

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4300597号  
(P4300597)

(45) 発行日 平成21年7月22日(2009.7.22)

(24) 登録日 平成21年5月1日(2009.5.1)

(51) Int.Cl.

F 1

<b>D03D</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006.01)</b>
<b>G01B</b>	<b>7/16</b>	<b>(2006.01)</b>
<b>G01N</b>	<b>3/32</b>	<b>(2006.01)</b>

D 0 3 D	1/00	A
G 0 1 B	7/16	R
G 0 1 N	3/32	N

請求項の数 15 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平10-147218  
 (22) 出願日 平成10年5月28日(1998.5.28)  
 (65) 公開番号 特開平11-302936  
 (43) 公開日 平成11年11月2日(1999.11.2)  
 審査請求日 平成17年4月7日(2005.4.7)  
 (31) 優先権主張番号 特願平10-36190  
 (32) 優先日 平成10年2月18日(1998.2.18)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000003159  
 東レ株式会社  
 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号  
 (72) 発明者 小林 卓  
 愛媛県伊予郡松前町大字筒井1515番地  
 東レ株式会社愛媛工場内  
 (72) 発明者 西村 明  
 愛媛県伊予郡松前町大字筒井1515番地  
 東レ株式会社愛媛工場内  
 (72) 発明者 本間 清  
 愛媛県伊予郡松前町大字筒井1515番地  
 東レ株式会社愛媛工場内  
 (72) 発明者 堀部 郁夫  
 愛媛県伊予郡松前町大字筒井1515番地  
 東レ株式会社愛媛工場内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】補強用纖維基材及び構造物の歪み検出方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

炭素纖維からなる補強纖維と、周囲を絶縁性の纖維状物の被覆材で被覆割合が90%以上となるように捲回被覆された金属線とが、一体となってシート状補強用纖維基材を形成し、かつ、前記補強纖維に対する金属線の体積割合が4%以下であることを特徴とする、補強用纖維基材。

## 【請求項2】

該金属線が、該補強纖維の配向方向と同一方向に配列していることを特徴とする請求項1に記載の補強用纖維基材。

## 【請求項3】

該金属線が、該補強纖維の配向方向に対して、角度を有して配列していることを特徴とする請求項1に記載の補強用纖維基材。

## 【請求項4】

該金属線が、該補強纖維の配向方向に対して、同一方向および角度を有して配列していることを特徴とする請求項1に記載の補強用纖維基材。

## 【請求項5】

前記絶縁性の纖維状物の被覆材が、フィラメント糸であることを特徴とする、請求項1ないし4のいずれかに記載の補強用纖維基材。

## 【請求項6】

前記絶縁性の纖維状物の被覆材が、金属線の周囲にS Z両方向に捲回被覆されていること

を特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の補強用纖維基材。

【請求項 7】

前記絶縁性の纖維状物の被覆材により金属線が被覆されていない部分で、直径 10 μm 以上の球が通り抜けられる箇所の個数が、前記金属線の長さ方向 10 cm の間に、5 個以下であることを特徴とする、請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の補強用纖維基材。

【請求項 8】

前記シート状補強用纖維基材が巻管に捲回され、前記被覆された金属線の太さが、基材厚みの 100 % 以下であることを特徴とする、請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の補強用纖維基材。

【請求項 9】

前記金属線が、ニクロム線であることを特徴とする、請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の補強用纖維基材。

【請求項 10】

前記シート状補強用纖維基材が、1 方向に並行に配列した補強纖維を接着剤により支持体に接着固定されてなるトウシートである、請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の補強用纖維基材。

【請求項 11】

前記シート状補強用纖維基材が、補強纖維を B ステージ状態の熱硬化性樹脂で一体化してなるプリプレグである、請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の補強用纖維基材。

【請求項 12】

前記シート状補強用纖維基材が織物である、請求項 1 ないし 9 または 11 のいずれかに記載の補強用纖維基材。

【請求項 13】

前記金属線が、シート状補強纖維基材の隣り合う補強纖維糸条間に配列したことを特徴とする、請求項 1 ないし 12 のいずれかに記載の補強用纖維基材。

【請求項 14】

前記金属線が、2 ヶ所以上並行に配列したことを特徴とする、請求項 1 ないし 13 のいずれかに記載の補強用纖維基材。

【請求項 15】

請求項 1 ないし 14 のいずれかに記載の補強用纖維基材を、構造物あるいは構造物と一体となって FRP とした後、前記金属線の抵抗変化から、前記構造物に発生する歪みを検出することを特徴とする、構造物の歪み検出方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、構造物、あるいは構造物と一体な FRP ( 繊維強化プラスチック ) を得るための補強用纖維基材と、それを用いて構造物に発生する歪みや劣化の状態を検出する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、FRP の用途は拡大しており、航空宇宙やスポーツの分野だけでなく、土木・建築の分野など大型構造物へも広く適用され始めている。

【0003】

特に、コンクリート構造物の補修・補強への FRP の使用は、車輌の重量規制緩和や、大地震の発生、及び、施工の容易さなどから着目され拡大している。コンクリート構造物には、床版や橋脚、トンネル、そして建物などがあるが、コンクリートの中性化や塩害による内部鉄筋での錆発生、アルカリ骨材反応などによる劣化が発生し、社会的問題となっている。また、通行車輌や地震、トンネルにおいては土砂の圧力が加わると、コンクリートに発生したひび割れを拡大して劣化の進行を早めてしまう。さらに、土木・建築分野の構造物は大型のものが多いため、破壊が予知できず、突発的な破壊による大きな事故に繋が

10

20

30

40

50

る可能性がある。

#### 【0004】

以上のことから、構造物の疲労や劣化の進行状態を観察し、構造物の破壊を事前に予知する技術が求められている。しかし、現状では、直接目視などの非破壊検査が主であり、疲労や劣化の状況を正確に把握することは容易ではない。

#### 【0005】

従来から、歪みを検出する材料として、歪ゲージが知られている。歪ゲージは、その面積内の歪みを検出するもので、しかも長さが30mm以下と短いため、局所的な歪みしか検出できない。従って、大型構造物の歪みを広く検出するには、数多くの歪ゲージを貼付ける必要がある。

