

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6646306号
(P6646306)

(45) 発行日 令和2年2月14日(2020.2.14)

(24) 登録日 令和2年1月15日(2020.1.15)

(51) Int. Cl.		F I		
GO 1 N 21/91	(2006.01)	GO 1 N	21/91	Z
GO 1 M 99/00	(2011.01)	GO 1 M	99/00	Z
GO 1 N 21/88	(2006.01)	GO 1 N	21/88	Z

請求項の数 6 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2018-193961 (P2018-193961)	(73) 特許権者	501204525
(22) 出願日	平成30年10月15日(2018.10.15)		国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
(62) 分割の表示	特願2015-152492 (P2015-152492) の分割		東京都三鷹市新川6丁目38番1号
原出願日	平成27年7月31日(2015.7.31)	(74) 代理人	100098545
(65) 公開番号	特開2019-39927 (P2019-39927A)		弁理士 阿部 伸一
(43) 公開日	平成31年3月14日(2019.3.14)	(74) 代理人	100087745
審査請求日	平成30年11月2日(2018.11.2)		弁理士 清水 善廣
(31) 優先権主張番号	特願2014-162628 (P2014-162628)	(74) 代理人	100106611
(32) 優先日	平成26年8月8日(2014.8.8)		弁理士 辻田 幸史
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74) 代理人	100189717
			弁理士 太田 貴章

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 亀裂の検出方法用粘性流体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

チクソトロピー指数が $0.4 \sim 1.5$ である粘性流体であって、前記粘性流体のみかけ粘度 η_0 は、せん断速度 D が $0.1 (1/S)$ のときに $47 (Pa \cdot s)$ 以上、せん断速度 D が $1 (1/S)$ のときに $7.2 \sim 190 (Ps \cdot s)$ 、せん断速度 D が $10 (1/S)$ のときに $1.1 \sim 25 (Ps \cdot s)$ 、せん断速度 D が $100 (1/S)$ のときに $0.17 \sim 3.2 (Ps \cdot s)$ であり、その用途が、繰り返し荷重の作用する母材に塗布し、前記母材の亀裂の開閉により前記粘性流体が前記亀裂の内部に吸引されて形成される前記粘性流体の外表面の凹み及び/又は凹みによって露出した前記母材の地肌から前記亀裂の発生又は進展を目視により検出する亀裂の検出方法用粘性流体であることを特徴とする亀裂の検出方法用粘性流体。

【請求項2】

前記粘性流体が、ペーストであることを特徴とする請求項1に記載の亀裂の検出方法用粘性流体。

【請求項3】

前記粘性流体が、流体と粉体の混合物であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の亀裂の検出方法用粘性流体。

【請求項4】

前記粘性流体が、シリコン系の粘性流体であることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の亀裂の検出方法用粘性流体。

【請求項 5】

前記粘性流体が、白色を含む淡色の粘性流体であることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の亀裂の検出方法用粘性流体。

【請求項 6】

前記粘性流体が、想定する前記母材に加わる前記繰り返し荷重の周波数を考慮して選定した粘度特性を有する粘性流体であることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の亀裂の検出方法用粘性流体。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、船舶、海洋構造物、橋梁、車両、工作機械、建築物等の構造物において、亀裂の発生又は進展が懸念される箇所に対して適用する、亀裂の検出方法用粘性流体に関する。

【背景技術】**【0002】**

船舶、海洋構造物、橋梁、車両、工作機械、建築物等、各種構造物の亀裂検査は、現状、その殆どが目視検査に依っているが、実構造物における検査環境は想像以上に厳しく、スペースや時間が限られることはもとより、電源や十分な照明設備を期待できない場合も多いため、溶接部や構造取り合い部等の複雑形状部分に生じた亀裂を現場で発見し、その寸法を把握する事は容易でない。

【0003】

特許文献 1 には、構造物の表面に視認性液を封入したマイクロカプセルを分散させた第一被覆上にマイクロカプセルを含まない第二被覆層を設けると共に、第二被覆層が透明であって且つ第一被覆層に亀裂が生じた場合にも亀裂を生じないだけの十分な柔軟性をもつ最外層を有する被覆層を形成しておき、構造物に亀裂が生じた際にその亀裂が第一被覆層に伝わって、それに伴って第一被覆層中のマイクロカプセルが破壊され、マイクロカプセルから流出した視認性液が第一被覆層中の亀裂を伝わって第二被覆層に達することで、構造物の亀裂発生を検知できるようにした構造物の亀裂検査用被覆が記載されている。

特許文献 2 には、構造物の亀裂検査に関し、構造物上の亀裂が生じ易い箇所に、所定の色調を有する第 1 の塗膜層と、第 1 の塗膜層と異なる色調を有し第 1 の塗膜層を隠蔽する第 2 の塗膜層を形成し、構造物に亀裂が生じた際に、それにもなって生じる第 2 の塗膜層の亀裂の隙間から第 1 の塗膜層の色を感知することで構造物の亀裂発生を検知する方法が記載されている。

また、特許文献 3 及び特許文献 4 は、クラックの発生したコンクリートやモルタル等の構造物の表面を揮発性液体で濡らして、揮発性液体が揮発して乾いた表面の正常部の箇所と、揮発性液体が揮発しにくく未だ濡れている表面のクラックの箇所との色の違いにより、表面のクラックを検出する方法を提案している。

また、特許文献 5 には、高分子及び蛍光増白剤を含み、コンクリートの表面側に形成された第 1 層と、高分子及び紫外線吸収剤を含み、第 1 層の表面側に形成された第 2 層とを備え、破断形成されひび割れを有したコンクリート構造物に、紫外線を照射して、ひび割れの位置を確認することが記載されている。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0004】**

【特許文献 1】国際公開第 2005/001454 号

【特許文献 2】特開平 10 - 38692 号公報

【特許文献 3】特開平 1 - 295142 号公報

【特許文献 4】特開 2005 - 195564 号公報

【特許文献 5】特開 2013 - 88405 号公報

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1又は2のように塗料を用いる方法では、塗装前下地処理作業や、検査後の塗膜の除去作業などに手間と時間がかかる。また、有機溶剤系の塗料を使用する場合や塗料の相性が合わない場合等、多くの場合において既存の塗膜上には重ね塗りができない。また、特許文献1の方法では、視認性液を封入したマイクロカプセルの製造のために特殊な技術や設備が必要である。

特許文献3又は4のように揮発性液体を用いる方法では、比較的短時間でクラック内の液体も揮発が進んでクラックの箇所と正常部の色が同じになり、クラックの検出ができなくなる。また、揮発の速度は気温などの周囲環境に大きく左右されるので、その対応が必要になる。また、垂直面等に塗布した場合は、揮発性液体がタレるおそれがある。さらに、クラックが既に発生している構造物が対象であり、今後クラックの発生や進展が予測される部位への適用ができない。

特許文献5のコンクリート構造物は、紫外線を照射する紫外線照射器が必要であり、作業に手間がかかる。

【0006】

そこで本発明は、粘性流体を塗布することにより、初期段階の微小亀裂や、溶接部・構造取り合い部等の複雑形状部分に生じた亀裂を容易かつ確実に検出する、亀裂の検出方法用粘性流体を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

請求項1記載の本発明に対応した亀裂の検出方法用粘性流体においては、チクソトロピー指数が0.4～1.5である粘性流体であって、粘性流体のみかけ粘度 η_0 は、せん断速度Dが0.1(1/S)のときに47(Pa·s)以上、せん断速度Dが1(1/S)のときに7.2～190(Ps·s)、せん断速度Dが10(1/S)のときに1.1～25(Ps·s)、せん断速度Dが100(1/S)のときに0.17～3.2(Ps·s)であり、その用途が、繰り返し荷重の作用する母材に塗布し、母材の亀裂の開閉により粘性流体が亀裂の内部に吸引されて形成される粘性流体の外表面の凹み及び/又は凹みによって露出した母材の地肌から亀裂の発生又は進展を目視により検出する亀裂の検出方法用であることを特徴とする。

請求項1に記載の本発明によれば、亀裂が懸念される母材に塗布したチクソトロピー指数が0.4～1.5の粘性流体は、亀裂が無い箇所では高粘度でタレを生じることなく母材表面において形状を保持し、繰り返し荷重の作用に伴い開閉する亀裂の近傍では粘性流体のせん断速度が上昇して粘度が低下するため流動性が増し、亀裂のポンプ作用及び毛細管現象によって亀裂近傍の粘性流体が亀裂内に吸引されることも相まって、亀裂近傍の粘性流体には顕著な凹みが形成されるため、この凹み、または凹みによって露出した母材の地肌を観察することにより、母材中の亀裂を目視により容易に検出することができる。

【0008】

請求項2記載の本発明は、粘性流体が、ペーストであることを特徴とする。

請求項2に記載の本発明によれば、チクソトロピー指数が0.4～1.5のペーストを亀裂の検出に用いることができる。

【0009】

請求項3記載の本発明は、粘性流体が、流体と粉体の混合物であることを特徴とする。

請求項3記載の本発明によれば、チクソトロピー指数が0.4～1.5の流体と粉体の混合物を亀裂の検出に用いることができ、かつ粉体により亀裂の進展を抑制することが可能となる。

【0010】

請求項4記載の本発明は、粘性流体が、シリコン系の粘性流体であることを特徴とする。

請求項4に記載の本発明によれば、チクソトロピー指数が0.4～1.5のシリコン

系の粘性流体を亀裂の検出に用いることができる。

【0011】

請求項5記載の本発明は、粘性流体が、白色を含む淡色の粘性流体であることを特徴とする。

請求項5に記載の本発明によれば、母材の亀裂により粘性流体の外表面に形成された凹みや、凹みによって露出した母材の地肌を目視で検出することが容易となる。

【0012】

請求項6記載の本発明は、粘性流体が、想定する母材に加わる繰り返し荷重の周波数を考慮して選定した粘度特性を有する粘性流体であることを特徴とする。

請求項6に記載の本発明によれば、タレを生じることなく母材中の亀裂の発生を検出する粘度特性を有する粘性流体を想定した母材に加わる繰り返し荷重の周波数のもとで、亀裂の検出に用いることができる。

