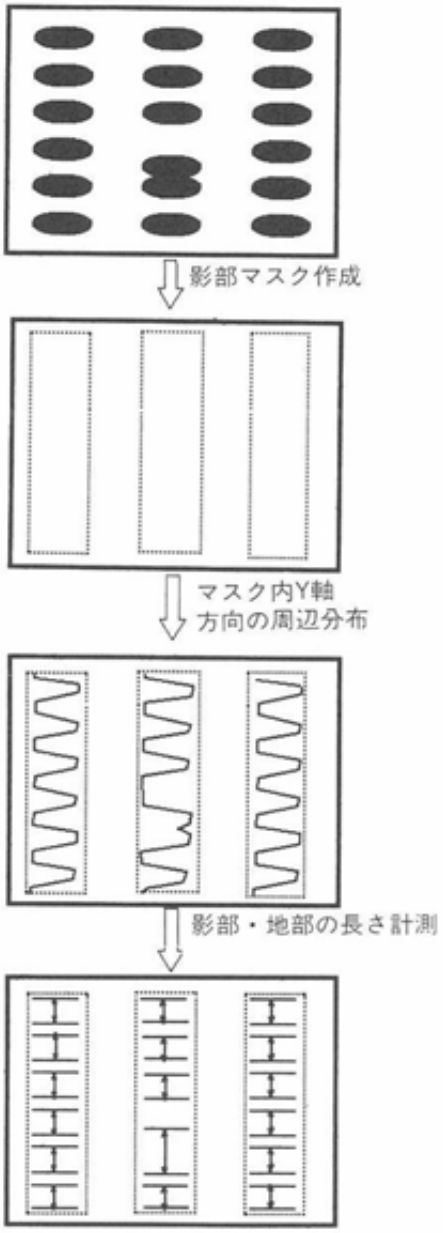

図39　マスク内影部周辺分布解析法モデル

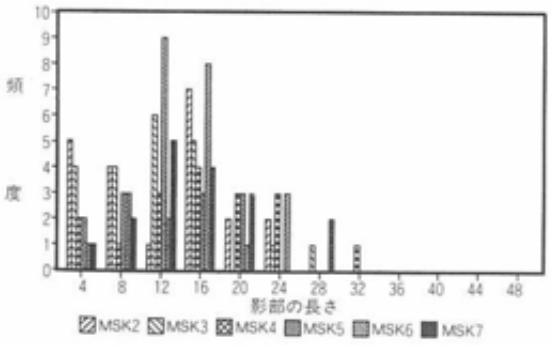

図40　正常なサッカーのマスク内影部周辺分布解析法の処理結果

を使用することにより、効率的な欠陥抽出を行うことが可能と考えられる。

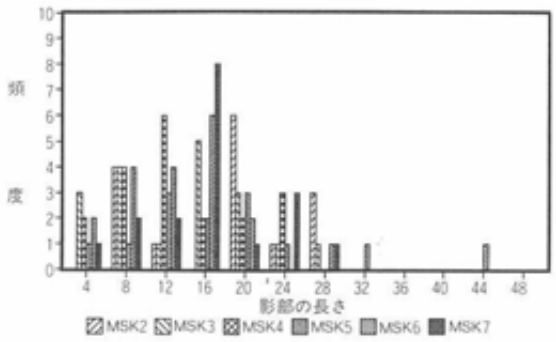

図41　欠陥があるサッカーのマスク内影部周辺分布解析法の処理結果

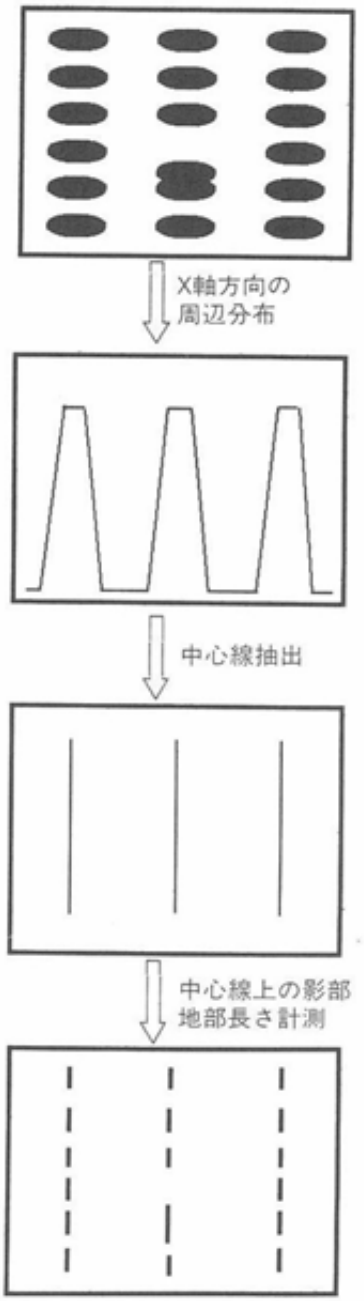

図42　マスク内中心線解析法モデル

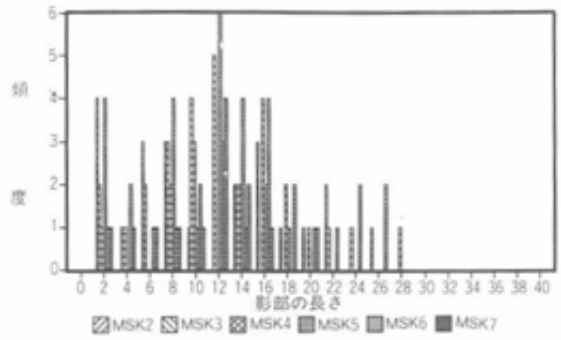

図43　正常なサッカーのマスク内中心線解析法の処理結果

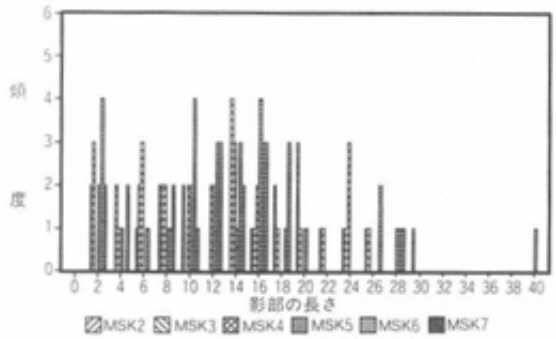

図44　欠陥があるサッカーのマスク内中心線解析法の処理結果

表2　各欠陥抽出法の処理時間

検査方法	摘要織物タイプ	欠点抽出法	時間（秒）
スリット投光法	フラットタイプ	差分処理法	2.25
	畝タイプ	FFT法	7.50
投光造影法	フラットタイプ	単純2値化法	1.00
	サッカータイプ	ピッチ計測法	1.00
		影部幅計測法	9.50
		マスク消去法	1.50