10

#### 【0006】

一方、特開昭60-114741号公報に、FRP部材内に一体的ではあるが電気的に独立させてカーボン長纖維糸条を配設し、この糸条を構成する単糸の破断割合を同糸条の抵抗変化から測定し、部材の剛性低下や疲労破壊を事前に検出する方法が記載されている。この方法によれば、確かに、大型構造物で広い面積の歪みを検出することが可能である。

#### 【0007】

しかし、前記糸条を構成する多くの単糸は、糸条内において様々な配列状態で存在し、また、その配列状態は糸条毎に異なる。そのため、同じ荷重下での単糸の破断割合は、糸条によってまちまちで、前記糸条の電気抵抗変化の再現性が悪くなってしまう。さらに、抵抗測定に必要となる前記糸条両端の端子は、全ての単糸に接触する必要があるが、糸条内の直径数ミクロンの数千～数万の単糸全てに接触させることは難しい。

20

#### 【0008】

さらに、特開平2-38945号公報に、ガラス纖維強化複合材料からなる構造物の内部に、金属単線を配設し、この電気抵抗の変動を測定する疲労破壊検査方法が記載されている。

#### 【0009】

しかし、大型構造物、特に、コンクリート構造物の補修・補強に使用するFRP内に金属線を配設する場合、使用対象となる構造物の表面が平面とは限らず、曲面や凹凸面であることが多い。そのため、FRPの成形は、構造物の表面に補強用纖維基材を沿わせながら貼付け、同時に樹脂含浸することになる。従って、金属線の配設は、含浸直後の樹脂未硬化時に、補強用纖維基材の上に手作業等で行う煩雑なものとなる。このような配設方法では、金属線が補強纖維と並行に配設されず、蛇行するが多くなるため、補強纖維方向への荷重や歪みで設計されたFRPの歪みが、金属線から正確に検出されなくなってしまう。

30

#### 【0010】

##### 【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、従来の技術における上述した問題点を解決し、大型構造物やこれと一緒に様々な形状のFRPに成形可能で、しかも、構造物に発生する歪みを正確に検出し、構造物の疲労や劣化を予知できる補強用纖維基材を得ることにある。

#### 【0012】

40

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するこの発明の補強用纖維基材は、炭素纖維からなる補強纖維と、周囲を絶縁性の纖維状物の被覆材で被覆割合が90%以上となるように捲回被覆された金属線とが、一体となってシート状補強用纖維基材を形成し、かつ、前記補強纖維に対する金属線の体積割合が4%以下であることを特徴とする。

#### 【0013】

上記において、絶縁性被覆材が樹脂透過性を有する場合、被覆材の纖維状物はフィラメント糸であることを特徴とする。

#### 【0014】

また、上記において、金属線が補強纖維の配向方向に対して、同一方向および／または角

50

度を有して配列され、一体となってシート場補強用纖維基材を形成していることを特徴とする。補強纖維が炭素纖維よりなる補強纖維であるため、金属線が周囲を絶縁性の纖維状物の被覆材で被覆されている金属線であることが必要である。

【0015】

あるいは上記において、金属線は、絶縁性被覆材によって表面の90%以上が被覆され、また、紙管等の巻管に捲回された補強用纖維基材における被覆された金属線の太さが、前記補強用纖維基材の厚みの100%以下であることを特徴とする。

【0016】

また、補強用纖維基材の形態は、補強纖維が接着剤により支持体に接着固定されてなるトウシートか、補強纖維がBステージ状態の熱硬化性樹脂で一体化されてなるプリプレグ、あるいは、織物であることを特徴とする。

10

【0017】

そして、構造物に発生する歪みの検出は、上述した補強用纖維基材を、構造物、あるいは、構造物と一体となってFRPとした後、前記金属線の抵抗変化を測定して行うことを特徴とする。

【0018】

【発明の実施の形態】

なお、以後補強用纖維基材を基材と呼称する。

【0019】

本発明で使用する金属線は、断面積が $0.002 \sim 0.2 \text{ mm}^2$ の範囲にある白金、タンゲステン、モリブデン、銀、アルミニウム、ニッケル、マグネシウム、銅、鋼、鉄、及び、これらの合金、Ni-Cr合金(ニクロム合金とも呼ばれる)、Ni-Cr-Fe合金、Fe-Cr-Al合金、Fe-Cr-Al-Co合金などからなる、丸線状、帯状、扁平状の線状物であり、これら線状物を単線として使用しても、撚りあわせるなどして複数線として使用しても差し支えない。ただし、この中でも、防錆など耐食性に優れ、また、歪みに対する抵抗変化が大きく、変化を確認しやすいニクロム線(ニクロム合金の1つ)がより好ましい。

20

【0020】

なお、被覆された場合の金属線の太さは、特に、断面形状が帯状や扁平状の場合は、最も細い部分の値とする。

30

【0021】

また、本発明における金属線は、歪み検出を目的とするものなので、補強纖維に占める体積割合は4%以下である。なお、周囲を絶縁性の纖維状物の被覆材で被覆されているので、周囲の絶縁性の纖維状物の被覆材を除いた金属線のみの体積が補強纖維に対して占める体積割合が4%以下であるものである。

【0022】

金属線の破断伸度は、補強纖維よりも大きいが、補強纖維が破断すると、同時に金属線も破断してしまう。従って、金属線の量を増やしても、補強効果への関与は小さい。しかも、金属線の密度は、補強纖維よりも高いので、金属線を基材内に多く配設すると、基材重量が増え、特に、コンクリート構造物の下面や側面に貼付けて補強する用途に使用する場合には、基材の落下やすれ落ちを生じてしまうので好ましくない。

40

【0023】

さらに、FRPが、もともと含んでいた水分に加え、周囲の水分を吸収することにより、FRP中の金属線周囲が湿気を帯びて来ると、金属線が腐食し始めることが懸念される。また、補強纖維が炭素纖維である場合、同纖維が導電性を有しているので、土壤中の金属線が電食するように、FRP中の金属線が腐食することが懸念され、好ましくない。

【0024】

以上から、金属線の割合は4%以下と少ない方がよく、さらに好ましくは2%以下であるのがよい。

【0025】

50

本発明の、炭素繊維からなる補強繊維中に、被覆された金属線を配設した基材を用いると、これをF R Pとした後、前記金属線の電気抵抗を測定してF R Pに発生する歪み検出を行う際に要求される、以下の2つの条件を満たすことができる。すなはち、金属線周囲の絶縁部分により炭素繊維と金属線間を絶縁し、かつ、F R Pと金属線との間に滑りが発生しないようにすることができる。