【発明の効果】

【0013】

本発明の亀裂の検出方法用粘性流体によれば、亀裂が懸念される母材に塗布したチクソトロピー指数が $0.4 \sim 1.5$ の粘性流体は、亀裂が無い箇所では高粘度でタレを生じることなく母材表面において形状を保持し、繰り返し荷重の作用に伴い開閉する亀裂の近傍では粘性流体のせん断速度が上昇して粘度が低下するため流動性が増し、亀裂のポンプ作用及び毛細管現象によって亀裂近傍の粘性流体が亀裂内に吸引されることも相まって、亀裂近傍の粘性流体には顕著な凹みが形成されるため、この凹み、または凹みによって露出した母材の地肌を観察することにより、母材中の亀裂を目視により容易に検出することができる。

【0014】

また、粘性流体が、ペーストである場合には、チクソトロピー指数が $0.4 \sim 1.5$ のペーストを亀裂の検出に用いることができる。

【0015】

また、粘性流体が、流体と粉体の混合物である場合には、チクソトロピー指数が $0.4 \sim 1.5$ の流体と粉体の混合物を亀裂の検出に用いることができ、かつ粉体により亀裂の進展を抑制することが可能となる。

【0016】

また、粘性流体が、シリコン系の粘性流体である場合には、チクソトロピー指数が $0.4 \sim 1.5$ のシリコン系の粘性流体を亀裂の検出に用いることができる。

【0017】

また、粘性流体が、白色を含む淡色の粘性流体である場合には、母材の亀裂により粘性流体の外表面に形成された凹みや凹みによって露出した母材の地肌を目視で検出することが容易となる。

【0018】

また、粘性流体が、想定する母材に加わる繰り返し荷重の周波数を考慮して選定した粘度特性を有する粘性流体である場合には、タレを生じることなく母材中の亀裂の発生を検出する粘度特性を有する粘性流体を想定した母材に加わる繰り返し荷重の周波数のもとで、亀裂の検出に用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の実施形態による高チクソトロピック性を有する粘性流体による亀裂検出の作用原理を示す説明図

【図2】本発明の実施形態による高チクソトロピック性を有する粘性流体の各実施例における粘性流体の構成、粘性流体の相対的な粘度を示す表

【図3】粘性流体のみかけ粘度とスピンドルの回転速度の関係を示す特性図

【図4】粘性流体のみかけ粘度とせん断速度の関係を示す特性図

【図5】実施例1の粘性流体粘度の 0.167 倍～実施例2の粘性流体粘度の 6 倍にお

る粘性流体のみかけ粘度とせん断速度の関係を示す特性図

【図 6】同粘度範囲におけるせん断速度別の粘性流体のみかけ粘度と粘性流体のチクソトロピー指数を示す表

【図 7】実施例 1 の粘性流体粘度の 0.25 倍～実施例 2 の粘性流体粘度の 4 倍における粘性流体のみかけ粘度とせん断速度の関係を示す特性図

【図 8】同粘度範囲におけるせん断速度別の粘性流体のみかけ粘度と粘性流体のチクソトロピー指数を示す表

【図 9】実施例 1 の粘性流体粘度の 0.4 倍～実施例 2 の粘性流体粘度の 2.5 倍における粘性流体のみかけ粘度とせん断速度の関係を示す特性図

【図 10】同粘度範囲におけるせん断速度別の粘性流体のみかけ粘度と粘性流体のチクソトロピー指数を示す表

【図 11】亀裂進展試験に用いた切欠き付き平板試験片を示す図

【図 12】比較例 1 と試験 1～5 についての試験結果を示す表

【図 13】比較例 1 における亀裂進展試験中の状態を示す写真

【図 14】試験 1 における亀裂進展試験中の粘性流体の変化を示す写真

【図 15】試験 1 の試験結果より粘性流体の凹み長さを実亀裂長さの関係を示す図

【図 16】試験 2 における亀裂進展試験中の粘性流体の変化を示す写真

【図 17】試験 2 の試験結果より粘性流体の凹み長さを実亀裂長さの関係を示す図

【図 18】試験 3 における亀裂進展試験中の粘性流体の変化を示す写真

【図 19】試験 3 の試験結果より粘性流体の凹み長さを実亀裂長さの関係を示す図

【図 20】試験 4 における亀裂進展試験中の粘性流体の変化を示す写真

【図 21】試験 4 の試験結果より粘性流体の凹み長さを実亀裂長さの関係を示す図

【図 22】試験 5 における亀裂進展試験中の粘性流体の変化を示す写真

【図 23】試験 5 の試験結果より粘性流体の凹み長さを実亀裂長さの関係を示す図

【発明を実施するための形態】

【0020】

図 1 は本発明の実施形態による高チクソトロピック性を有する粘性流体による亀裂検出の作用原理を示す説明図である。

図 1 (a) は、金属素地などの母材 1 の鉛直面に、高チクソトロピック性を有する粘性流体 2 を塗布した状態を示している。なお、粘性流体 2 の塗布は、刷毛塗りやアプリケーション - 塗装のほか、浸漬や吹き付け等の方法によって施工しても良い。単に母材 1 に粘性流体 2 を塗布しただけの状態では、せん断速度がゼロなので粘性流体 2 は高粘度であり、タレや変形を生じることなく形状を保持している。

【0021】

図 1 (b) は、繰り返し荷重の作用によって亀裂 3 が発生して母材 1 の表面で開閉口を始めた亀裂発生初期状態を示している。亀裂口近傍の粘性流体 2 のせん断速度が上がって粘度が下がり、中・低粘度の粘性流体 4 となり流動性が増して、亀裂 3 内に進入しやすくなる。

【0022】

図 1 (c) は、亀裂 3 の開閉口が盛んになった状態を示している。亀裂 3 の開閉口の動きの影響を受ける範囲で粘性流体 2 のせん断速度が上がって粘度が低下し、中・低粘度の粘性流体 4 となり流動性が増して、中・低粘度の粘性流体 4 が亀裂 3 内に流入して外表面に亀裂 3 よりも幅広の凹み 5 を形成しやすくなる。この幅広となった凹み 5 を観察することで母材 1 の亀裂 3 の発生を容易に検出できる。

一方、亀裂 3 からある程度離れた所にある粘性流体 2 は高粘度のままなので、粘性流体 2 全体としてはタレや変形を生じることなく形状は保持される。

【0023】

図 1 (d) は、更に粘性流体 4 の凹み 5 が深くなった状態を示している。ついには亀裂 3 近傍の母材 1 の地肌 6 が露出して見えるようになる。一方、亀裂 3 からある程度離れた所にある粘性流体 2 は高粘度のままなので、粘性流体 2 全体としてはタレや変形を生じる

ことなく形状は保持される。なお、相対的に低粘度な粘性流体 2 を薄めに塗布した場合などには母材 1 の地肌 6 が見えやすくなり更に視認性が良くなる。また、粘性流体 2 の外表面がなるべく平坦になるよう塗布しておくこと、凹み 5 が検出しやすくなる。

【0024】

このように、高チクソトロピック性を有する粘性流体 2 は、亀裂 3 が無くせん断速度が極小（ゼロを含む）の箇所では高粘度を維持してタレを生じることなく母材 1 の表面において形状を保持し、繰り返し荷重の作用に伴い開閉する亀裂 3 の近傍では粘性流体 2 のせん断速度が上昇して粘度が低下するため流動性が増し、亀裂 3 のポンプ作用及び毛細管現象によって亀裂 3 近傍の粘性流体 4 が亀裂 3 内に吸引されることも相まって、亀裂 3 近傍の粘性流体 4 には顕著な幅広の凹み 5 が形成される。従って、高チクソトロピック性を有した粘性流体 2 を繰り返し荷重の作用する母材 1 に塗布し、母材 1 の亀裂 3 の開閉により粘性流体 4 が亀裂 3 の内部に吸引されて形成される粘性流体 4 の外表面の幅広の凹み 5 及び / 又は凹み 5 によって露出した母材 1 の地肌 6 から亀裂 3 の発生又は進展を検出することで、母材 1 中の亀裂 3 を目視により容易に検出することができる。

なお、亀裂 3 が開閉して亀裂 3 近傍における粘性流体 2 のせん断速度が上昇すれば、比較的短時間で外表面に幅広の凹み 5 が形成されるため、亀裂 3 の発生又は進展と検出との間のタイムラグは短い。

【実施例】

【0025】

最初のステップとして、高チクソトロピック性を有した粘性流体 2 と検出対象となる母材 1 を準備する。

図 2 は本発明の実施形態による高チクソトロピック性を有する粘性流体の各実施例における構成と相対的な粘度を示す表である。

高チクソトロピック性を有する粘性流体 2 として、灰白色シリコングリース、または灰白色シリコングリースと透明シリコンオイルの混合物を用いた。このように亀裂検出用の高チクソトロピック性の粘性流体 2 は、比較的容易に入手できるシリコン系の粘性流体（グリースなど）を用いることができる。粘性流体 2 としては、シリコングリースを含むグリース全般及びグリースとオイルの混合物全般、各種クリーム、各種ペーストを用いることができるが、粘度の温度依存性が小さく化学的に安定なシリコングリースが好適である。ただし、粘性流体 2 として対象となるシリコン系の粘性流体である一般的なシリコングリースやシリコンオイル、またはそれらの混合物等のチクソトロピー指数 TI は大きいものから小さいものまで様々あり、検出用のシリコン系の粘性流体としては、絞り込んで使用する必要がある。

また、粘性流体 2 は、白色（淡色）で不透明なほうが、母材 1 の亀裂 3 により粘性流体 2 の外表面に形成された凹み 5 や母材 1 の地肌 6 を目視で検出しやすい。ただし、検出対象となる母材 1 の色や母材 1 の表面に施工された塗膜の色、また着色された色によってはこの限りでない。

