



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公開本

(11) 公開編號：TW 202304687 A

(43) 公開日：中華民國 112 (2023) 年 02 月 01 日

(21) 申請案號：111120540

(22) 申請日：中華民國 111 (2022) 年 06 月 02 日

(51) Int. Cl. : B29C45/00 (2006.01)

B29C45/76 (2006.01)

(30) 優先權：2021/06/03 日本

2021-093399

(71) 申請人：日商東洋紡股份有限公司 (日本) TOYOBO CO., LTD. (JP)

日本

國立研究開發法人 海上 港灣 航空技術研究所 (日本) NATIONAL INSTITUTE OF MARITIME, PORT AND AVIATION TECHNOLOGY (JP)

日本

日商東麗工程股份有限公司 (日本) TORAY ENGINEERING CO., LTD. (JP)

日本

日商東麗工程 D 解決方案股份有限公司 (日本) TORAY ENGINEERING D SOLUTIONS CO., LTD. (JP)

日本

(72) 發明人：板倉大輔 ITAKURA, DAISUKE (JP)；古市謙次 FURUICHI, KENJI (JP)；石原遼一 ISHIHARA, RYOICHI (JP)；內田芳裕 UCHIDA, YOSHIHIRO (JP)；松尾剛 MATSUO, TSUYOSHI (JP)；澤田聡 SAWADA, SATOSHI (JP)；百濟彰 HYAKUSAI, AKIRA (JP)

(74) 代理人：周良吉

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：9 項 圖式數：15 共 38 頁

(54) 名稱

成形解析方法、程式及記錄媒體

(57) 摘要

本發明之成形解析方法，在使用模具使含有樹脂以及強化材料的板狀中間基材成形時對中間基材實行成形解析，其特徵為包含以下步驟：應用在面外方向與正交於面外方向的面內方向之間具有異向性的模型，作為中間基材的模型；以及用對應流場的各黏度算出成形品的剖面方向的黏度分布；該黏度分布，呈現出：於在模具的壁面無中間基材的流動滑移此等邊界條件之下，在壁面附近發生剪切場，藉此在壁面附近自動地形成面外剪切黏度的影響比中間基材的中央部更大的低黏度層，而壁面附近的中間基材發揮作為潤滑層的功能。

指定代表圖：

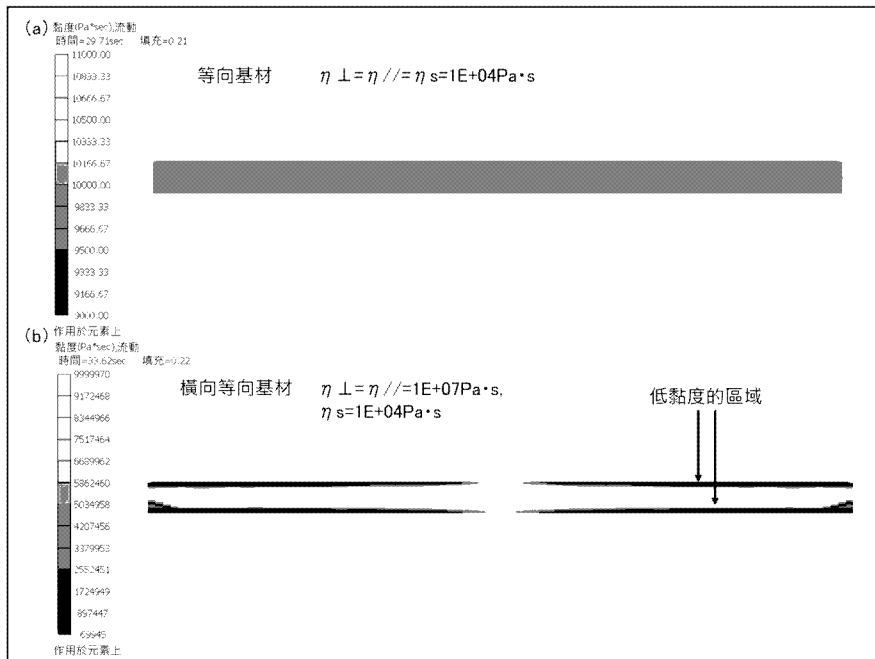


圖 11

【發明摘要】

【中文發明名稱】 成形解析方法、程式及記錄媒體

【中文】

本發明之成形解析方法，在使用模具使含有樹脂以及強化材料的板狀中間基材成形時對中間基材實行成形解析，其特徵為包含以下步驟：應用在面外方向與正交於面外方向的面內方向之間具有異向性的模型，作為中間基材的模型；以及用對應流場的各黏度算出成形品的剖面方向的黏度分布；該黏度分布，呈現出：於在模具的壁面無中間基材的流動滑移此等邊界條件之下，在壁面附近發生剪切場，藉此在壁面附近自動地形成面外剪切黏度的影響比中間基材的中央部更大的低黏度層，而壁面附近的中間基材發揮作為潤滑層的功能。

【指定代表圖】 圖11(a)、(b)

【代表圖之符號簡單說明】 無

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 成形解析方法、程式及記錄媒體

【技術領域】

【0001】

本發明係關於一種成形解析方法、令電腦實行該成形解析方法的程式，以及記錄該程式的記錄媒體。尤其，本發明係關於一種含有樹脂以及強化材料的複合材料的成形解析方法。

【先前技術】

【0002】

含有樹脂以及強化材料的複合材料已為人所習知。該等複合材料，一般會藉由成形而加工成具有既定形狀的產品。

【0003】

在複合材料的成形中，存在模具以及基材的溫度、保持壓力以及冷卻的時間、壓縮基材時的速度以及負荷、模具內的基材的配置以及基材的厚度等的各種條件。為了找出最佳條件而反覆進行實驗，需要花費很大的工夫以及成本。因此，吾人提出一種利用電腦模擬解析複合材料成形時的樹脂流動的技術內容。