#### 【0026】

まず、絶縁性確保のために、樹脂透過性のある絶縁性被覆材（以後透過性被覆材と呼称）を使用するのがよい。これは、F R Pを成形する際に含浸する樹脂（以後マトリックス樹脂と呼称する）が、被覆材内へ透過し、金属線表面に達し、また、樹脂も絶縁物なので、金属線の周囲を効果的に絶縁被覆できる。特に、繊維状物の被覆材を金属線に捲回して被覆しているため、毛細現象によって、樹脂が含浸し、金属線表面に達するのでさらによい。10

#### 【0027】

なお、ここで言う樹脂透過性とは、被覆材中を樹脂が通過する性質とし、ここでは透過と含浸は同意とした。

#### 【0028】

一方、金属線の滑りには、被覆材とF R P間、及び、金属線と被覆材間の2つの層間で発生する可能性があるが、繊維状物の被覆材を金属線に捲回して被覆した形態が存在するので、被覆材とF R P間の滑りを抑えることができる。

#### 【0029】

また、透過性被覆材では、樹脂が含浸し金属線と接着するので、F R Pとなった時、被覆材と金属線間の滑りを抑えることができる。

#### 【0030】

このような透過性被覆材としては、特に、不飽和ポリエステル、ビニルエステル、フェノール、エポキシなどの硬い熱硬化性の樹脂を用いると、F R Pの変形に追随しやすくなり、F R Pに発生する歪みを金属線に正確に伝えやすくなるので好ましい。

#### 【0031】

また、繊維状物の被覆材としては、不織布や織物のテープ状物、あるいはフィラメント糸があり、これらを、芯材とする金属線の周囲にカバーリング法や製紐法、ラッピング法によって捲回することにより被覆することができる。30

#### 【0032】

本発明の繊維状物の被覆材を構成する繊維としては、ポリエステル、ナイロン、ガラス、ビニロン、ポリプロピレン、ポリアラミドなどの繊維が挙げられるが、上記材料の役割は絶縁性の確保なので、特に限定はしない。ただし、マトリックス樹脂との接着性を考えて選択するのがよく、マトリックス樹脂がエポキシ系の場合は、ナイロン繊維が好ましい。

#### 【0033】

本発明の繊維状物の被覆材は、捲回の回数やピッチ、糸の太さを変えて被覆するのがよいが、捲回が一方向だけだと、被覆後、金属線の巻き癖による蛇行がひどくなつて修正しにくくなり、基材への配設に支障を来してしまう。従って、捲回はS Zの両方向に行うのがよい。40

#### 【0034】

また、フィラメント糸が細すぎると、被覆率確保に必要な捲回々数が増加する。従って、上記被覆材を構成する繊維の太さは、20～500デニール程度がよい。さらに、これらの繊維は、マルチフィラメントの方が、捲回時に繊維がばらけて金属線表面に広がり、被覆効率がよくなるので好ましい。また、捲回は、2重以上重ねてもよい。

#### 【0035】

なお、被覆を絶縁性材料のコーティングで行うと、透過性被覆材のような表面凹凸が少ないため、F R Pと被覆材間の滑りが懸念される。従って、被覆材は、繊維状物であることがより好ましい。

#### 【0036】

10

20

30

40

50

一方、金属線を被覆せずに使用すると、基材に金属線を配設する工程や、配設後の基材にローラなどで樹脂含浸する際、金属線に損傷を与えてしまい、FRP化後の抵抗変化の異常や、金属線の切断につながってしまうことが懸念される。そこで、被覆をしておけば、これが保護層の役目を果たすので、金属線の検出性能を維持することができる。

【0038】

上記被覆方法における金属線の被覆割合は、100%であることが好ましいが、90%以上であれば、絶縁の目的を達成できるのでよい。

【0039】

すなはち、補強纖維が炭素纖維の場合、絶縁性の樹脂が含浸することにより炭素纖維と金属線が接触する可能性は低下するので、被覆割合が90%以上あれば、樹脂含浸後、金属線に接触する炭素纖維は殆どなくなる。しかし、90%未満では、樹脂含浸後も金属線に接触する炭素纖維が残り、金属線の抵抗へ影響することが懸念される。

10

【0040】

なお、金属線の被覆割合は、以下の方法で測定した。

【0041】

まず、樹脂含浸前の表面の顕微鏡写真を撮り、この全表面積S1、及び、金属線が見える表面積S2を計測し、以下の式より被覆率を算出した。計測は、被覆した金属線の異なる10ヶ所の、配向方向の長さ(15mm)と太さ方向の長さ(全幅)で表される長方形の領域について行い、その最低値を被覆率とした。

20

【0042】

$$\text{被覆率} = (S_1 - S_2) / S_1 \times 100 \quad (\%)$$

ただし、コーティングによる被覆の場合、以下の超音波検査法を利用して被覆率を測定してもよい。すなはち、パルス波を用いた反射法により、金属線の長さ方向について、金属線の全長L1、及び、金属線表面反射だけが観察される長さL2を計測し、以下の式より被覆率を算出した。計測は、被覆した金属線の異なる5ヶ所の、長さ50mmの部分について行い、その最低値を被覆率とした。

【0043】

$$\text{被覆率} = (L_1 - L_2) / L_1 \times 100 \quad (\%)$$

以上において、同じ部分に被覆材が重なっても被覆割合は同じとした。従って、被覆割合は0%以上、100%以下と定義される。

30

【0044】

あるいは、上記被覆方法において、金属線の絶縁の目的を達成するには、前記被覆材により金属線が被覆されていない部分で、直径10μm以上の球が通り抜けられる箇所の個数が、金属線の長さ方向10cmの間に5個以下であればよい。

【0045】

被覆されていない部分が、そこを通り抜けられる球の直径が10μm以下となる条件を満たすと、補強纖維の単糸径が上記値と同等なので、補強纖維が被覆されていない部分に進入しにくく、補強纖維と金属線間の絶縁性を確保できる。

【0046】

特に、被覆されていない部分が細長い形状の場合、この配向方向と補強纖維とが並行に配列すると、補強纖維が進入しやすくなる。しかし、この部分を通り抜けられる球が、上記の条件を満たせば、補強纖維の進入を防げるので、絶縁性を確保できる。