【0026】

図 3 は粘性流体のみかけ粘度 η とスピンドルの回転速度 N の関係を示す特性図であり、図 2 記載の実施例 1 ~ 3 の粘性流体 2 について、常温における粘度 η を、B 型回転式粘度計（Fungilab 社製 Viscolead one、R7 スピンドル使用）により測定した結果を示している。

実施例 1 ~ 3 に共通して、スピンドルの回転速度 N が上がりせん断速度が上昇するにつれて粘性流体 2 のみかけ粘度 η は低下しており、両対数座標上で最小二乗法により直線回帰すると実施例 1、2、3 の直線の傾きはそれぞれ -0.82、-0.88、-0.87 となり、高チクソトロピック特性を示している。

また、図 4 は粘性流体のみかけ粘度 η とせん断速度 D の関係を示す特性図であり、図 3 の横軸のスピンドル回転速度 N (rpm) をせん断速度 D (1/s) に換算したものである。

【0027】

10

20

30

40

50

本発明におけるチクソトロピック特性を示すチクソトロピー指数 TI は以下のように定義している。

$TI = -$ [図 4 (両対数座標で表したみかけ粘度 η - せん断速度 D の関係) における回帰直線の傾き]

なお、日本工業規格 $JIS Z 3284 - 1994$ ソルダペーストの 5.2 節では、粘度 - ずり速度 (せん断速度) 曲線からチクソトロピー指数 TI を求める方法が示されており、この方法では特定の 2 点を通る直線の傾きで定義されている。本発明におけるチクソトロピー指数 TI は、この JIS で定める方法と考え方は同じであるが、特定の 2 点を通る直線の傾きで定義するものではない。

【 0028 】

図 5 は実施例 1 の粘性流体粘度の 0.167 倍 ~ 実施例 2 の粘性流体粘度の 6 倍における粘性流体のみかけ粘度 η とせん断速度 D の関係を示す特性図、図 6 は同粘度範囲におけるせん断速度 D 別の粘性流体のみかけ粘度 η と粘性流体のチクソトロピー指数 TI を示す表である。

なお、『接着剤と接着技術』CMC テクニカルライブラリー 272、永田宏二監修、(p. 313 の図 7) には、塗料のせん断速度履歴が記載されており、タレ及び沈降安定性に関して考慮すべきせん断速度の範囲は大凡 0.01 ~ 1 (1 / s)、塗料の搬送・塗装に関して考慮すべきせん断速度の範囲は大凡 10 ~ 100 (1 / s) であるとされている。

これを参考にすると、せん断速度 $D = 0.01 \sim 1$ (1 / s) の範囲が、亀裂 3 の無い箇所に塗布された粘性流体 2 に相当し、垂直面等でもタレを生じずに塗布時の形状を保持し、水分 (雨水、揺水) 等のマイルドな環境要因に耐える機能を発揮する。

また、せん断速度 $D = 10 \sim 100$ (1 / s) の範囲が、亀裂 3 の近傍および亀裂 3 内の粘性流体 2 に相当し、粘度を低下させて流動性を増し、亀裂 3 の内部に吸引されて凹みを生じる機能を発揮する。

【 0029 】

このことから、亀裂 3 の無い箇所におけるせん断速度 D (1 / s) は、 $D = 0.1$ と $D = 1$ とし、亀裂 3 の近傍及び内部のせん断速度 D (1 / s) は、 $D = 10$ と $D = 100$ とした。

【 0030 】

図 5 において、四角は実施例 1 の測定値を、丸は実施例 2 の測定値を、三角は実施例 3 の測定値を示している。また「実施例 2 × 6.0」で示す実線太線は粘度上限、「実施例 1 × 0.167」で示す破線太線は粘度下限を示している。

【 0031 】

チクソトロピー指数 TI の上限値である TI 上限は、粘度上限による直線におけるせん断速度 $D = 1$ (1 / s) と、粘度下限による直線におけるせん断速度 $D = 100$ (1 / s) とによって規定できる。

また、チクソトロピー指数 TI の下限値である TI 下限は、粘度下限による直線におけるせん断速度 $D = 0.1$ (1 / s) と、粘度上限による直線におけるせん断速度 $D = 100$ (1 / s) とによって規定できる。

TI 上限と TI 下限の直線の傾きで示すように、粘性流体 2 のチクソトロピー指数 TI は、0.3 ~ 1.7 である。

【 0032 】

以上のように、粘性流体 2 の高チクソトロピック性を表すチクソトロピー指数 TI が、0.3 ~ 1.7 であれば、亀裂 3 を検出する亀裂検出粘性流体として適している。

【 0033 】

また、粘性流体 2 のみかけ粘度 η を、せん断速度 D が 0.1 (1 / s) 以下のときに 31 (Pa · s) 以上、せん断速度 D が 1 (1 / s) のときに 4.8 ~ 280 (Pa · s) とすることで、亀裂 3 の無い箇所での高粘度を実現でき、タレを生じることなく、形状を保持できる。

10

20

30

40

50

また、粘性流体 2 のみかけ粘度 η を、せん断速度 D が $10 (1/s)$ のときに $0.7 \sim 37 (Pa \cdot s)$ 、せん断速度 D が $100 (1/s)$ のときに $0.11 \sim 4.9 (Pa \cdot s)$ とすることで、亀裂 3 の近傍や内部での粘度を低下させて、粘性流体の流動性を高めて亀裂 3 内に進入しやすくし、粘性流体 4 の外表面に形成された凹み 5 及びノ又は凹み 5 によって露出した母材 1 の地肌 6 によって亀裂 3 を目視検出できる。

【0034】

図 7 は実施例 1 の粘性流体粘度の 0.25 倍～実施例 2 の粘性流体粘度の 4 倍における粘性流体のみかけ粘度 η とせん断速度 D の関係を示す特性図、図 8 は同粘度範囲におけるせん断速度 D 別の粘性流体のみかけ粘度 η と粘性流体のチクソトロピー指数 TI を示す表である。

10

図 6 で示す場合と同様に、亀裂 3 の無い箇所におけるせん断速度 $D (1/s)$ は、 $D = 0.1$ と $D = 1$ とし、亀裂 3 の近傍及び内部のせん断速度 $D (1/s)$ は、 $D = 10$ と $D = 100$ とした。

【0035】

図 7 において、四角は実施例 1 の測定値を、丸は実施例 2 の測定値を、三角は実施例 3 の測定値を示している。また「実施例 2×4.0 」で示す実線太線は粘度上限、「実施例 1×0.25 」で示す破線太線は粘度下限を示している。

【0036】

チクソトロピー指数 TI の上限値である TI 上限は、粘度上限による直線におけるせん断速度 $D = 1 (1/s)$ と、粘度下限による直線におけるせん断速度 $D = 100 (1/s)$)とによって規定できる。

20

また、チクソトロピー指数 TI の下限値である TI 下限は、粘度下限による直線におけるせん断速度 $D = 0.1 (1/s)$ と、粘度上限による直線におけるせん断速度 $D = 100 (1/s)$ とによって規定できる。

TI 上限と TI 下限の直線の傾きで示すように、粘性流体 2 のチクソトロピー指数 TI は、 $0.4 \sim 1.5$ である。

【0037】

以上のように、粘性流体 2 の高チクソトロピック性を表すチクソトロピー指数 TI が、 $0.4 \sim 1.5$ であれば、亀裂 3 を検出する亀裂検出粘性流体として、より適している。

【0038】

また、粘性流体 2 のみかけ粘度 η を、せん断速度 D が $0.1 (1/s)$ 以下のときに $47 (Pa \cdot s)$ 以上、せん断速度 D が $1 (1/s)$ のときに $7.2 \sim 190 (Pa \cdot s)$ とすることで、亀裂 3 の無い箇所での高粘度を実現でき、タレを生じることなく、形状を保持できる。

30

また、粘性流体 2 のみかけ粘度 η を、せん断速度 D が $10 (1/s)$ のときに $1.1 \sim 25 (Pa \cdot s)$ 、せん断速度 D が $100 (1/s)$ のときに $0.17 \sim 3.2 (Pa \cdot s)$ とすることで、亀裂 3 の近傍や内部での粘度を低下させて、粘性流体の流動性を高めて亀裂 3 内に進入しやすくし、粘性流体 4 の外表面に形成された凹み 5 及びノ又は凹み 5 によって露出した母材 1 の地肌 6 によって亀裂 3 を目視検出できる。

【0039】

図 9 は実施例 1 の粘性流体粘度の 0.4 倍～実施例 2 の粘性流体粘度の 2.5 倍における粘性流体のみかけ粘度 η とせん断速度 D の関係を示す特性図、図 10 は同粘度範囲におけるせん断速度 D 別の粘性流体のみかけ粘度 η と粘性流体のチクソトロピー指数 TI を示す表である。

40

図 6 で示す場合と同様に、亀裂 3 の無い箇所におけるせん断速度 $D (1/s)$ は、 $D = 0.1$ と $D = 1$ とし、亀裂 3 の近傍及び内部のせん断速度 $D (1/s)$ は、 $D = 10$ と $D = 100$ とした。

【0040】

図 9 において、四角は実施例 1 の測定値を、丸は実施例 2 の測定値を、三角は実施例 3 の測定値を示している。また「実施例 2×2.5 」で示す実線太線は粘度上限、「実施例

50

「 1×0.4 」で示す破線太線は粘度下限を示している。

【0041】

チクソトロピー指数 TI の上限値である TI 上限は、粘度上限による直線におけるせん断速度 $D = 1 (1/s)$ と、粘度下限による直線におけるせん断速度 $D = 100 (1/s)$ とによって規定できる。

また、チクソトロピー指数 TI の下限値である TI 下限は、粘度下限による直線におけるせん断速度 $D = 0.1 (1/s)$ と、粘度上限による直線におけるせん断速度 $D = 100 (1/s)$ とによって規定できる。

TI 上限と TI 下限の直線の傾きで示すように、粘性流体 2 のチクソトロピー指数 TI は、 $0.5 \sim 1.3$ である。

10

【0042】

以上のように、粘性流体 2 の高チクソトロピック性を表すチクソトロピー指数 TI が、 $0.5 \sim 1.3$ であれば、亀裂 3 を検出する亀裂検出粘性流体として、最も適している。