【0004】

例如，美國專利申請公開第2019/0232535號公報(專利文獻1)，揭示藉由使用變形利普斯康方程式(modified Lipscomb equation)的電腦輔助工程(computer-aided engineering, CAE)，求出成形時的樹脂流動模式。

[先前技術文獻]

[專利文獻]

【0005】

[專利文獻1]美國專利申請公開第2019/0232535號公報

【發明內容】

[發明所欲解決的問題]

【0006】

複合材料的其中一種為纖維強化塑膠，其樹脂內所包含之纖維具有方向性。當纖維在樹脂內隨機定向時，纖維強化塑膠，在纖維定向面內呈現出等向性。在該等纖維強化塑膠的成形中，纖維定向面內方向的流動與纖維定向面外方向的流動，呈現出各自相異的動態。因此，於面外方向具有異向性的複合材料的成形解析，會需要考慮到該異向性的模型。

【0007】

然而，於某特定材料的成形解析為適當的模型，不一定於其他材料的成形解析也係適當者。因此，為了精度良好地評價具有面外異向性的複合材料的成形時的流動，使用可更廣泛地適用的(亦即通用的)模型的成形解析，實為吾人所期望者。

【0008】

本發明之目的在於提供一種以更良好的精度解析在面外方向與面內方向之間具有異向性的複合材料的成形時的流動的技術內容。

[解決問題的手段]

【0009】

本發明一實施態樣之成形解析方法，係在使用模具使含有樹脂以及強化材料的板狀中間基材成形時對中間基材實行成形解析的方法。成形解析方法，具備以下步驟：應用在面外方向與正交於面外方向的面內方向之間具有異向性的模型，作為中間基材的模型；以及用對應流場的各黏度算出成形品的剖面方向的黏度分布。該黏度分布，呈現出：於在模具的壁面無中間基材的流動滑移此等邊界條件之下，在壁面附近發生剪切場，藉此在壁面附近自動地形成面外剪切黏度的影響比中間基材的中央部更大的低黏度層，而壁面附近的中間基材發揮作為潤滑層的功能。

【0010】

若根據該構成，便可獲得成形後的複合材料的剖面方向的黏度分布。尤其，可獲得以往的解析所無法得到的「在模具的壁面附近自動地形成潤滑層」此等評價結果。因此，若根據該構成，便可精度良好地實行面外方向與面內方向之間具有異向性的複合材料的成形解析。

【0011】

在上述的構成中，成形解析方法，具備以下步驟：隨著表示異向性強度的黏度比增大，模具的壁面附近的流速接近成形品的中心部的流速；流速的分布，呈現出在成形品的厚度方向上接近均一。

【0012】

若根據該構成，便可精度良好地求出成形品的厚度方向的流速分布。在上述的構成中，成形解析方法，具備以下步驟：將依存於流場的權重函數，應用於模型的面內方向以及面外方向的黏度，以算出等向化黏度，亦即平均黏度。

【0013】

若根據該構成，藉由適當地選擇權重函數，便可適當地表現出中間基材的面外方向以及面內方向各自的變形狀態。因此，可精度良好地實行中間基材的成形解析。另外，權重函數，可任意選擇之。

【0014】

在上述的構成中，權重函數，係基於與模型的變形相關的應變速率張量的正交張量分解所得到的函數。

【0015】

若根據該構成，由於選擇適當的權重函數，故可精度良好地實行中間基材的成形解析。

【0016】

在上述的構成中，流場，為面外壓縮、面內壓縮、等向壓縮、面外剪切，以及面內剪切。

【0017】

若根據該構成，則係思及上述流場，作為在面外方向與面內方向之間具有異向性的模型的變形狀態。藉此，便可精度良好地實行中間基材的成形解析。

【0018】

在上述的構成中，模型的面內方向的黏度，為面內黏度；模型的面外方向的黏度，包含面外法線剪切黏度以及面外剪切黏度。

【0019】

若根據該構成，藉由對面內黏度、面外法線剪切黏度以及面外剪切黏度實行加權，便可表現出在面外方向與面內方向之間具有異向性的模型的變形狀態。因此，可精度良好地實行中間基材的成形解析。

【0020】

在上述的構成中，中間基材，係於強化材料使用了纖維的纖維強化塑膠。

【0021】

若根據該構成，便可精度良好地實行纖維強化塑膠的成形解析。本發明一實施態樣之程式，係用以令電腦實行上述任一成形解析方法的程式。

【0022】

本發明一實施態樣之記錄媒體，係記錄了上述程式的電腦可讀取記錄媒體。

[發明的功效]