40

【0047】

また、前記カバーリング法などの捲回による被覆方法に従えば、規則的な被覆がなされるので、被覆率は金属線表面全体が平均的に増加し、部分的な被覆率の差は余り大きくなない。そのため、被覆されていない部分のうち、10μm以上の直径の球が通り抜けられる箇所の個数が、金属線の長さ方向10cm中に5個以下であれば、部分的に小さな被覆むらがあっても、絶縁性を確保できていると判断することができる。

【0048】

なお、かかる箇所の測定方法としては、以下の方法を採用した。

50

## 【0049】

すなはち、上記被覆率算出と同様の方法で撮った被覆した金属線表面の顕微鏡写真において、被覆されていない部分に内接する円を複数描き、それらの円の直径を測定し、最大値を球の直径とした。この際、測定する場所は任意に選んでよいが、測定位置によるばらつきを抑えるため、測定は選んだ位置から連続する長さ方向 10 cm の間について行い、この部分において円の直径が 10 μm を越える回数を記録した。上記記録を任意の 5 つの部分それぞれについて行い、最大値を球が通り抜けられる箇所の個数とした。

## 【0052】

本発明の基材は、補強纖維と金属線が一体となっているので、FRPとした時に歪み検出を正確にできるが、さらに、構造物に合わせて様々な形状のFRPに成形できるものが好ましい。このような基材として、1方向に並行に配列した補強纖維糸条が、接着剤により支持体に接着固定されたトウシートや補強纖維糸条がBステージ状態の熱硬化性樹脂で一体化してなるプリプレグ、あるいは、織物がよい。

10

## 【0053】

また、FRPにおける歪みは、埋め込んだ金属線により検出することから、金属線は必ずしも補強纖維の配向方向に対して同一方向に配列することに限定されるものではなく、補強纖維の配向方向に対して角度を有して配列させても良いし、同一方向と角度を有した方向の両方向に配列させても良い。

## 【0054】

このようにすることで金属線が配列している方向の歪み検出が可能となる。

20

## 【0055】

なお、補強纖維の配向に対する角度は ± 15° 以上であり、必要な検出方向によって適宜決めればよいものである。

## 【0056】

なかでも、金属線を補強纖維の配向方向に対してほぼ直交する方向に配向させることにより、補強纖維の配向に対する直交方向の歪みの検出が可能となるので好ましいものである。

## 【0057】

このような基材はシート状なので、構造物に合わせて様々な形状のFRPに成形できる。

## 【0058】

また、前記トウシートやプリプレグは、補強纖維がそれぞれ接着剤、未硬化のマトリックス樹脂により固定されているので、これをを利用して金属線を補強纖維と並行に配設することができる。

30

## 【0059】

なお、前記トウシートにおいて、支持体と接着剤は、補強纖維糸条の固定を目的とするものである。従って、支持体は、適度な剛性を有し、金属線を固定しやすいガラスマッシュやガラス不織布などがよく、また、接着剤は、硬化していても、未硬化であってもよい。ただし、マトリックス樹脂との相溶性を考え、マトリックス樹脂がエポキシ樹脂の場合は、エポキシ系樹脂の接着剤がよい。

## 【0060】

40

一方、織物は、たて糸とよこ糸の交錯により互いの位置や形状を固定している。従って、金属線を、これらの糸と交錯させることで、基材内に補強纖維と並行に配設できる。ただし、織物は、前記トウシートやプリプレグのように、金属線を接着でなく、交錯によって固定するので、剥がれの懸念がない。従って、基材としては織物がより好ましい。

## 【0061】

本発明の基材において、金属線は、基材内に 2 ケ所以上並行に配列していることが好ましい。本発明の基材は長尺状なので、金属線両端に端子を設けると、端子間距離が長くなつて、抵抗測定が困難になるが、金属線を 2 ケ所以上配列させて基材の一端で金属線を接続させ、他端に二つの端子を設置して抵抗測定を行えば、測定を簡便にできる。

## 【0062】

50

なお、2ヶ所の配列形態は、異なる2本が並行に配列していてもよいし、1本が、基材の端部や中途においてUターンしていてもよい。

#### 【0063】

ここで、この2つの端子を一端に設置する場合においては、端子を取り出す1組（2本、Uターンさせる場合は1本）の間隔はできるだけ距離が小さい方が作業上好ましい。従って、好ましい間隔は5cm以下である。ただし、同一基材内の金属線同士や、隣接する基材の接続が可能なので、この範囲に限定されることはない。

#### 【0064】

また、この端子を取り出す1組の間隔は小さいし、かつ、適度な間隔でこの1組を配置させることで基材内により多くの箇所でFRPの発生歪みの検出が可能となるため好ましい。また、複数の基材を積層する場合においては、基材の金属線が配列する箇所を任意の間隔でずらすようにしても同様の効果を得ることができる。10

#### 【0065】

本発明の基材の厚みは、厚み測定器を使用して測定した。方法は、JIS L1096の一般織物試験方法の6.5厚さ測定方法に準拠した。すなはち、基材の異なる5ヶ所に厚さ測定器を用いて、加圧下の厚さが落ち着くまで約10秒間、23.5KPaの荷重を加えた後に厚さを測り、その平均値で示した。また、被覆した金属線の太さも同じ方法で測定した。

#### 【0066】

なお、ここでの基材厚みは、金属線が配設されていない部分の値とした。また、後述する実施例では、厚み測定器として、（株）東洋精機製作所のNo.132型デジタル測厚器B-2を使用した。20

#### 【0067】

さらに、本発明の基材は、大型構造物へ適用できるので、紙管に捲回できる長尺状のものがよい。従って、金属線が配設されても、基材が紙管に捲回できることが好ましい。

#### 【0068】

つまり、基材が紙管に捲回され、この基材中の被覆された金属線の太さが、前記基材の厚みの100%以下であれば、紙管からほどいた際に基材表面は平滑である。しかし、被覆された金属線の太さが基材厚みよりも大きいと、被覆した金属線に巻取り圧が集中した状態で基材が紙管に巻かれるので、基材を紙管からほどいた際、補強繊維糸条の糸長差により基材表面が波状の凹凸を発生し、好ましくない。30