【0043】

また、粘性流体 2 のみかけ粘度 η を、せん断速度 D が $0.1 (1/s)$ 以下のときに $76 (Pa \cdot s)$ 以上、せん断速度 D が $1 (1/s)$ のときに $11 \sim 120 (Pa \cdot s)$ とすることで、亀裂 3 の無い箇所での高粘度を実現でき、タレを生じることなく、形状を保持できる。

また、粘性流体 2 のみかけ粘度 η を、せん断速度 D が $10 (1/s)$ のときに $1.7 \sim 16 (Pa \cdot s)$ 、せん断速度 D が $100 (1/s)$ のときに $0.27 \sim 2 (Pa \cdot s)$ とすることで、亀裂 3 の近傍や内部での粘度を低下させて、粘性流体の流動性を高めて亀裂 3 内に進入しやすくし、粘性流体 4 の外表面に形成された凹み 5 及び / 又は凹み 5 によって露出した母材 1 の地肌 6 によって亀裂 3 を目視検出できる。

20

【0044】

図 11 は亀裂進展試験に用いた切欠き付き平板試験片を示す図である。母材 (試験片) 1 には、JIS SM490A 鋼製の板厚 5 mm の平板試験片中央部に、長さ 10 mm × 幅 0.3 mm の切欠きを加工したものをを用いた。

【0045】

次のステップとして、亀裂 3 の発生が予測される試験片 1 の予測部位を特定する。

ここでは、試験片 1 の中央部の切欠き端の両側部分を予測部位として特定した。

30

【0046】

次のステップとして、特定した試験片 1 の予測部位に粘性流体 2 を塗布する。

実施例 1 ~ 3 は、図 2 に示す粘性流体 2 を図 11 に示す試験片 1 に塗布して試験を行ったものである。粘性流体 2 は、プラスチック板の簡易アプリケーションを用いて、粘性流体 2 の厚さが約 0.7 mm となるように試験片 1 に塗布した。

【0047】

次のステップとして、粘性流体 2 の塗布された試験片 1 に繰り返し荷重が作用する。

試験機には、電気 - 油圧サーボ式疲労試験機 (島津製作所製、動的容量 10 tonf) を用い、比較例 1 (比較試験)、実施例 1 の粘性流体 2 を用いた試験 1、実施例 2 の粘性流体 2 を用いた試験 2、実施例 3 の粘性流体 2 を用いた試験 3 ~ 5 を行った。試験条件は、公称応力レンジ $\sigma_n = 104 MPa$ 、応力比 $R = 0$ (完全片振り)、荷重周波数 f (比較例 1 及び試験 1 ~ 3 は $f = 4.2 Hz$ 、試験 4 は $f = 10.3 Hz$ 、試験 5 は $f = 20.6 Hz$) とした。なお、試験 1 ~ 試験 5 では粘性流体 2 を鉛直面に塗布し、タレの有無も調べた。

40

【0048】

次のステップとして、予測部位における粘性流体 2 の外表面の凹み 5 及び / 又は凹み 5 によって露出した試験片 1 の地肌 6 から亀裂 3 の発生を目視により検出する。

図 12 は比較例 1 と試験 1 ~ 5 についての試験結果を示す表である。なお、比較例 1 は、粘性流体 2 を塗布せず、金属素地のままで試験を行ったものである。

また、図 13 は比較例 1 における亀裂進展試験中の状態を示す写真、図 14 は試験 1 に

50

における亀裂進展試験中の粘性流体の変化を示す写真、図 1 5 は試験 1 の試験結果より粘性流体の凹み長さの実亀裂長さの関係を示す図、図 1 6 は試験 2 における亀裂進展試験中の粘性流体の変化を示す写真、図 1 7 は試験 2 の試験結果より粘性流体の凹み長さの実亀裂長さの関係を示す図、図 1 8 は試験 3 における亀裂進展試験中の粘性流体の変化を示す写真、図 1 9 は試験 3 の試験結果より粘性流体の凹み長さの実亀裂長さの関係を示す図、図 2 0 は試験 4 における亀裂進展試験中の粘性流体の変化を示す写真、図 2 1 は試験 4 の試験結果より粘性流体の凹み長さの実亀裂長さの関係を示す図、図 2 2 は試験 5 における亀裂進展試験中の粘性流体の変化を示す写真、図 2 3 は試験 5 の試験結果より粘性流体の凹み長さの実亀裂長さの関係を示す図である。

【 0 0 4 9 】

比較例 1 において、図 1 3 は、荷重繰り返し数 $N = 480000$ 回で切欠きの両側に約 10 mm の亀裂 3 が進展している状態を撮影した写真であるが、亀裂 3 はほとんど視認できない。このように、比較例 1 では、亀裂 3 がある程度進展しても、目視による検出は困難だった。

【 0 0 5 0 】

実施例 1 (低粘度) の粘性流体 2 を用いた試験 1 において、図 1 4 (a) は荷重繰り返し数 $N = 192000$ 回、(b) は荷重繰り返し数 $N = 480000$ 回、(c) は荷重繰り返し数 $N = 576000$ 回、(e) は荷重繰り返し数 $N = 648000$ 回における状態を撮影した写真であり、(d) は (c) の一部拡大写真、(f) は (e) の一部拡大写真である。

また、図 1 5 において、丸は切欠きの左側の凹み 5 の長さの実亀裂長さの関係を、四角は切欠きの右側の凹み 5 の長さの実亀裂長さの関係を示している。

図 1 4 及び図 1 5 から、亀裂 3 の進展に従って粘性流体表面に明瞭な凹み 5 が観察されており、粘性流体 2 の追随性が良好であることが分かる。

また、図 1 4 (d) 及び (f) は、左側の亀裂付近に照明を当てて撮影したもので、凹み 5 の奥に母材 1 の地肌 6 が見えている。このように照明を当てることで粘性流体 2 の凹み 5 や母材 1 の地肌 6 を検出しやすくなる。さらに、照明の種類や照射範囲・照射角度を調整することによって、より一層検出しやすい状態にすることができる。

なお、亀裂 3 の無い箇所 (健全部) に塗布された粘性流体端部で塗布直後に若干のタレが認められたが、試験中にタレは生じなかった。

【 0 0 5 1 】

実施例 2 (中粘度) の粘性流体 2 を用いた試験 2 において、図 1 6 (a) は荷重繰り返し数 $N = 215000$ 回、(b) は荷重繰り返し数 $N = 480000$ 回、(d) は荷重繰り返し数 $N = 624000$ 回、(f) は荷重繰り返し数 $N = 648000$ 回における状態を撮影した写真であり、(c) は (b) の一部拡大写真、(e) は (d) の一部拡大写真である。

また、図 1 7 において、丸は切欠きの左側の凹み 5 の長さの実亀裂長さの関係を、四角は切欠きの右側の凹み 5 の長さの実亀裂長さの関係を示している。

図 1 6 及び図 1 7 から、亀裂 3 の進展に従って粘性流体表面に明瞭な凹み 5 が観察されており、粘性流体 2 の追随性が良好であることが分かる。

また、図 1 6 (c) は、中央付近に照明を当てて撮影したもので、凹み 5 の奥に母材 1 の地肌 6 が見えている。また、図 1 6 (e) は、左側の亀裂付近に照明を当てて撮影したもので、凹み 5 の奥に母材 1 の地肌 6 が見えている。このように照明を当てることで粘性流体 2 の凹み 5 や母材 1 の地肌 6 を検出しやすくなる。さらに、照明の種類や照射範囲・照射角度を調整することによって、より一層検出しやすい状態にすることができる。

なお、健全部に塗布された粘性流体 2 のタレはまったく無かった。

【 0 0 5 2 】

実施例 3 (高粘度) の粘性流体 2 を用いた試験 3 (荷重周波数 $f = 4.2\text{ Hz}$) において、図 1 8 (a) は荷重繰り返し数 $N = 624000$ 回、(c) は荷重繰り返し数 $N = 654000$ 回における状態を撮影した写真であり、(b) は (a) の一部拡大写真、(d

10

20

30

40

50

)は(c)の一部拡大写真である。

また、図19において、丸は切欠きの左側の凹み5の長さを実亀裂長さの関係を、四角は切欠きの右側の凹み5の長さを実亀裂長さの関係を示している。

図18及び図19から、実亀裂長さが10mm近くになってから粘性流体表面に凹み5が観察されたが、亀裂3への追従性が必ずしも十分とはいえないことが分かる。なお、粘性流体2の凹み5の長さを実亀裂長さとの誤差の最大値は10.25mmであった。

また、図18(b)は、中央付近に照明を当てて撮影したものである。また、図18(d)は、右側の亀裂3の付近に照明を当てて撮影したもので、凹み5の奥に母材1の地肌6が見えている。このように照明を当てることで粘性流体2の凹み5や母材1の地肌6を検出しやすくでき、照明の種類や照射範囲・照射角度を調整することによって、より一層検出しやすい状態にすることができる。

なお、健全部に塗布された粘性流体2のタレはまったく無かった。

【0053】

実施例3(高粘度)の粘性流体2を用いた試験4(荷重周波数 $f = 10.3 \text{ Hz}$)において、図20(a)は荷重繰り返し数 $N = 660000$ 回における状態を撮影した写真であり、(b)は(a)の一部拡大写真である。

また、図21において、丸は切欠きの左側の凹み5の長さを実亀裂長さの関係を、四角は切欠きの右側の凹み5の長さを実亀裂長さの関係を示している。

図20及び図21から、実亀裂長さが5mm以下の初期段階でも粘性流体表面に凹み5が観察され、亀裂3への追従性は試験3(荷重周波数 $f = 4.2 \text{ Hz}$)と比べて大幅に改善されていることが分かる。なお、粘性流体2の凹み5の長さを実亀裂長さとの誤差の最大値は6.04mmであった。