		マスク内影部縦横比計測法	4.75
		マスク内周辺分布解析法	2.50
		マスク内中心線解析法	1.00
	畝タイプ	ブロック周辺分布解析法	1.75
	掲柳タイプ	エッヂ強調法	1.50

表3　各検査方法の長所及び短所

検査方法	長所	短所
スリット投光法	・凹凸の形状把握が可能 ・凹凸の定量化が可能 ・欠点抽出精度が高い ・色柄の影響が少ない	・面計測が不可 ・不規則な凹凸織物は不適 ・特殊な設備が必要
投光造影法	・面計測が可能 ・凹凸織物の適用範囲が広い ・特殊な設備が不要	・凹凸の定量化は不可 ・凹凸の形状把握は不可 ・柄の影響を受ける

4．成　果

この方法で以下のことがわかり、織物表面凹凸の検査の省力化を図る糸口を見いだすことができた。

① スリット投光法ではフラットタイプと畝タイプが検査可能である。投光造影法では4タイプともに検査可能である。

② 投光造影法による検査は、比較的簡単な設備ででき、多種類の織物の検査が可能である。

③ スリット投光法による検査は、織物上で1ライン上の凹凸しか検査できないが、凹凸の定量化ができ、欠陥抽出精度が高いメリットがある。

④ 検査スペースさえ確保できれば、検査装置を従来の検反機や織物整理機器類に取り付けることが可能である。

⑤ 現状では静止画での欠陥抽出だけが可能だが、動画での画像処理技術を応用すれば、織物表面の凹凸に関する検反作業の自動化・省力化に大きく寄与する。