#### 【0069】

本発明の炭素繊維を使用した具体的な、織物の実施態様を図面を参照して説明する。

#### 【0070】

図1は、マルチフィラメントの炭素繊維の単糸1からなる炭素繊維糸条2が、たて方向に並行に配列し、よこ方向の補助糸3が炭素繊維糸条に交錯している、いわゆる一方向性織物において、隣り合う炭素繊維糸条間に、被覆した金属線4を前記糸条と並行に配設したものである。

#### 【0071】

また、図2、3は、たて方向にも補助糸5が配列してよこ糸と交錯し、かつ、たて方向炭素繊維糸条が実質的に屈曲（クリンプ）を有しない、いわゆる、ノンクリンプ織物において、図1同様、隣り合う炭素繊維糸条間に被覆した金属線4を前記糸条と並行に配設したものである。特に、図3は、たて補助糸5の代わりに被覆した金属線4を配列したものである。40

#### 【0072】

図4のように、よこ糸の炭素繊維糸条6と、たて糸の炭素繊維糸条2とを交錯させた二方向性織物でも、被覆した金属線4をたて糸の炭素繊維糸条2と一緒に引揃えることにより、基材内に配設することができる。なお、織り方として、この他に平織、朱子織、綾織などが用いられる。

#### 【0073】

10

20

30

40

50

また、たて方向およびよこ方向の炭素繊維糸条に対し、1本交互にたて方向およびよこ方向の補助糸が配列して、補助糸により一体化した織り構造をなし、たて方向およびよこ方向の炭素繊維糸条が実質的に屈曲（クリンプ）を有しない、いわゆる二方向性のノンクリンプ織物であっても良い。

## 【0074】

図5に、一方向性織物において、金属線が補強繊維の配向方向に対し、角度を有して配向しているケースの一例を示す。ここで、金属線4は、部分的によこ糸補助糸（ガラス繊維）3と金属線が同一箇所で一体となり、並行に配列しているケースであるが、金属線の配列箇所は必ずしもよこ糸と一体となっている必要はなく、金属線単独であっても良い。

## 【0075】

また、織物において金属線は、たて方向および／またはよこ方向のたて糸（よこ糸）やたて補助糸（よこ補助糸）と織物の製織時に同時に引き揃え、あるいは単独で挿入することにより織物内に配置させることができる。

## 【0076】

上記図1～5において、金属線の被覆は、52本のナイロンフィラメントが束になった70デニールのマルチフィラメントを、SZ両方向にともに1200回/m捲回して行い、被覆率を100%とした。

## 【0077】

なお、図1、2及び4のように、被覆した金属線を隣り合う炭素繊維糸条間に、糸条に密着させて配列すると、金属線が糸条と糸条、糸条とよこ糸によって位置固定されるので、金属線を前記糸条と並行に配設しやすいのでよい。さらに、たて糸とよこ糸を接着剤で固定する、いわゆる目止めを行うと、金属線と糸条を並行に、さらに強固に固定できるのでよい。

## 【0078】

なお、目止めに使用する接着剤としては、共重合ナイロン、共重合ポリエステル、ポリエチレンなどの低融点ポリマーが挙げられる。

## 【0079】

本発明に用いる補強繊維としては、高強度で高弾性率である繊維がよく、導電性繊維の炭素繊維を用いる。

## 【0080】

また、コンクリート構造物の補修・補強用途では、耐アルカリ性に優れる、引張強度が3000～5600MPaで引張弾性率が220～640GPaの炭素繊維を用いるのがよい。中でも引張強度が4300～5600MPa、引張弾性率が340～640GPaの高強度、高弾性率の炭素繊維を用いると、必要な基材枚数が少なくて省力化に繋がるので好ましい。

## 【0081】

なお、基材を構成する炭素繊維糸条は、6000～24000本のフィラメント糸からなるものが好ましく、特に、織物形態においては、前記炭素繊維糸条が複数本、束になって引揃えられて糸条を構成していてよい。

## 【0082】

本発明に用いる基材の補強繊維目付としては、180～1000g/m<sup>2</sup>の範囲が好ましい。180g/m<sup>2</sup>未満では、樹脂含浸しやすい点では好ましいが、補強に必要な基材の枚数が増えるので、含浸作業が多く面倒である。また、基材厚みが小さくなるので、被覆した金属線の太さが基材厚みを越えやすく、基材を紙管に巻取ってほどいた時に、波状凹凸を生じてしまうことが多くなる。

## 【0083】

一方、1000g/m<sup>2</sup>以上の目付では、必要な基材の枚数が少なくて効率的だが、基材の厚さ方向中央への樹脂含浸が困難になってしまう。

## 【0084】

本発明において、図1、2、3、5に示すような一方向性織物の場合、織物のよこ糸は、

10

20

30

40

50

たて糸と同一方向に配列させた金属線と、織り構造をなしていることから、剛性が高い纖維が好ましい。剛性が高い纖維を用いることにより、たて糸がよこ糸補助糸に押さえつけられる力が大きくなることで、たて糸とよこ糸補助糸がより密着し、FRPにした場合にFRPの歪みが金属線から正確に検出しやすくなる。

#### 【0085】

剛性の高い纖維としては、ガラス纖維やアラミド纖維、炭素纖維などが好ましく、なかでも、安価なガラス纖維がより好ましい。特に、100～6000デニールのよこ糸および／またはよこ糸補助糸を用いると、金属線を固定しやすいのでよい。ただし、本発明では、織物に用いるよこ糸補助糸として、たて糸と金属線を並行に固定させる必要から、ガラス纖維やアラミド纖維、炭素纖維などの曲げ剛性の高い纖維が好ましく、中でも、安価なガラス纖維が好ましい。特に、100～6000デニールのよこ糸補助糸を用いると、金属線が固定しやすいのでよい。ただし、たて方向とよこ方向の纖度比、すなはち、（たて方向の補強纖維糸条の太さ）／（よこ糸補助糸の太さ）で表される値を3～100とすることが好ましい。