また、図20(b)は、左側の亀裂3の付近に照明を当てて撮影したもので、凹み5の奥に母材1の地肌6が見えている。このように照明を当てることで粘性流体2の凹み5や母材1の地肌6を検出しやすくでき、照明の種類や照射範囲・照射角度を調整することによって、より一層検出しやすい状態にすることができる。

なお、健全部に塗布された粘性流体2のタレはまったく無かった。

【0054】

実施例3(高粘度)の粘性流体2を用いた試験5(荷重周波数 $f = 20.6 \text{ Hz}$)において、図22(a)は荷重繰り返し数 $N = 708000$ 回における状態を撮影した写真であり、(b)は(a)の一部拡大写真である。

また、図23において、丸は切欠きの左側の凹み5の長さを実亀裂長さの関係を、四角は切欠きの右側の凹み5の長さを実亀裂長さの関係を示している。

図22及び図23から、実亀裂長さが5mm以下の初期段階でも粘性流体表面に凹み5が観察され、亀裂3への追従性は試験3(荷重周波数 $f = 4.2 \text{ Hz}$)と比べて大幅に改善されていることが分かる。なお、粘性流体2の凹み5の長さを実亀裂長さとの誤差の最大値は4.29mmであった。

また、図22(b)は、左側の亀裂3の付近に照明を当てて撮影したもので、凹み5の奥に母材1の地肌6が見えている。このように照明を当てることで粘性流体2の凹み5や母材1の地肌6を検出しやすくでき、照明の種類や照射範囲・照射角度を調整することによって、より一層検出しやすい状態にすることができる。

なお、健全部に塗布された粘性流体2のタレはまったく無かった。

【0055】

試験3~5の結果から、塗布する粘性流体2の相対的な粘度が実施例3のように大きい場合において、試験3(荷重周波数 $f = 4.2 \text{ Hz}$)のように母材1に加わる繰り返し荷重の周波数が低いときには粘性流体2の凹み5による亀裂検出効果が望めないが、試験4(荷重周波数 $f = 10.3 \text{ Hz}$)又は試験5(荷重周波数 $f = 20.6 \text{ Hz}$)のように荷重の周波数が高いときには亀裂3の近傍や内部における粘性流体2のせん断速度が増大して見かけ粘度が低下し、粘性流体2の凹み5による亀裂検出効果が大きく改善されることが分かる。

10

20

30

40

50

したがって、亀裂3の検出に用いる高チクソトロピック性を有した粘性流体2の相対的な粘度を選定する際には、母材1に加わる主要な繰り返し荷重の周波数が粘性流体2のせん断速度および見かけ粘度に及ぼす影響を考慮することが望ましい。

すなわち、母材1に加わる繰り返し荷重の周波数が粘性流体2のせん断速度及びみかけ粘度に及ぼす影響を、既知である粘性流体2の高チクソトロピック粘度特性に基づいて考慮し、粘性流体2の相対的な粘度を母材1に加わる繰り返し荷重の周波数に応じて適宜増減することによって、タレを生じることなく母材1中の亀裂3の発生を検出する粘性流体2をより適切に選定することができる。

また、母材1に加わる繰り返し荷重の周波数を計測または予測し、計測値または予測値が所定値以上の場合には、相対的に高粘度の粘性流体2を選定し、計測値または予測値が所定値未満の場合には、相対的に低粘度又は中粘度の粘性流体2を選定してもよい。

【0056】

試験1～5のように、高チクソトロピック性を有した粘性流体2と母材(試験片)1を準備するステップと、亀裂3の発生が予測される母材1の予測部位を特定するステップと、特定した母材1の予測部位に粘性流体2を塗布するステップと、粘性流体2の塗布された母材1に繰り返し荷重が作用するステップと、予測部位における粘性流体2の外表面の凹み5及び/又は凹み5によって露出した母材1の地肌6から亀裂3の発生を目視により検出するステップとを備えることで、あらかじめ亀裂3の発生が予測される部位に粘性流体2を塗布することができ、特定した母材1の予測部位に塗布した高チクソトロピック性を有した粘性流体2は、亀裂3が無い箇所では高粘度でタレを生じることなく母材1の表面において形状を保持し、繰り返し荷重の作用に伴い開閉する亀裂3の近傍では粘性流体2のせん断速度が上昇して粘度が低下するため流動性が増し、亀裂3のポンプ作用及び毛细管現象によって亀裂3近傍の粘性流体4が亀裂3内に吸引されることも相まって、亀裂3近傍の粘性流体4には顕著な凹み5が形成されるため、この凹み5、または凹み5によって露出した母材1の地肌6を観察することにより、母材1中の亀裂3が発生した箇所を目視により容易に検出することができる。なお、亀裂3の発生が予測される母材1の予測部位とは、亀裂3の発生が予測される予測箇所又は亀裂3の発生が予測される予測箇所とその周辺を含む部分をいう。

また、粘性流体2は塗料のようにプラスト処理や脱脂、化成処理等の特別な塗装前下地処理を行う必要はない。よって、特定した母材1の予測部位に粘性流体2を塗布するステップを実行するに当たり、粘性流体2を塗布する前の母材1に対する塗装前下地処理を行わず、作業時間を短縮することができる。

また、粘性流体2は、母材1の既存塗膜上に重ね塗りが可能である。よって、母材1が塗装されていたとしても、特定した母材1の予測部位に粘性流体2を塗布するステップにおいて、粘性流体2を母材1に施工済みの塗膜の上に重ねて塗布することができ、母材1の既存の塗膜を剥がす作業が不要であり、作業時間を短縮することができる。

また、特定した母材1の予測部位に粘性流体2を塗布するステップを実行するに当たり、粘性流体2を塗布する前の母材1又は母材1に施工済みの塗膜に対し、粘性流体2の色と異なる色を着色してもよい。この場合、粘性流体2の色と母材1の地肌6又は塗膜の着色した色とのコントラストによって、母材1の亀裂3の進展により粘性流体2に形成された凹み5の奥に母材1の地肌6又は塗膜が見えた場合の視認性が向上する。なお、母材1又は母材1に施工済みの塗膜に対する着色は、赤色塗料等で粘性流体2の色と対照的な色をつけることが好ましく、フェルトペンなどで簡易的におこなってもよい。

また、亀裂3の発生を目視により検出するステップで亀裂3の発生を検出した後、塗布した粘性流体2を除去するステップをさらに備えることができる。母材1に塗布した高チクソトロピック性の粘性流体2は、堅固な塗膜が形成されるため除去するには相応の手間と時間がかかる塗料とは違い、布等で拭き取るだけで簡単に除去することができる。

また、高チクソトロピック性を有した粘性流体2と母材1を準備するステップにおいて粘性流体2を選定するに当たり、母材1に加わる繰り返し荷重の周波数が粘性流体2のせん断速度及びみかけ粘度に及ぼす影響を、既知である粘性流体2の高チクソトロピック粘度

特性に基づいて考慮し、粘性流体 2 の相対的な粘度を母材 1 に加わる繰り返し荷重の周波数に応じて適宜増減する場合には、タレを生じることなく母材 1 中の亀裂 3 の発生を検出する粘性流体 2 をより適切に選定することができる。

さらに、母材 1 に加わる繰り返し荷重の周波数を計測または予測し、計測値または予測値が所定値以上の場合には、相対的に高粘度の粘性流体 2 を選定し、計測値または予測値が所定値未満の場合には、相対的に低粘度又は中粘度の粘性流体 2 を選定してもよい。

【 0 0 5 7 】

本実施例では、粘性流体 2 としてシリコングリースを用いたが、粘性流体 2 は、高チクソトロピック性を有したペーストであってもよく、その場合は、高チクソトロピック性を有したペーストを亀裂 3 の検出に用いることができる。

また、粘性流体 2 は、流体と粉体（アルミナ等の金属酸化物など、母材 1 よりも高硬度かつ高弾性率の粒子）の混合物であってもよく、その場合は、高チクソトロピック性を有した流体と粉体（粒子）の混合物を亀裂 3 の検出に用いることができる。この場合、亀裂 3 内に粘性流体 2 とともに入り込んだ粉体（粒子）が所定の硬度や靱性を有している場合、亀裂 3 の開閉に伴う粉体（粒子）により削られた母材 1 の組織の変色（黒色）による亀裂 3 の検出の促進や、亀裂 3 の間に粉体が挟まり亀裂 3 の進展を抑制する効果を期待できる。

また、亀裂 3 の進展に伴いペーストの外表面に生ずる凹み 5 は、粉体の亀裂 3 の進展抑制効果の度合いによっても異なってくる。よく進展抑制効果が効いた場合は、亀裂 3 に入り込んだ粉体が亀裂 3 の開閉に伴い母材 1 を削って生じた母材粉の量が多くなり、ペーストの外表面は凸状に黒く盛り上がって来る場合もある。

母材 1 の材料は、主として金属材料が対象となり得るがセラミックスや樹脂、繊維強化樹脂等の金属材料以外の材料であってもよい。

また、粉体（粒子）としては、アルミナ、シリカ、窒化ケイ素、炭化ケイ素、ジルコニア、炭化ジルコニウム、炭化ホウ素、窒化ホウ素、炭化チタン、炭化タングステン、超硬合金、白金元素（ルテニウム、ロジウム、パラジウム、オスミウム、イリジウム、白金）、鉄、鋼、アルミニウム、アルミニウム合金、窒化アルミニウム、イットリア、マグネシウム、マグネシウム合金、チタン、チタン合金、酸化チタン、銅、銅合金、ダイヤモンド、炭素、及び炭素繊維の 1 種以上を含むことが好ましく、粉体（粒子）が、対象とする亀裂 3 の開口寸法よりも大きい粒径の粒子を含む粉体（粒子）であって、メッシュサイズ 20 μm のふるいを通る粒径とすることが好ましい。

この亀裂 3 の進展を抑制する効果を発揮するペーストの条件を整理すると、ペーストが、母材 1 の硬度以上の硬度を有する粉体（粒子）と粘性流体 2 とを混合した高チクソトロピック性を有したペーストであること、又はペーストが、母材 1 の剛性以上の剛性を有する粉体（粒子）と粘性流体 2 とを混合した高チクソトロピック性を有したペーストであることである。