【0023】

若根據本發明，便可更正確地解析在面外方向與面內方向之間具有異向性的複合材料的成形時的流動。

【圖式簡單說明】**【0024】**

[圖1]係表示具有面內等向性之物質的變形狀態的圖式。

[圖2]係概略地說明本實施態樣之作為解析對象的中間基材以及其製造方法的圖式。

[圖3]係表示CTT基材的製造方法的例子的流程圖。

[圖4]係表示本實施態樣之成形方法的流程圖。

[圖5]係表示可實施本實施態樣之成形解析方法的構成的一例的圖式。

[圖6]係表示圖5所示之解析裝置的硬體構造例的方塊圖。

[圖7]係表示圖5所示之解析裝置的功能區塊的一例的圖式。

[圖8]係實驗材料的示意俯視圖。

[圖9]係成形實驗的示意圖。

[圖10]係表示為了模擬圖8以及圖9所示之成形實驗而由電腦所作成的解析模型的圖式。

[圖11](a)、(b)係表示使用圖10所示之模型的壓縮解析結果的圖式，其係表示針對等向基材與橫向等向基材研討無剪切速度相依性的固定黏度的結果的圖式。

[圖12](a)、(b)係表示使用圖10所示之模型的壓縮解析結果的圖式，其係表示對CTT基材的模擬的應用例(材料的剖面方向的黏度分布)的圖式。

[圖13](a)、(b)係表示與圖11所示之黏度分布對應的流速分布的解析結果的圖式。

[圖14](a)、(b)係表示與圖12所示之黏度分布對應的流速分布的解析結果的圖式。

[圖15]係表示與針對CTT基材的壓縮試驗相關的實驗結果與模擬結果的圖式。

【實施方式】

【0025】

針對本發明之實施態樣，一邊參照圖式，一邊詳細進行說明。另外，針對圖中相同或相當的部分，會附上相同的符號，其說明不重複。

【0026】

<1.概要>

具有面外異向性的複合材料的典型範例，為纖維強化塑膠。在本發明之實施態樣中，係例示出碳纖維強化複合材料，亦即CTT(Chopped carbon fiber Tape reinforced Thermoplastics，裁切碳纖維帶強化熱塑性塑膠)基材。

【0027】

CTT(Chopped carbon fiber Tape reinforced Thermoplastics，裁切碳纖維帶強化熱塑性塑膠)基材，係將浸漬過樹脂的碳纖維帶堆疊在一起的中間基材。以纖維隨機定向的方式堆疊碳纖維帶，藉此製作出CTT基材。因此，CTT基材，在纖維的定向面內具有等向性。另一方面，CTT基材，於帶子的面外方向，亦即於帶子的堆疊方向具有異向性。

【0028】

在CTT基材的成形中，裁切帶的定向方向(面內方向)的流動與裁切帶的堆疊方向(面外方向)的流動，顯現出各自相異的動態。因此，在CTT基材的成形解析中，有必要構築考慮到異向性的模型。另外，由於在CTT基材的堆疊方向上以及在與其垂直的方向上所發生的應力相異，故在CTT基材的成形解析中，有必要實行考慮到應力張量的異向性的解析。

【0029】

在本發明之實施態樣中，從異向性的應力張量所導出的純量，具體而言係使用以相當黏度間接地考慮應力的異向性的模型。具體而言，在本發明之實施態樣

中，係導入一般化應力張量，算出以流場加權的平均黏度。流場加權，可適用任意加權。在本發明一實施態樣中，係使用基於正交張量分解的加權。

【0030】

<2.一般化應力張量的導出>

(1)基底張量

【0031】

[數式1]

基底張量的定義

利用正交座標系統 $(\mathbf{t}_1 \ \mathbf{t}_2 \ \mathbf{n})$ 表示材料的定向。若僅可得到 $\mathbf{n}=(n_x \ n_y \ n_z)^T$ 時， \mathbf{t}_1 以及 \mathbf{t}_2 的選擇方式並非無歧義，可表示成如式(2-1)。

$$\mathbf{t}_1 = (\cos \theta \cos \phi \quad \cos \theta \sin \phi \quad -\sin \theta)^T$$

$$\mathbf{t}_2 = (-\sin \phi \quad \cos \phi \quad 0)^T$$

$$\mathbf{n} = (\sin \theta \cos \phi \quad \sin \theta \sin \phi \quad \cos \theta)^T \quad (2-1)$$

其中， $\theta = \arctan \frac{n_z}{\sqrt{n_x^2 + n_y^2}}$ ， $\phi = \arctan \frac{n_y}{n_x}$ 。

此時，若使用旋轉矩陣 $\mathbf{R}=(\mathbf{t}_1 \ \mathbf{t}_2 \ \mathbf{n})^T$ ，則堆疊方向的單位向量 \mathbf{n} 以式(2-2)表示之。

$$\mathbf{n} = \mathbf{R}^T \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2-2)$$

【0032】

圖1，係表示具有面內等向性之物質的變形狀態的圖式。另外，關於具有面內等向性之物質，吾人思及堆疊體。如圖1(a)~(f)所示的，具有面內等向性之物質的變形狀態，存在：(a)面外壓縮、(b)面內壓縮、(c)等向膨脹、(d)、(e)面外剪切、(f)面內剪切共6種的變形狀態。

【0033】

在圖1中，以「1」~「3」的符號以及箭號，表示互相正交的3個方向。將「1方向」以及與1方向垂直的方向(「2方向」)，設定為具有面內等向性之物質的面內方向；將物質的堆疊方向(亦即面外方向)設定為「3方向」。

【0034】

以具有面內等向性之物質為對象的對稱張量的基底，由式(2-3)~(2-8)表現之。各式前所附之符號(a)~(f)，分別對應圖1所示之符號(a)~(f)。在式(2-3)~(2-8)中， \mathbf{R} 係利用正交座標系統(t_1, t_2, n)表示物質的定向時，表示為 $\mathbf{R}=(t_1 \ t_2 \ n)^T$ 的旋轉矩陣。

【0035】

以下說明之式中所用的下標字「1」~「3」，係分別意指圖1所示之方向「1」~「3」的下標字。另外，「 \perp 」意指面外方向，「 \parallel 」意指面內方向。

【0036】

[數式2]

在各個張量中， \hat{E}_\perp 表示面外壓縮[圖1(a)]、 \hat{E}_\parallel 表示面內壓縮[圖1(b)]、 \hat{I} 表示等向膨脹[圖1(c)]、 \hat{G}_1 以及 \hat{G}_2 表示面外剪切[圖1(d)、圖1(e)]、 \hat{G}_3 表示面內剪切[圖1(f)]。

$$(a) \hat{\mathbf{E}}_{\perp} = \mathbf{R}^T \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{pmatrix} \mathbf{R} \quad (2-3)$$

$$(b) \hat{\mathbf{E}}_{\parallel} = \mathbf{R}^T \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{R} \quad (2-4)$$

$$(c) \hat{\mathbf{I}} = \mathbf{R}^T \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \mathbf{R} = \sqrt{\frac{2}{3}} \mathbf{I} \quad (2-5)$$

$$(d) \hat{\mathbf{G}}_1 = \mathbf{R}^T \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{R} \quad (2-6)$$

$$(e) \hat{\mathbf{G}}_2 = \mathbf{R}^T \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{R} \quad (2-7)$$

$$(f) \hat{\mathbf{G}}_3 = \mathbf{R}^T \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{R} \quad (2-8)$$