10

#### 【0086】

纖度比が3未満では、よこ糸補助糸が太すぎるため、たて方向補強纖維糸条にクリンプを生じ、補強纖維の強度特性が十分に発揮されない。

#### 【0087】

一方、前記比が100を越えると、よこ糸補助糸が細すぎて、たて方向補強纖維や金属線を固定する効果が小さくなってしまう。

20

#### 【0088】

なお、たて糸補助糸を使用する場合も、よこ糸補助糸の剛性と同等の方が、織物形態が安定するので、ガラス纖維がより好ましく用いられる。

#### 【0089】

構造物が疲労等によって亀裂を発生し、剛性低下を起こすと、この構造物は同じ応力に対して大きな歪みを示すようになる。従って、FRP中の金属線の抵抗変化を測定すれば、FRP構造物や、FRPと一体であるコンクリート構造物の歪みや疲労の状態を検出することができる。

#### 【0090】

例えば、コンクリート構造物をCFRP（炭素纖維強化プラスチック）と一体にして補強する場合、まず、コンクリート表面の脱脂や凹凸を修正した後、コンクリートとの接着性をよくするため、プライマーを塗り、乾燥するまで放置する。次に、マトリックス樹脂である常温硬化型のエポキシ樹脂をコンクリート面に塗布し、この上に炭素纖維基材を貼付け、ローラやへらで樹脂を基材へよく含浸させる。この時、金属線の両端部分にリード線を、圧着端子などを用いて接続しておくとよい。

30

#### 【0091】

さらに、この上に樹脂を塗布し、同様にローラやへらで樹脂含浸を行う。この作業を繰り返して基材を所定の枚数貼付け、樹脂を硬化させてCFRPとすることができます。

#### 【0092】

構造物の歪み状況の検出は、前記リード線の両端をテスターに接続し、電気抵抗を測定してもよいが、小さな抵抗変化を精度よく検出するため、以下の方法で測定するのがよい。

40

#### 【0093】

すなはち、ブリッジ回路、動歪み計を接続して、金属線の抵抗変化を歪みとして読み取る。必要に応じて、XYレコーダ等に記録してもよい。これにより、長時間、歪みの状況を検出することができる。

#### 【0094】

ここで用いるマトリックス樹脂としては、エポキシ、ビニルエステル、不飽和ポリエステル、フェノールなどの熱硬化性樹脂が使用されるが、耐火性が必要な場合にはフェノール樹脂、コンクリート構造物に使用される場合には接着力や耐アルカリ性に優れたエポキシ樹脂が好ましい。

50

## 【0095】

## 【実施例】

以下、本発明の好ましい実施例による、FRPに生じる歪みを金属線の抵抗変化として検出するための基材、及びこれを用いた施工や検出の状況について説明する。

## 【0096】

## (実施例1)

金属線は、裸線径が0.1mmの丸断面で、抵抗率が141.3 / mのニクロム線を使用し、予めアセトンで洗浄して脱脂しておいた。このニクロム線に、52本のナイロンフィラメントが束になった70デニールのマルチフィラメントを、SZ両方向に、ともに1200回 / m捲回して被覆した。被覆率は表1の通りであった。また、絶縁性被覆材により金属線が被覆されていない部分で、直径10μm以上の球が通り抜けられる箇所の個数が、前記金属線の長さ方向10cmの間に、1個以下であった。10

## 【0097】

基材は、表2に示す物性のPAN系高強度タイプ炭素繊維糸条（単糸数：24000本、纖度：14400デニール）を補強繊維としてたて方向に配列し、よこ方向にはガラス繊維を補助糸として配列し、さらに、被覆したニクロム線を、前記補強繊維と並行に配設して図2に示す態様に製織した一方向性炭素繊維織物を使用した。この織物を50メートル製織し、紙管に捲回しながら巻き取った。その後、この織物を紙管からほどいて、波状凹凸の有無を確認した。20

## 【0098】

CFRPの成形は、長さ300mm、幅250mmにカットした前記織物に常温硬化型のエポキシ樹脂をローラで含浸して行った。この時、含浸のしやすさや基材の取扱い性などの施工性を評価した。硬化は、23の室温中に10日間放置して行った。

## 【0099】

CFRPに引張歪みを与えた時のニクロム線の電気抵抗は、上記CFRP7にガラスタブ8を貼付けた後、図6に示す形状に切出した試験片で行った。被覆したニクロム線4の両端部には、圧着端子を介してリード線を半田で接続した。歪みは、23の雰囲気中で1mm / minの速度で与えた。

## 【0100】

電気抵抗は、ホイートストンブリッジで測定した。測定は、繊維方向の引張歪みが0、0.1%、及び、コンクリート内の鉄筋が降伏する歪みの0.2%の時の3回を行い、これを、0.1~0.2%間の引張・引張疲労試験を行う前後に行った。疲労試験の繰返し数は、10<sup>6</sup>回とした。なお、歪みは、(株)共和電業の歪ゲージ(KFG-20-120-C1-11)で確認した。30

## 【0101】

一方、CFRPの物性低下の有無を、補強繊維方向の引張強度より調査した。測定は、JIS K 7073に準拠し、23の雰囲気中で1mm / minの引張速度で行った。強度は、破断荷重をCFRP内で引張方向に配列したCFと直角方向のCF断面積で割った値とし、n = 5の平均値とした。

## 【0102】

電気抵抗測定の結果、疲労前後の歪み・電気抵抗曲線に変化は見られず、0.2%の歪みを与えることによって、抵抗が0.13增加した。この増加量は、抵抗値自体に比べると約0.3%と小さいが、再現性に優れ、n = 10について抵抗増加率は同じとなったため、歪み発生による増加量であることが分かった。つまり、歪みが電気抵抗値として検出され、抵抗値に疲労の影響は見られなかった。なお、疲労前後の歪み・電気抵抗曲線を、それぞれ図7、8に示した。40

## 【0103】

本実施例のCFRPの引張強度は、4450MPaで、ニクロム線が含まれないCFRPが4500MPaであった。強度は、成形法がハンドレイアップであることと、糸条毎に強度のばらつきがあるため、CFRPにおいてもばらつくと考えられる。そこで、ニクロ50

ム線を含まないC F R Pについて評価した所、平均値が最大10%足らず変動し、ばらつきがあることが分かった。よって、上記2つの値から、本実施例では物性低下はないことが分かった。

#### 【0104】

試験片の配向方向両端の断面に見られた2つのニクロム線断面を結んだ直線と、補強繊維方向との間に角度のずれは見られなかった。さらに、この試験片のマトリックス樹脂を電気炉で焼き飛ばしてニクロム線を取り出し、その長さを測定した所、実際のニクロム線の長さと試験片長さが一致した。つまり、ニクロム線が補強繊維と並行に配設されていた。