これらの亀裂 3 の進展を抑制するペーストによれば、母材 1 の硬度以上の硬度を有する粉体（粒子）と粘性流体 2 とを混合した高チクソトロピック性を有した進展抑制ペーストとした場合は、亀裂 3 が無い箇所では高粘度でタレを生じることなく母材 1 表面において形状や均質性を保持し、亀裂 3 が発生して開閉口を始めると亀裂口近傍でのせん断速度が上がった箇所では粘度が低下して流動性が増すことで亀裂 3 内に粉体（粒子）が進入しやすくなり、亀裂 3 に進入した粉体（粒子）のくさび効果によって亀裂 3 の進展を抑制できる。また、母材 1 の剛性以上の剛性を有する粉体（粒子）と粘性流体 2 とを混合した高チクソトロピック性を有した進展抑制ペーストとした場合は、さらに閉じようとする亀裂 3 面の母材 1 の剛性に負けて粉体（粒子）がつぶれて変形することなく、亀裂 3 に進入した粉体（粒子）のくさび効果によって亀裂 3 の進展を抑制できる。

また、亀裂 3 の進展を抑制する効果を発揮する粉体（粒子）と粘性流体 2 とを混合したペーストを選定するに当たっては、母材 1 に加わる繰り返し荷重の周波数がペーストのせん断速度及びみかけ粘度に及ぼす影響を考慮して選定することもできる。

なお、亀裂 3 の進展を抑制する効果を発揮するペーストの高チクソトロピック性を表す

10

20

30

40

50

チクソトロピー指数 TI 、みかけ粘度 η とせん断速度 D との関係は、前記した数値とは若干異なってくる。

この場合、チクソトロピー指数 TI は、 $0.3 \sim 1.6$ が好ましい。

また、ペーストのみかけ粘度 η を、せん断速度 D が $0.1 (1/s)$ のときに $88 (Pa \cdot s)$ 以上、せん断速度 D が $1 (1/s)$ のときに $13 \sim 490 (Pa \cdot s)$ とすることが好ましい。

また、みかけ粘度 η を、せん断速度 D が $10 (1/s)$ のときに $2.1 \sim 76 (Pa \cdot s)$ 、せん断速度 D が $100 (1/s)$ のときに $0.33 \sim 12 (Pa \cdot s)$ とすることが好ましい。

【0058】

本実施例では、亀裂 3 の発生が予測される母材 1 を準備したが、亀裂 3 の発生した母材 1 を用いることもできる。すなわち、高チクソトロピック性を有した粘性流体 2 と亀裂 3 の発生した母材 (試験片) 1 を準備するステップと、母材 1 の亀裂 3 の亀裂部位及び / 又は亀裂 3 の進展予測部位に粘性流体 2 を塗布するステップと、粘性流体 2 の塗布された母材 1 に繰り返し荷重が作用するステップと、粘性流体 4 の外表面の凹み 5 及び / 又は凹み 5 によって露出した母材 1 の地肌 6 から亀裂 3 の進展を目視により検出するステップとを備えることで、母材 1 の亀裂 3 に塗布した高チクソトロピック性を有した粘性流体 2 は、亀裂 3 が無い箇所では高粘度でタレを生じることなく母材 1 の表面において形状を保持し、繰り返し荷重の作用に伴い開閉する亀裂 3 の近傍では粘性流体 2 のせん断速度が上昇して粘度が低下するため流動性が増し、亀裂 3 のポンプ作用及び毛細管現象によって亀裂 3 近傍の粘性流体 4 が亀裂 3 内に吸引されることも相まって、亀裂 3 近傍の粘性流体 4 には顕著な凹み 5 が形成されるため、この凹み 5、または凹み 5 によって露出した母材 1 の地肌 6 を観察することにより、母材 1 中の亀裂 3 の進展を目視により容易に検出することができる。

また、粘性流体 2 は塗料のように特別な塗装前下地処理を行う必要はない。よって、母材 1 の亀裂 3 の進展予測部位に粘性流体 2 を塗布するステップを実行するに当たり、粘性流体 2 を塗布する前の母材 1 に対する塗装前下地処理を行わず、作業時間を短縮することができる。なお、粘性流体 2 が塗布される亀裂 3 の亀裂部位とは、亀裂 3 とその周辺を含む部分をいい、亀裂 3 の進展予測部位とは、亀裂 3 の進展が予測される進展予測箇所とその周辺を含む部分をいう。

また、粘性流体 2 は、母材 1 の既存塗膜上に重ね塗りが可能である。よって、母材 1 が塗装されていたとしても、母材 1 の亀裂 3 の亀裂部位及び / 又は亀裂 3 の進展予測部位に粘性流体 2 を塗布するステップにおいて、粘性流体 2 を母材 1 に施工済みの塗膜の上に重ねて塗布することができ、母材 1 の既存の塗膜を剥がす作業が不要であり、作業時間を短縮することができる。

また、母材 1 の亀裂 3 の亀裂部位及び / 又は亀裂 3 の進展予測部位に粘性流体 2 を塗布するステップを実行するに当たり、粘性流体 2 を塗布する前の母材 1 又は母材 1 に施工済みの塗膜に対し、粘性流体 2 の色と異なる色を着色してもよい。この場合、粘性流体 2 の色と母材 1 の地肌 6 又は塗膜の着色した色とのコントラストによって、母材 1 の亀裂 3 の進展により粘性流体 2 に形成された凹み 5 の奥に母材 1 の地肌 6 又は塗膜が見えた場合の視認性が向上する。なお、母材 1 又は母材 1 に施工済みの塗膜に対する着色は、赤色塗料等で粘性流体 2 の色と対照的な色をつけることが好ましく、フェルトペンなどで簡易的にもよい。

また、亀裂 3 の進展を目視により検出するステップで亀裂 3 の進展を検出した後、塗布した粘性流体 2 を除去するステップをさらに備えることができる。母材 1 に塗布した高チクソトロピック性の粘性流体 2 は、堅固な塗膜が形成されるため除去するには相応の時間と時間がかかる塗料とは違い、布等で拭き取るだけで簡単に除去することができる。

また、高チクソトロピック性を有した粘性流体 2 と亀裂 3 の発生した母材 1 を準備するステップにおいて粘性流体 2 を選定するに当たり、母材 1 に加わる繰り返し荷重の周波数が粘性流体 2 のせん断速度及びみかけ粘度に及ぼす影響を、既知である粘性流体 2 の高チク

10

20

30

40

50

ソトロピック粘度特性に基づいて考慮し、粘性流体 2 の相対的な粘度を母材 1 に加わる繰り返し荷重の周波数に応じて適宜増減する場合には、タレを生じることなく母材 1 中の亀裂 3 の進展を検出する粘性流体 2 をより適切に選定することができる。

さらに、母材 1 に加わる繰り返し荷重の周波数を計測または予測し、計測値または予測値が所定値以上の場合には、相対的に高粘度の粘性流体 2 を選定し、計測値または予測値が所定値未満の場合には、相対的に低粘度又は中粘度の粘性流体 2 を選定してもよい。

【 0 0 5 9 】

本実施例では、母材（試験片）1 に金属を用いたが、金属に生じた疲労亀裂でなくても亀裂 3 が開閉すれば検出できるので、母材 1 は、プラスチック、複合材料（FRP 等）、コンクリート、木材、セラミックスのうちから選ぶこともでき、金属に限らず、繰り返し荷重により亀裂 3 が発生又は進展する可能性がある母材 1 を検査対象とすることができる。つまり、繰り返し荷重により開閉する疲労亀裂（金属、プラスチック、複合材料、セラミックスなど）と繰り返し荷重により開閉する亀裂（金属、プラスチック、コンクリート、木材、セラミックスなど）を本発明の適用対象とできる。

なお、粘性流体 2 の塗布は母材 1 の亀裂 3 の発生が予測される予測部位とさらにその周辺、また母材 1 の亀裂 3 の亀裂部位とさらにその周辺及び / 又は亀裂 3 の進展予測部位とさらにその周辺に広く塗布することも可能である。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 6 0 】

本発明は、船舶、海洋構造物、橋梁、車両、工作機械、建築物等の構造物において、亀裂の発生又は進展が懸念される部位に対して適用することができる。

【符号の説明】

【 0 0 6 1 】

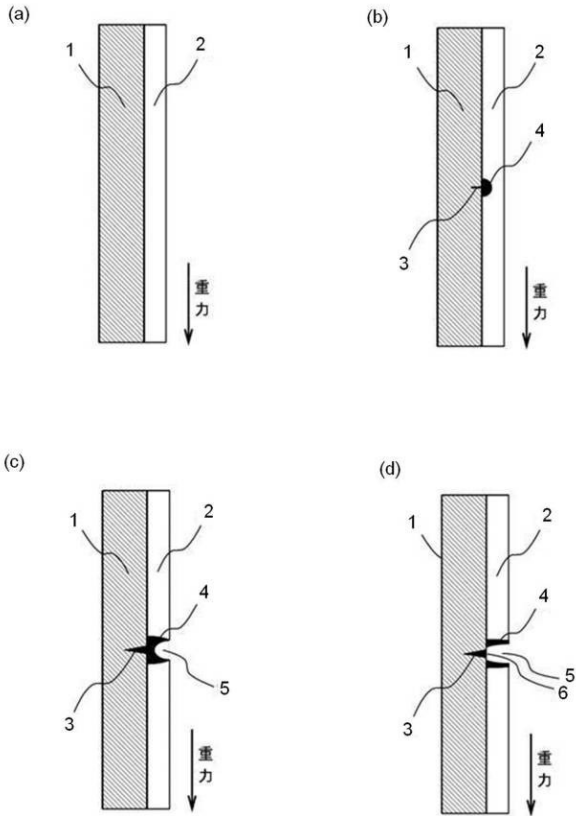
- 1 母材
- 2 粘性流体
- 3 亀裂
- 4 中・低粘度の粘性流体
- 5 凹み
- 6 地肌