【0037】

圖1所示之「3方向」為堆疊方向，故堆疊方向的單位向量 \mathbf{n} ，可由式(2-9)給與。此時， $\mathbf{R}=\mathbf{I}$ 。

【0038】

[數式3]

$$\mathbf{n} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2-9)$$

【0039】

(2)應變速率張量

應變速率張量 \mathbf{D} ，若用式(2-10)的關係(考慮不可壓縮性)，則如式(2-11)所表示的，可正交張量分解之。在式(2-11)中，附黑點(.)的 ε ，表示應變速率。

【0040】

[數式4]

$$\text{tr}\mathbf{D} = \mathbf{D} : \mathbf{I} = 0 \quad (2-10)$$

$$\mathbf{D} = \dot{\varepsilon}_{\perp} \hat{\mathbf{E}}_{\perp} + \dot{\varepsilon}_{\parallel} \hat{\mathbf{E}}_{\parallel} + \dot{\varepsilon}_1 \hat{\mathbf{G}}_1 + \dot{\varepsilon}_2 \hat{\mathbf{G}}_2 + \dot{\varepsilon}_3 \hat{\mathbf{G}}_3 \quad (2-11)$$

【0041】

如式(2-12)所示的，各應變速率，以基底張量與應變速率張量的內積表示之。

【0042】

[數式5]

$$\dot{\varepsilon}_{\perp} = \frac{1}{2} \hat{\mathbf{E}}_{\perp} : \mathbf{D}, \quad \dot{\varepsilon}_{\parallel} = \frac{1}{2} \hat{\mathbf{E}}_{\parallel} : \mathbf{D}, \quad \dot{\varepsilon}_1 = \frac{1}{2} \hat{\mathbf{G}}_1 : \mathbf{D}, \quad \dot{\varepsilon}_2 = \frac{1}{2} \hat{\mathbf{G}}_2 : \mathbf{D}, \quad \dot{\varepsilon}_3 = \frac{1}{2} \hat{\mathbf{G}}_3 : \mathbf{D} \quad (2-12)$$

【0043】

(3)相當變形速度

相當變形速度由式(2-13)給與。

【0044】

[數式6]

$$D_{eq}^2 = \frac{1}{2} \mathbf{D} : \mathbf{D} \quad (2-13)$$

【0045】

(4)應力張量

當用基底張量表示應力張量 σ 時，應力張量 σ ，可表示成如以下的式(2-14)。

另外，黏度參數分別為：面外法線剪切黏度 η_{\perp} 、面內黏度 η_{\parallel} 、面外剪切黏度 η_s ； p 為流體靜壓力。

【0046】

[數式7]

$$\sigma = 2\eta_{\perp}\dot{\epsilon}_{\perp}\mathbf{E}_{\perp} + 2\eta_{\parallel}(\dot{\epsilon}_{\parallel}\mathbf{E}_{\parallel} + \dot{\epsilon}_3\mathbf{G}_3) + 2\eta_s(\dot{\epsilon}_1\mathbf{G}_1 + \dot{\epsilon}_2\mathbf{G}_2) - p\mathbf{I} \quad (2-14)$$

【0047】

式(2-14)，表示應力張量 σ 為考慮到面外方向之異向性的應力張量。在本說明書中，將式(2-14)所表示之應力張量稱為「一般化應力張量」。

【0048】

<3.黏度的等向化>

對式(2-14)所表示之一般化應力張量，求出等向化黏度。在本說明書中將等向化黏度亦稱為「平均黏度」。

【0049】

考慮到各黏度參數的係數以及令冪次對應流動的形態而變化，在本實施態樣中，定義出如式(3-1)所給與的依存於流場的權重函數。

【0050】

[數式8]

$$\phi_{\perp} = \frac{\dot{\epsilon}_{\perp}^2}{D_{eq}^2}, \quad \phi_{\parallel} = \frac{\dot{\epsilon}_{\parallel}^2 + \dot{\epsilon}_3^2}{D_{eq}^2}, \quad \phi_s = \frac{\dot{\epsilon}_1^2 + \dot{\epsilon}_2^2}{D_{eq}^2} \quad (3-1)$$

(其中， $\phi_{\perp} + \phi_{\parallel} + \phi_s = 1$ ， $D_{eq}^2 = \frac{1}{2}\mathbf{D}:\mathbf{D} = \dot{\epsilon}_1^2 + \dot{\epsilon}_2^2 + \dot{\epsilon}_3^2 + \dot{\epsilon}_{\parallel}^2 + \dot{\epsilon}_{\perp}^2$)

【0051】

若使用依存於流場的權重函數，則等向化黏度以式(3-2)表示之。

【0052】

[數式9]

$$\eta^{ISO} = \prod_i (\eta_i^{ISO}(f_i))^{p_i}$$

$$\left(\eta_i^{ISO}(f_i) = f_i^{-1} \left(\sum_j \phi_j f_i(\eta_j) \right), \sum_i p_i = 1, i = 1, 2, 3, \dots, j = \perp, \parallel, s \right) \quad (3-2)$$

在此， f_i 為任意函數， f_i^{-1} 為 f_i 的反函數， ϕ_j 為依存於流場的權重函數， η_j 為黏度頻譜。

【0053】

如以上所述的，在本實施態樣中，藉由使用一般化應力張量，以及對應流動狀態而變化的權重函數，便可等向化地表示黏度。等向化黏度(平均黏度)，可以「依存於模型的流場並經過加權的面內方向的黏度(面內黏度)」與「依存於模型的流場並經過加權的面外方向的黏度(面外法線剪切黏度以及面外剪切黏度)」的和的形式，表示之。