#### 【0105】

##### (実施例2)

金属線の配列方向を横方向に配列させた図5に示す織物を用いた以外は、実施例1と同じ成形、金属抵抗測定、および、強度測定の条件とした。

10

#### 【0106】

ここで、横方向への金属線の配列は、織物製織時の横糸のガラス繊維挿入に際し、部分的にガラス繊維と引き揃え挿入することで配列させた。

#### 【0107】

電気抵抗の状況は、疲労前後の歪み-電気抵抗曲線に変化は見られず、0.2%の歪みを与えることによって、抵抗が0.12增加した。

#### 【0108】

実施例1同様、試験片内のニクロム線の配列方向を調べたところ、横糸として織り込まれているので、蛇行などは観察されなかった。

20

#### 【0109】

##### (比較例1)

織物として、実施例1でニクロム線が配設されていないものを2枚使用し、ニクロム線をこの層間に手作業で配設した以外は、実施例1と同じ被覆したニクロム線とし、同じ成形、電気抵抗測定、及び、強度測定の条件とした。

#### 【0110】

成形は、上記織物に樹脂含浸し、その上に被覆したニクロム線を補強繊維と並行に手作業で配設し、さらにその上にもう1枚の織物を積層し、樹脂含浸することで行った。

#### 【0111】

電気抵抗の状況は、疲労前後の歪み-電気抵抗曲線に変化は見られず、0.2%の歪みを与えることによって、抵抗が0.07增加した。

30

#### 【0112】

実施例1同様、試験片内のニクロム線の配列方向と、補強繊維方向との間の角度を調べた所、それが見られた。さらに、試験片から取り出したニクロム線の長さは、試験片の長さよりも長かった。つまり、ニクロム線が、補強繊維と並行に配設されていなかった。

#### 【0113】

本比較例では、ニクロム線が補強繊維と並行に配設されていなかったため、ニクロム線の抵抗変化が小さくなつたことが分かった。

#### 【0114】

##### (比較例2)

ニクロム線の体積割合を10%とした以外は、実施例1と同じ被覆したニクロム線、織物構造とし、同じ成形、電気抵抗測定、及び、強度測定の条件とした。

40

#### 【0115】

電気抵抗の状況は、疲労前後の歪み-電気抵抗曲線に変化は見られず、0.2%の歪みを与えることによって、抵抗が0.13增加した。

#### 【0116】

また、引張強度が、実施例1より約12%低下し、物性低下が見られた。

#### 【0117】

本比較例は、引張強度の低いニクロム線の体積割合が高すぎたため、物性低下を起こした

50

ことが分かった。

【0118】

(比較例3)

被覆条件を、S Z両方向の捲回々数をともに400回/mとし、被覆率を50%としたニクロム線を使用した以外は、実施例1と同じニクロム線、織物構造とし、同じ成形、電気抵抗測定、及び、強度測定の条件とした。

【0119】

疲労前の電気抵抗は、0.2%の歪みを与えることによって、約0.08 増加したが、値が不安定であった。そこで、導通性を調査した所、炭素纖維とニクロム線の間に導通性が確認された。

10

【0120】

本比較例は、被覆が不完全であったため、ニクロム線の抵抗変化が不安定になったことが分かった。抵抗が不安定なため、疲労試験は行わなかった。

【0121】

用いた基材とニクロム線の仕様を表1に、得られた結果を表2に示す。

【0122】

(比較例4)

織物として、実施例2でニクロム線が配設されていないものを2枚使用し、ニクロム線を、この層間に手作業で配設した以外は、実施例2と同じ被覆したニクロム線とし、同じ成形、金属抵抗測定、および、強度測定の条件とした。

20

【0123】

成形は、上記織物に樹脂含浸し、その上に被覆したニクロム線を補強纖維と並行にて作業で配設し、さらにその上にもう1枚の織物を積層し、樹脂含浸することで行った。

【0124】

電気抵抗の状況は、疲労前後の歪み - 電気抵抗曲線に変化は見られず、0.2%の歪みを与えることによって、抵抗が0.06 増加した。

【0125】

実施例2と同様、試験片内のニクロム線の配列方向と、織物のよこ糸との関係を調べたところ、それが見られ、ニクロム線の蛇行が観察された。

30

【0126】

本比較例では、ニクロム線がFRPの歪みの測定方向である織物のよこ糸方向に対し、並行に配設されていなかったため、ニクロム線の抵抗変化が小さくなつたことがわかつた。

【0127】

【表1】

表1 基材及びニクロム線の仕様

項目	実施例1	実施例2	比較例1	比較例2	比較例3	比較例4
基 材	たて方向補強繊維 引張強度 引張弾性率		炭素繊維 4900 MPa 230 GPa			
	よこ糸		ガラス繊維			
ニ ク ロ ム 線	補強繊維目付(g/m <sup>2</sup> )		300			
	厚み(mm)		0.35			
ニ ク ロ ム 線	被覆方法		ナイロンマルチフィラメントによるガーリング			
	被覆率(%)		100	50	100	10
	体積割合(%)	2	10	2		
	被覆材を含む太さ (mm)	0.25		0.15	0.25	
	配設方法	予め基材中に配設	成形時、 手作業で 配設	予め基材中に配設	成形時、 手作業で 配設	

【表2】

10

20

表2 実施結果

評価項目		実施例1	実施例2	比較例1	比較例2	比較例3	比較例4
基材を糸管へ巻取後、ほどいた時の凹凸発生	なし	なし	—	なし	なし	—	—
施工性	良好	良好	悪	良好	良好	悪	—
試験片の長さ (cm)	33.6	—	33.3	33.6	33.2	—	—
〃 幅 (cm)	2.5	—	2.5	2.5	2.5	—	—
実際のニクロム線長さ(cm)	33.6	—	33.7	33.6	33.2	—	—
補強繊維とニクロム線間の導通性	無	無	無	無	有	—	—
ニクロム線とたて糸(補強繊維)またはよこ糸(ガラス繊維)との並行性	有	有	無	有	有	無	—
電気抵抗値 (Ω)	歪み0%時 [a]	47.53	47.55	47.59	47.55	46.93	47.56
	歪み0.2%時 [b]	47.66	47.67	47.66	47.68	約47.01	47.61
	上昇幅 [b-a]	0.13	0.12	0.07	0.13	約0.08	0.06
	歪み0%時 [c]	47.53	47.55	47.60	47.56	—	47.57
	歪み0.2%時 [d]	47.66	47.67	47.66	47.68	—	47.65
	上昇幅 [d-c]	0.13	0.12	0.06	0.12	—	0.08
CFRPの引張強度 (MPa)		4450	—	4460	3960	4420	—
CFRPの物性低下		無	—	無	有	無	—