10

20

30

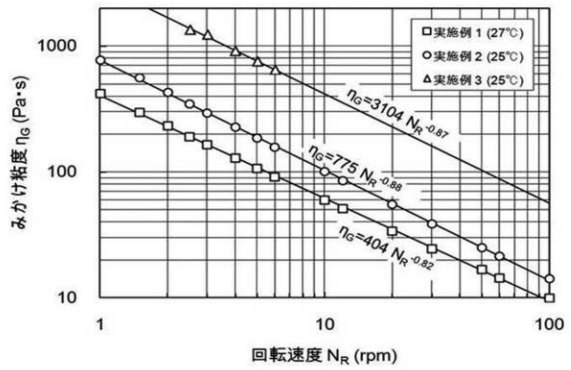
【 図 1 】



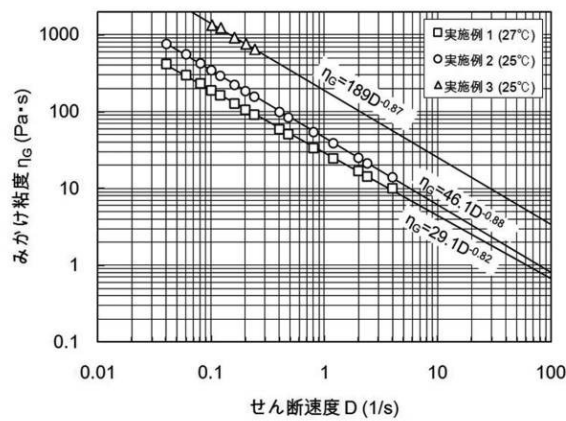
【 図 2 】

	粘性流体の構成	相対的な粘度
実施例1	中粘度シリコーングリース +シリコーンオイル	低粘度
実施例2	中粘度シリコーングリース	中粘度
実施例3	高粘度シリコーングリース	高粘度

【 図 3 】



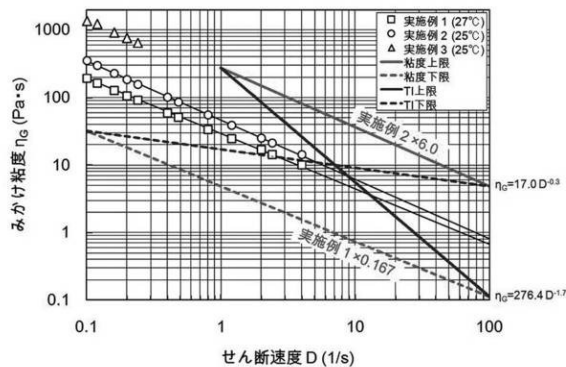
【 図 4 】



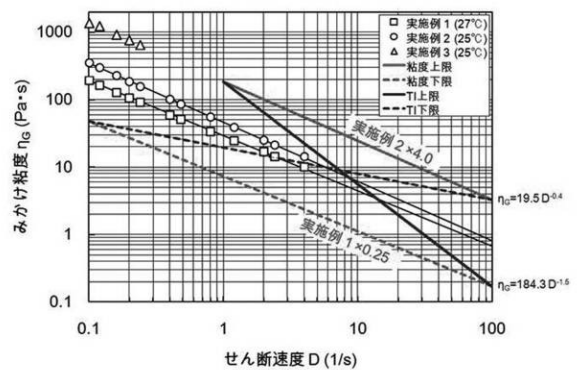
【 図 6 】

粘性流体の位置	せん断速度 D (1/s)	必要な機能	粘性流体のみかけ粘度 ηa (Pa·s)	粘性流体のチクルロビー指数 TI
亀裂のない箇所	~0.1	高粘度、形状保持 (穴しぬ、凹まない)	31 ≤ ηa	0.3 ≤ TI ≤ 1.7
	1		4.8 ≤ ηa ≤ 280	
	10		0.7 ≤ ηa ≤ 37	
亀裂の近傍および内部	100	中・低粘度、流動性 (亀裂に進入、凹み形成)	0.11 ≤ ηa ≤ 4.8	

【 図 5 】



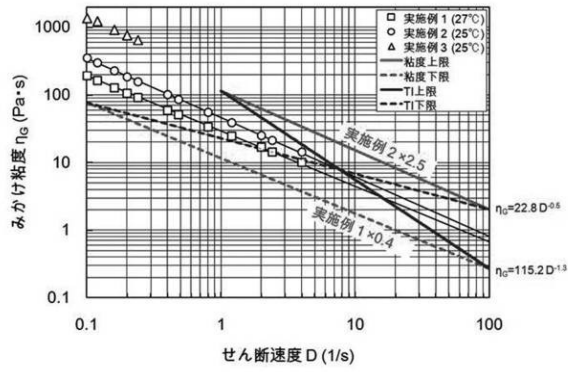
【 図 7 】



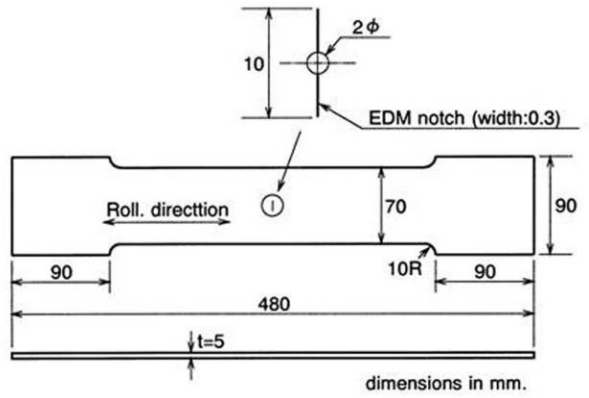
【 図 8 】

粘性流体の位置	せん断速度 D (1/s)	必要な機能	粘性流体のみかけ粘度 ηa (Pa·s)	粘性流体のチクルロビー指数 TI
亀裂のない箇所	~0.1	高粘度、形状保持 (穴しぬ、凹まない)	47 ≤ ηa	0.4 ≤ TI ≤ 1.5
	1		7.2 ≤ ηa ≤ 190	
	10		1.1 ≤ ηa ≤ 25	
亀裂の近傍および内部	100	中・低粘度、流動性 (亀裂に進入、凹み形成)	0.17 ≤ ηa ≤ 3.2	

【 図 9 】



【 図 1 1 】



【 図 1 0 】

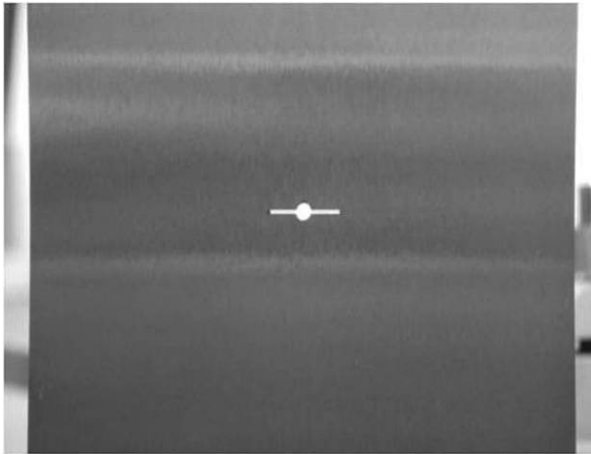
粘性流体の位置	せん断速度 D (1/s)	必要な機能	粘性流体のみかけ粘度 ηa (Pa·s)	粘性流体のチヤウトロピー指数 T1
亀裂の無い箇所	~0.1	高粘度、形状保持 (欠け、凹まない)	76 ≤ ηa	0.5 ≤ T1 ≤ 1.3
	1		11 ≤ ηa ≤ 120	
亀裂の近傍および内部	10	中・低粘度、流動性 (亀裂に進入、凹み形成)	1.7 ≤ ηa ≤ 16	
	100		0.27 ≤ ηa ≤ 0.2	

【 図 1 2 】

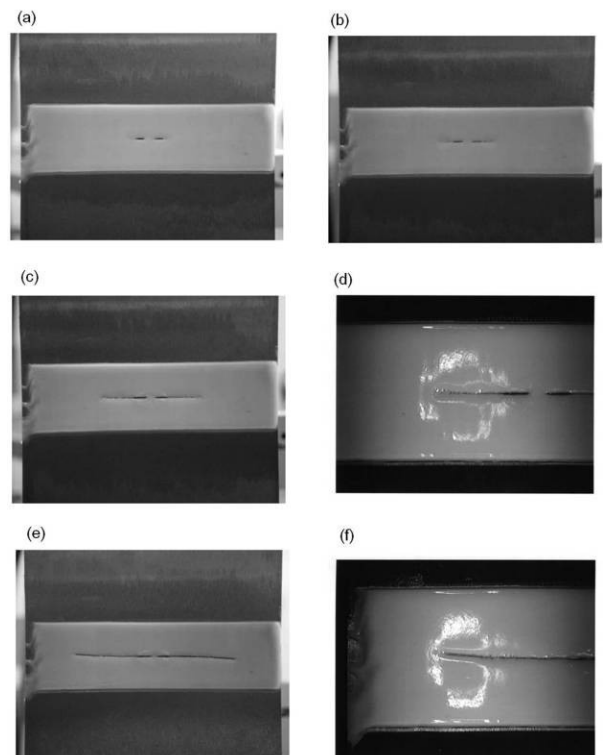
	粘性流体	相対的な粘度	荷重周波数 f (Hz)	タレの有無	凹みの追従性	凹み長さの最大誤差 (mm)	破断寿命 Nf (回)
比較例1	---	---	4.2	---	---	---	547236
試験1	実施例1	低粘度	4.2	僅か	◎	1.14	653772
試験2	実施例2	中粘度	4.2	なし	◎	2.01	652752
試験3	実施例3	高粘度	4.2	なし	×	10.25	662508
試験4			10.3	なし	△	6.04	673830
試験5			20.6	なし	○	4.29	715320

(良好)◎>○>△>×(不良)