【0054】

<4.成形解析方法>

在本實施態樣中，藉由利用電腦計算等向化黏度(平均黏度)，便可解析在面外方向與面內方向之間具有異向性的複合材料的成形時的流動。

【0055】

圖2，係概略地說明本實施態樣之作為解析對象的中間基材以及其製造方法的圖式。如圖2所示的，中間基材10，含有樹脂12與纖維14。圖2的符號「1」~「3」所示之方向，分別對應圖1所示之方向「1」~「3」。

【0056】

樹脂12，可為熱可塑性樹脂，亦可為熱硬化性樹脂，亦可使用二者。雖未限定，惟關於樹脂12的具體例，可列舉出：聚丙烯等的聚烯烴樹脂、聚酯樹脂、聚醯胺樹脂、環氧樹脂、不飽和聚酯樹脂、酚樹脂、鄰苯二甲酸二烯丙酯樹脂、乙烯酯樹脂、矽氧樹脂、聚醯亞胺樹脂等。

【0057】

關於纖維14，可列舉出一般用於纖維強化塑膠者，例如，可使用：碳纖維、玻璃纖維、硼纖維、碳化矽纖維、氧化鋁纖維、二氧化矽纖維、芳香族聚醯胺纖維等。

【0058】

在該實施態樣中，係使用CTT基材，作為中間基材的一例。因此，於圖2以及圖3，係揭示CTT基材的製造方法的例子，作為中間基材的製造方法的例子。以下，一邊參照圖2以及圖3，一邊說明CTT基材的製造方法的例子。

【0059】

圖3，係揭示CTT基材的製造方法的例子的流程圖。如圖2以及圖3所示的，首先，製作連續纖維預浸體(步驟S1)。在步驟S1中，將往單一方向拉齊的碳纖維浸漬於熱可塑性樹脂(例如酸改性聚丙烯)，以製作出片狀基材(預浸體帶)。

【0060】

接著，將預浸體帶切成既定的大小，以製作出不連續纖維帶，亦即裁切帶(步驟S2)。裁切帶的尺寸雖無特別限定，惟在一例中，例如為長度35mm、寬度15mm、厚度0.1mm。

【0061】

接著，堆疊複數個裁切帶。此時，以纖維14在面內方向上隨機定向的方式，堆疊複數個裁切帶。所堆疊之複數個裁切帶，藉由加熱以及加壓將其壓縮之(步驟S3)。藉此，複數個裁切帶形成一體，而製作出板狀的中間基材10。

【0062】

如圖2以示意方式所示的，纖維14在面內方向上隨機定向。藉此，中間基材10(CTT基材)，在面內方向上具有等向性，同時在面外方向上具有異向性。纖維14在面內方向上定向，藉此，在中間基材10的面內方向與面外方向上流動時的動態相異。

【0063】

圖4，係表示本實施態樣之成形方法的流程圖。如圖4所示的，中間基材10由紅外線加熱器等的加熱裝置加熱。接著，在模具內將因熱而軟化的中間基材10壓縮。藉此製作出成形品。另外，圖4揭示衝壓成形作為成形方法的一例。在衝壓成形中，中間基材10被衝壓鑄模模具所推壓，而成為具有吾人所期望之形狀的成形品。

【0064】

圖5，係揭示可實施本實施態樣之成形解析方法的構成的一例的圖式。如圖5所示的，例如，亦可將加熱裝置22、成形裝置24、解析裝置26組合。加熱裝置22，例如係圖4所示之紅外線加熱器，其將中間基材10加熱。成形裝置24，包含模具25(例如圖4所示之衝壓鑄模模具)，其令因熱而軟化的中間基材10成形。

【0065】

解析裝置26，係用以實行本實施態樣之成形解析方法的裝置，其由依從通用運算架構的硬體執行程式而實現。解析裝置26，藉由實行模擬，以實行中間基材10的成形解析。

【0066】

圖6，係表示圖5所示之解析裝置的硬體構造例的方塊圖。解析裝置26，具備：處理器31、一次記憶裝置32、二次記憶裝置33、外部裝置介面34、輸入介面35、輸出介面36、通信介面37，以及匯流排38。處理器31以及一次記憶裝置32等的要件，通過匯流排38收送資料、信號等。

【0067】

處理器31，對一次記憶裝置32所儲存之程式或資料進行處理。一次記憶裝置32，儲存處理器31所執行之程式以及所參照之資料。在一態樣中，亦可使用DRAM (Dynamic Random Access Memory，動態隨機存取記憶體)作為一次記憶裝置32。

【0068】

二次記憶裝置33，以非揮發的方式記憶程式以及資料等。在一態樣中，亦可使用HDD(Hard Disk Drive，硬碟機)或SSD(Solid State Drive，固態硬碟)等的非揮發性記憶體作為二次記憶裝置33。因此，二次記憶裝置33，相當於記錄了電腦所執行之程式的電腦可讀取記錄媒體。

【0069】

外部裝置介面34，係在將外部裝置連接於解析裝置26等情況下使用。外部裝置介面34，例如為USB(Universal Serial Bus，通用序列匯流排)介面。

【0070】

輸入介面35，係用來連接鍵盤41以及滑鼠42等的輸入裝置。輸入介面35，通過該等輸入裝置，接收使用者操作以及使用者輸入。

【0071】

輸出介面36，例如係用來連接顯示器43等的輸出裝置。

【0072】

通信介面37，係用來令解析裝置26與外部裝置進行通信。例如，通信介面37，用於解析裝置26透過網路的通信。與外部裝置的通信，為無線通信、有線通信均可。

【0073】

解析裝置26，作為選項，亦可具有光碟機。光碟機，從非暫態地儲存電腦可讀取程式的記錄媒體[例如DVD(Digital Versatile Disc，數位多功光碟)等的光學記錄媒體]，讀取其中所儲存的程式。從記錄媒體所讀取到之程式，亦可安裝於二次記憶裝置33等。另外，解析裝置26所執行之各種程式，亦可從網路上的伺服器裝置等下載並安裝於解析裝置26。