## 【0128】

## 【発明の効果】

本発明によると、金属線の周囲に絶縁性の繊維状物の被覆材料で捲回被覆を行い、これを炭素繊維からなる補強用繊維基材内部に配設し、かつ、金属線の体積割合を補強繊維の4%以下とすることにより、大型構造物やこれと一体の、様々な形状のFRPに成形でき、しかも、構造物やFRPに発生する歪みの状況を正確に検出することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施態様に係わる一方向性炭素繊維織物を示す。

【図2】 本発明の一実施態様に係わるノンクリンプ一方向性炭素繊維織物を示す。

【図3】 本発明の一実施態様に係わる、たて方向補助糸に金属線を使用したノンクリンプ一方向性炭素繊維織物の実施態様を示す。

【図4】 本発明の一実施態様に係わる二方向性炭素繊維織物を示す。

【図5】 本発明の一実施態様に係わる金属線が補強繊維に対して角度を有して配列された炭素繊維織物を示す。

【図6】 ニクロム線の電気抵抗変化を測定する試験片の斜視図を示す。

【図7】 疲労前の電気抵抗と歪みの関係図を示す。

【図8】 疲労後の電気抵抗と歪みの関係図を示す。

## 【符号の説明】

1 : 炭素繊維単糸

10

20

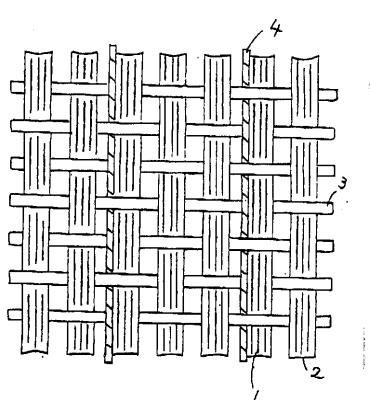
30

40

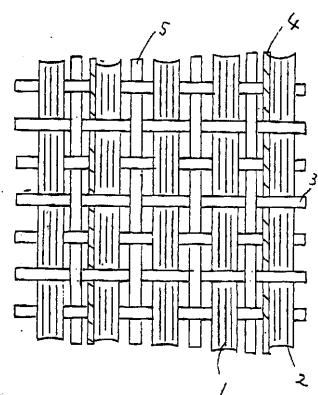
50

- 2 : たて方向炭素繊維糸条  
 3 : よこ糸補助糸  
 4 : 被覆したニクロム線  
 5 : たて糸補助糸  
 6 : よこ方向炭素繊維糸条  
 7 : C F R P  
 8 : ガラスタブ

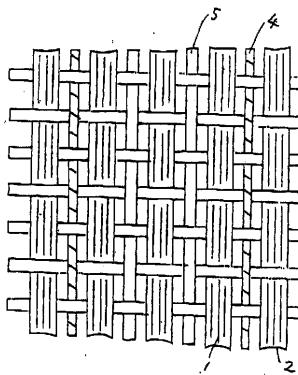
【図 1】



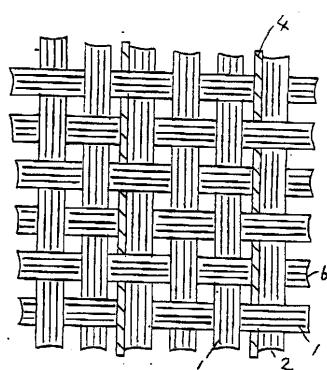
【図 2】



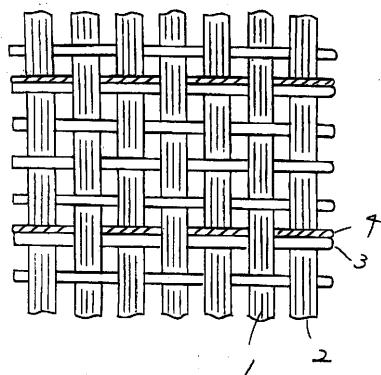
【図 3】



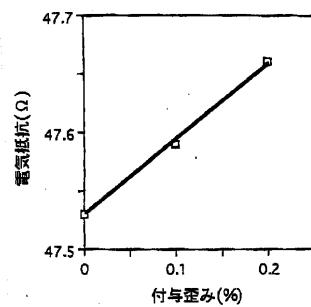
【図 4】



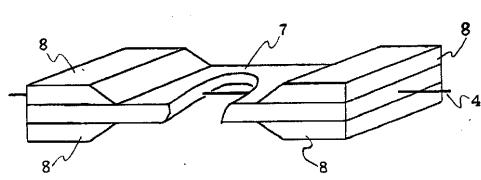
【図5】



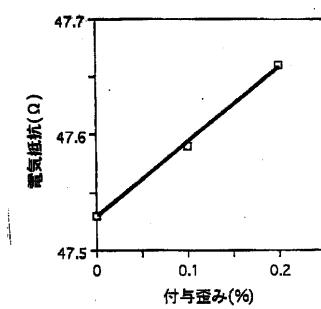
【図7】



【図6】



【図8】



---

フロントページの続き

審査官 菊地 則義

(56)参考文献 特公昭64-006226(JP,B1)

特開平02-038945(JP,A)

特開昭62-102854(JP,A)

特開平09-118823(JP,A)

特開昭61-287936(JP,A)

特開平06-254300(JP,A)

特開平05-332965(JP,A)

特開昭60-114741(JP,A)

特開平03-202323(JP,A)

化学大辞典編集委員会編, 化学大辞典1, 日本, 共立出版株式会社, 1972年 9月15日,

縮刷版第14刷, p. 969

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

D03D1/00-27/18

B29B11/16

B29B15/08-15/14

C08J5/04-5/10

C08J5/24

G01N27/04