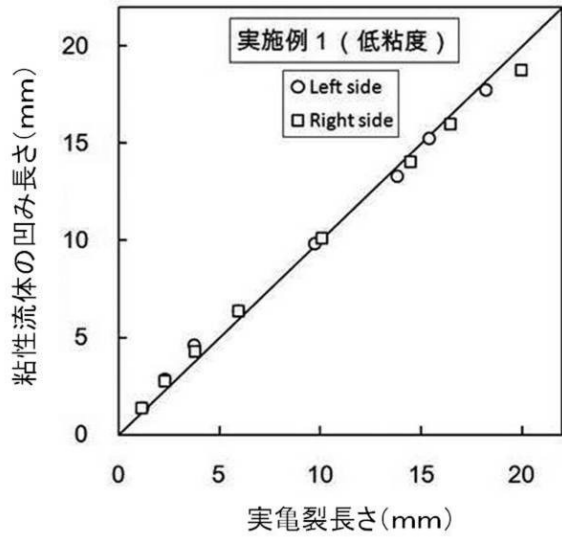
【 図 1 3 】



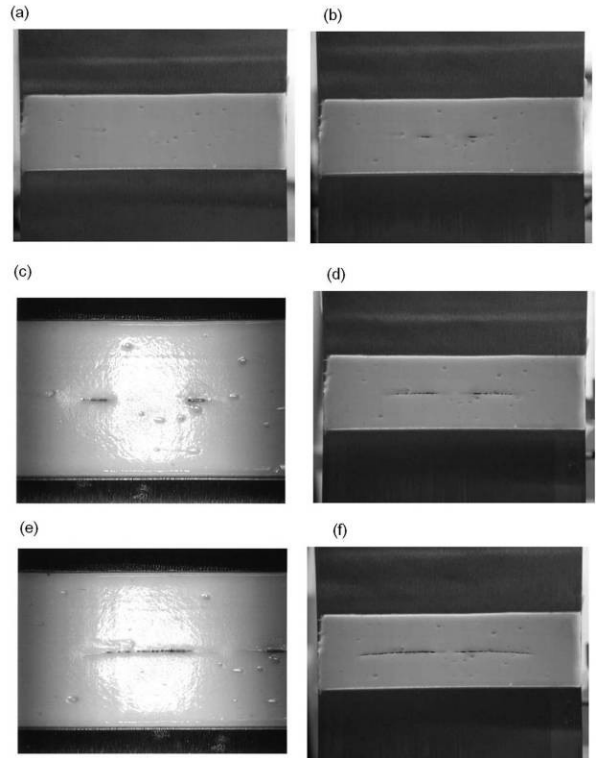
【 図 1 4 】



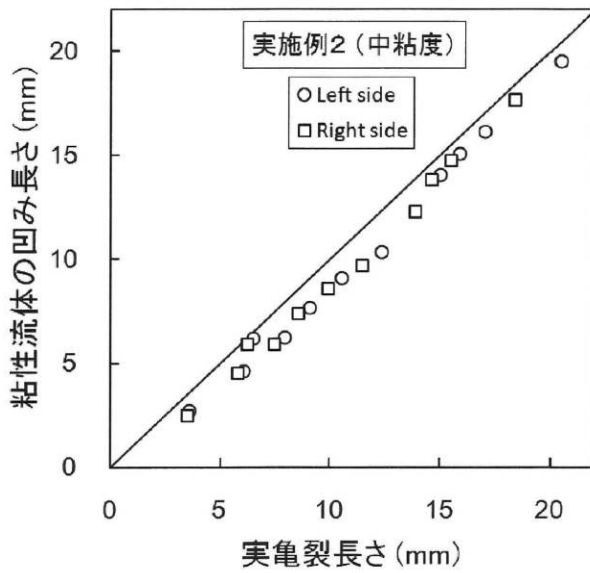
【 図 1 5 】



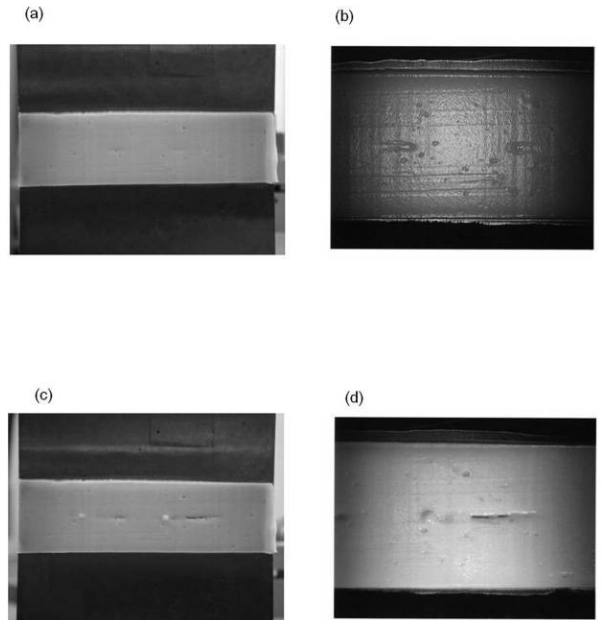
【 図 1 6 】



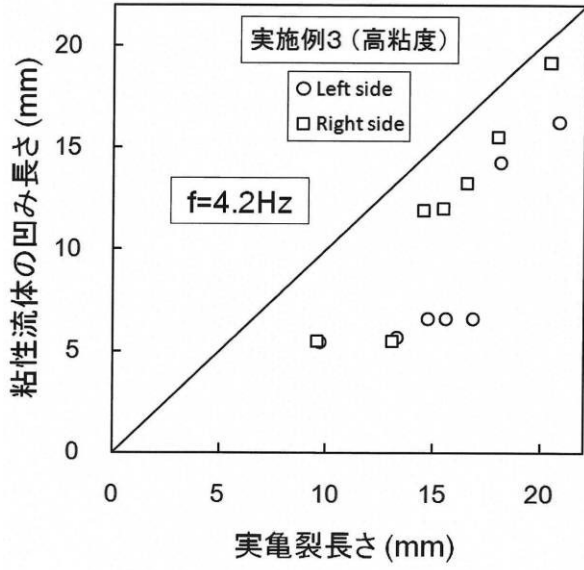
【 図 1 7 】



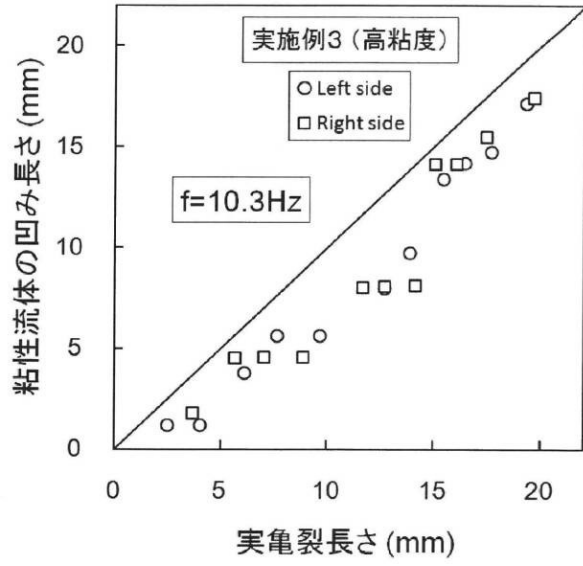
【 図 1 8 】



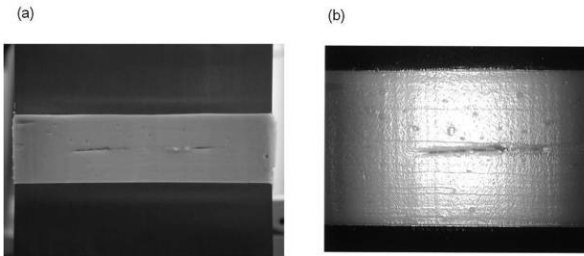
【図 1 9】



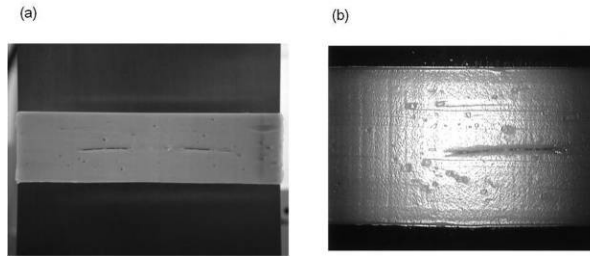
【図 2 1】



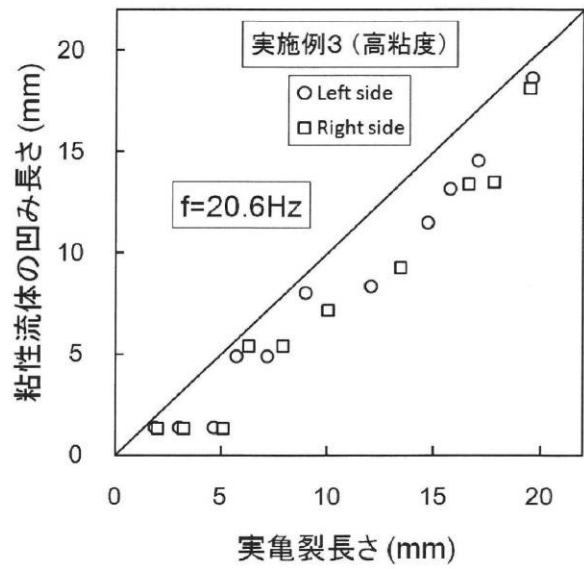
【図 2 0】



【図 2 2】



【図 2 3】



フロントページの続き

(72)発明者 高橋 一比古

東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

審査官 嶋田 行志

(56)参考文献 特許第6436539(JP, B2)

特開2005-028462(JP, A)

特開2009-214254(JP, A)

特開2013-113788(JP, A)

特開2011-214957(JP, A)

特開昭49-039478(JP, A)

特開2013-108068(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/00 - 21/958

G01N 3/00 - 3/62

B23P 6/00 - 6/04

G01M 99/00

JSTPlus/JST7580/JSTChina(JDreamIII)