【0074】

圖7，係表示圖5所示之解析裝置的功能區塊的一例的圖式。在一態樣中，圖6所示之硬體，藉由執行實現各功能區塊之功能的軟體，以構成如圖7所示的解析裝置26。另外，解析裝置26，亦可更具備圖7所示之要件以外的構成要件。

【0075】

參照圖7，解析裝置26，具備：輸入部51、平均黏度算出部52、黏度分布算出部53、記憶部54，以及輸出部55。輸入部51，接收樹脂材料特性以及成形條件

等的資訊作為輸入。該等資訊，例如係以既定條件形成中間基材所實際得到之成形品的特性值以及該既定成形條件。

【0076】

平均黏度算出部52，用在面外方向與正交於面外方向的面內方向之間具有異向性的模型作為中間基材10的模型，並將依存於流場的權重函數應用於該模型的面內方向以及面外方向的黏度，以算出等向化黏度(亦即平均黏度)。關於依存於流場的權重函數，例如係使用基於正交張量分解的加權。

【0077】

黏度分布算出部53，對應既定的成形條件，實行將實際的成形品模型化的成形品模型的有限要件的成形解析。黏度分布算出部53，針對上述模型的各有限要件求出平均黏度。平均黏度，由平均黏度算出部52算出。黏度分布算出部53，係實行成形解析的模擬實行部。平均黏度算出部52，亦可為黏度分布算出部53所包含而作為黏度分布算出部53的一部分。

【0078】

記憶部54，儲存成形解析用的解析程式61、從使用者輸入解析裝置26的成形解析用的參數62等。平均黏度算出部52以及黏度分布算出部53，從記憶部54，讀取解析程式61以及參數62，並實行模型的成形解析，以算出各有限要件的平均黏度。藉此，平均黏度算出部52以及黏度分布算出部53，算出成形品的剖面方向的黏度分布。

【0079】

輸出部55，輸出黏度分布算出部53的算出結果，亦即成形品的剖面方向的黏度分布，作為解析結果。解析結果，例如顯示於顯示器43(參照圖6)。

【0080】

<5.成形解析的例子>

參照圖8以及圖9，對CTT基材的成形實驗進行說明。圖8，係實驗材料的示意俯視圖。圖9，係成形實驗的示意圖。如圖8以及圖9所示的，將附有劃線之圓盤狀的CTT基材(相當於中間基材10)，用壓縮試驗裝置，以樹脂溫度220°C、壓縮速度3mm/min的條件施加壓縮負荷。另外，為了確保在CTT基材的壁面接觸部(亦即表面)不會發生滑動，會於CTT基材的表面形成劃線11，並根據壓縮負荷與壓縮位移速度對黏度特性進行評價。實驗所得到之數值輸入電腦；電腦用該輸入值執行程式以實行成形解析。

【0081】

圖10，係表示為了模擬圖8以及圖9所示之成形實驗而由電腦所作成的解析模型的圖式。如圖10所示的，藉由模擬求出圓盤狀強化塑膠基材受到壓縮負荷之狀態下的黏度分布。實行模擬用的軟體雖無特別限定，惟在本例中係使用解析軟體3D TIMON-Composite PRESS(TORAY ENGINEERING D SOLUTIONS股份有限公司，「3D TIMON」以及「Composite PRESS」為登記商標)。在模擬中，算出各有限要件的平均黏度。用以算出平均黏度的權重函數係使用相當應變速率。

【0082】

圖11，係表示使用圖10所示之模型的壓縮解析結果的第1圖。作為解析模型，係使用等向基材，以及在面外方向與面內方向之間具有異向性的材料，亦即橫向等向基材。另外，圖11，係表示針對等向基材以及橫向等向基材研討無剪切速度相依性之固定黏度的結果的圖式。圖11(a)，係表示等向基材的剖面方向的黏度分布；圖11(b)，係表示橫向等向基材的剖面方向的黏度分布。

【0083】

就等向基材而言，其面外法線剪切黏度 η_{\perp} 、面內黏度 η_{\parallel} 、面外剪切黏度 η_s 為相同($\eta_{\perp}=\eta_{\parallel}=\eta_s=1E+04Pa\cdot s$)。另一方面，就橫向等向基材而言，則係將面外法線剪切黏度 η_{\perp} 與面內黏度 η_{\parallel} 設為相同，並將面外剪切黏度 η_s 設為與面外法線剪切黏度 η_{\perp} 以及面內黏度 η_{\parallel} 相異($\eta_{\perp}=\eta_{\parallel}=1E+07Pa\cdot s$ 、 $\eta_s=1E+04Pa\cdot s$)。此時，由於會在圓盤的壁面附近生成剪切場，故因應剪切場，低黏度的面外剪切黏度的影響變大，在壁面附近，相較於中心部，黏度大幅降低，而得到自動地生成潤滑層此等結果。

【0084】

如圖11(b)所示的，當為橫向等向基材時，會在基材(圓盤)的中心附近的部分與基材(圓盤)的模具壁面附近的部分之間產生較大的黏度差。「潤滑層」，係指該低黏度的區域。另外，「自動地」，係指並未對邊界條件加以變更[不滑移(No-slip)]，以及，不指定特定的區域(模具壁面附近或中心)。

【0085】

圖12，係表示使用圖10所示之模型的壓縮解析結果的圖式，其係表示對CTT基材的模擬的應用例(材料的剖面方向的黏度分布)的圖式。圖12(a)，係表示為了比較而將CTT基材假定為等向基材所求出之剖面方向的黏度分布的圖式。圖12(b)，係表示CTT基材(橫向等向基材)的剖面方向的黏度分布的圖式。

【0086】

從圖12(a)、圖12(b)的比較可知，CTT基材(橫向等向基材)，相較於假定等向基材，在模具壁面附近更顯著地產生了潤滑層(亦即在中心與模具壁面附近之間的黏度差較大)。其結果，可知當像CTT基材那樣，使用考慮到實測之剪切速度

相依性的異向性黏度參數時，在成形時於模具壁面附近的區域更顯著地出現潤滑層。

【0087】

圖13，係表示與圖11所示之黏度分布對應的流速分布的解析結果的圖式。圖14，係表示與圖12所示之黏度分布對應的流速分布的解析結果的圖式。從圖11~圖14可知，在本實施態樣之成形解析法中，呈現出隨著表示異向性強度的黏度比增大，模具的壁面附近的流速接近成形品的中心部的流速，流速的分布在成形品的厚度方向上接近均一。

【0088】

圖15，係表示與針對CTT基材的壓縮試驗相關的實驗結果與模擬結果的圖式。從圖15，可知CTT基材(橫向等向基材)的模擬結果，可得到接近實驗結果的值。為了比較之用而假定為等向基材時的模擬結果，相較於實驗值，負荷大幅降低。由此可知，若根據本實施態樣，在關於CTT基材的成形解析中，可得到精度較高的模擬結果。

【0089】

另外，在上述的實施態樣中，作為對象材料的一例，係揭示纖維強化塑膠。然而，本實施態樣之作為對象的複合材料，不限於纖維強化塑膠，亦可為對作為母材的樹脂添加了其他種類的強化材料的複合材料。關於該等強化材料的例子，可列舉出黏土或滑石等的無機填料。

【0090】

另外，上述的實施態樣，係例示出橫向等向基材作為在面外方向與面內方向之間具有異向性的材料。然而，在面外方向與面內方向之間具有異向性的材料，

不限於橫向等向基材，亦可為例如面內等向基材。對於面內等向基材亦可適用本實施態樣之成形解析方法。

【0091】

雖針對本發明之實施態樣以及實施例進行說明，惟本案所揭示之實施態樣其全部的特徵點應被認為僅係例示而並非限制要件。本發明之範圍係依照請求範圍所示，其有意包含與請求範圍均等的定義以及範圍內的所有變更在內。

【符號說明】

【0092】

1~3:方向

10:中間基材

11:劃線

12:樹脂

14:纖維

22:加熱裝置

24:成形裝置

25:模具

26:解析裝置

31:處理器

32:一次記憶裝置

33:二次記憶裝置

34:外部裝置介面

35:輸入介面

36:輸出介面

37:通信介面

38:匯流排

41:鍵盤

42:滑鼠

43:顯示器

51:輸入部

52:平均黏度算出部

53:黏度分布算出部

54:記憶部

55:輸出部

61:解析程式

62:參數

S1~S3:步驟

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種成形解析方法，在使用模具使含有樹脂以及強化材料的板狀中間基材成形時，對該中間基材實行成形解析，包含以下步驟：

應用在面外方向與正交於該面外方向的面內方向之間具有異向性的模型，作為該中間基材的模型；以及

用對應流場的各黏度算出成形品的剖面方向的黏度分布；

該黏度分布，呈現出：於在該模具的壁面無該中間基材的流動滑移此等邊界條件之下，在該壁面附近發生剪切場，藉此在該壁面附近自動地形成面外剪切黏度的影響比該中間基材的中央部更大的低黏度層，而該壁面附近的中間基材發揮作為潤滑層的功能。

【請求項2】

如請求項1之成形解析方法，其中，

該成形解析方法，更包含以下步驟：隨著表示異向性強度的黏度比增大，該模具的該壁面附近的流速接近該成形品的中心部的流速；

該流速的分布，呈現出在該成形品的厚度方向上接近均一。

【請求項3】

如請求項1或2之成形解析方法，其中，

該成形解析方法，更包含以下步驟：將依存於流場的權重函數，應用於該模型的面內方向以及該面外方向的黏度，以算出等向化黏度，亦即平均黏度。

【請求項4】

如請求項3之成形解析方法，其中，

該權重函數，係基於與該模型的變形相關的應變速率張量的正交張量分解所得到的函數。

【請求項5】

如請求項1之成形解析方法，其中，

該流場，為面外壓縮、面內壓縮、等向壓縮、面外剪切、面內剪切。

【請求項6】

如請求項1之成形解析方法，其中，

該模型的該面內方向的該黏度，為面內黏度；

該模型的該面外方向的該黏度，包含面外法線剪切黏度以及面外剪切黏度。

【請求項7】

如請求項1之成形解析方法，其中，

該中間基材，係於該強化材料使用了纖維的纖維強化塑膠。

【請求項8】

一種程式，其特徵為：

令電腦實行請求項1至請求項7中任一項所記載的成形解析方法。

【請求項9】

一種電腦可讀取之記錄媒體，其記錄了請求項8所記載的程式。

【發明圖式】

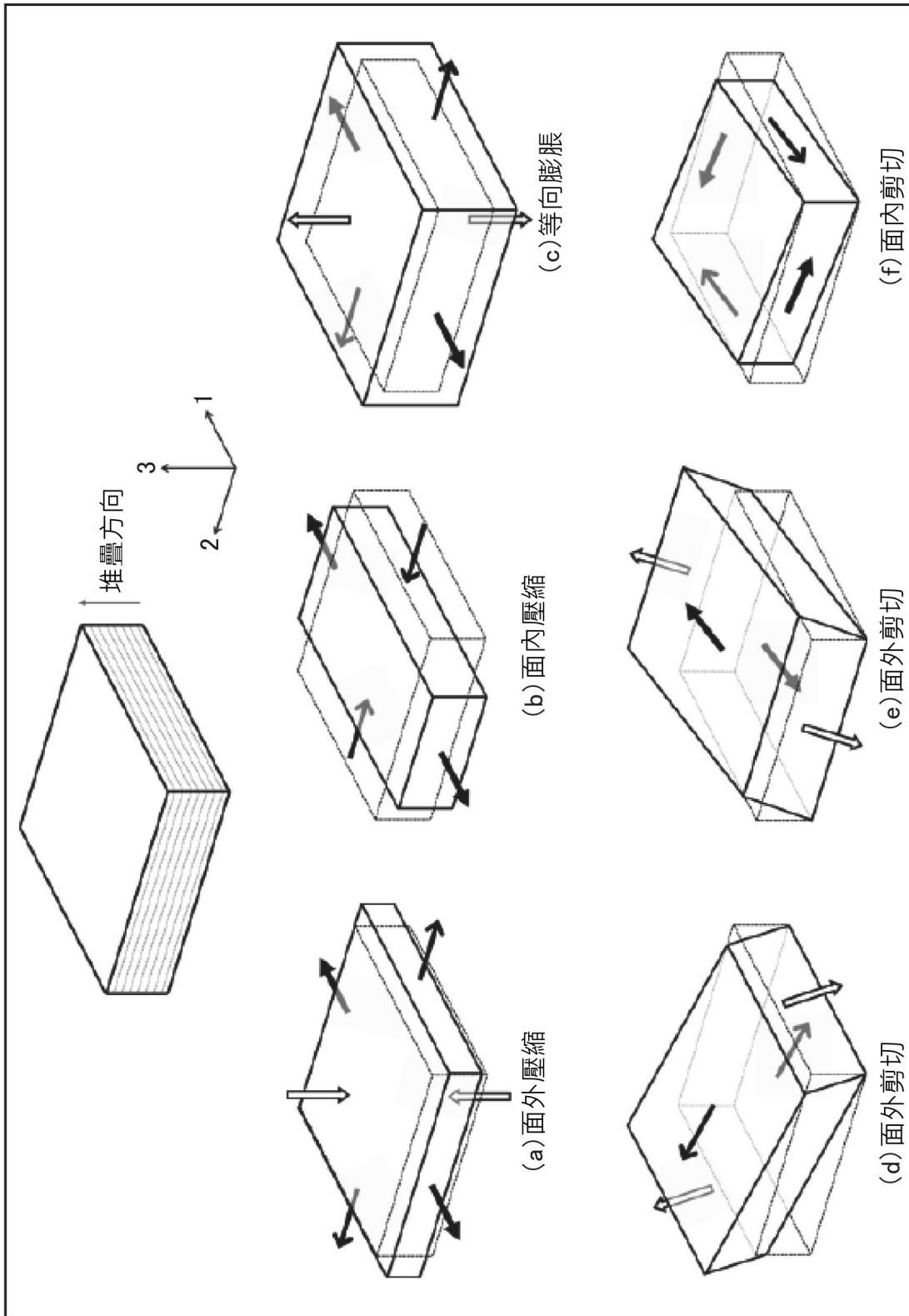


圖 1

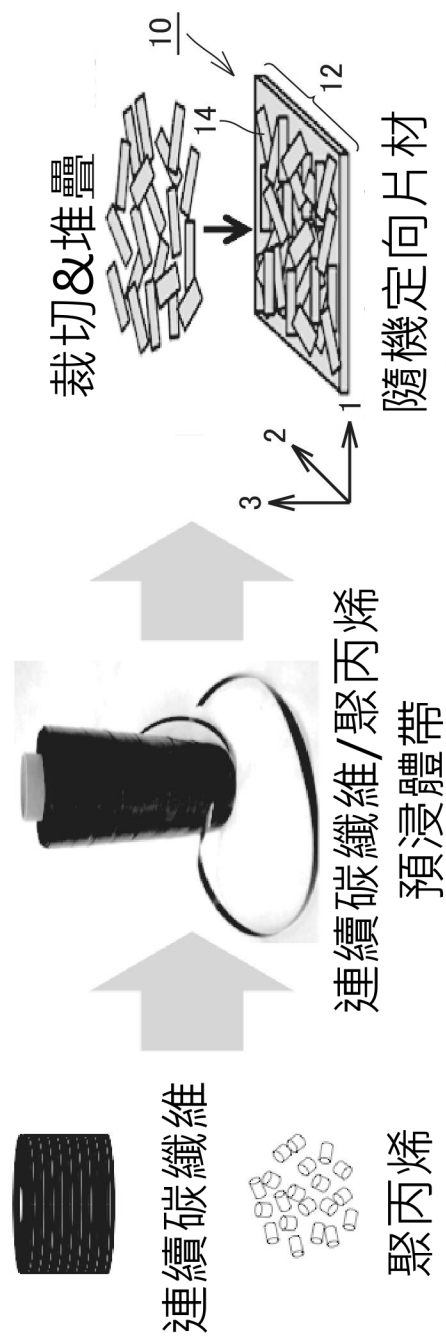


圖 2

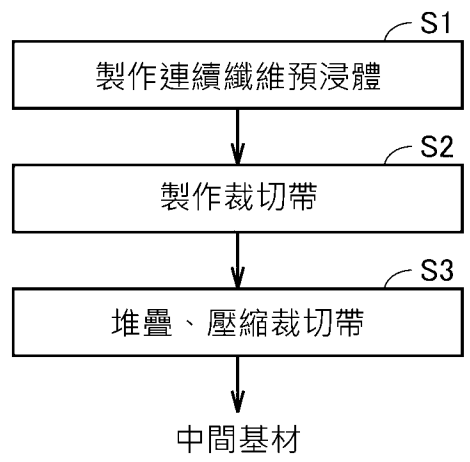


圖 3

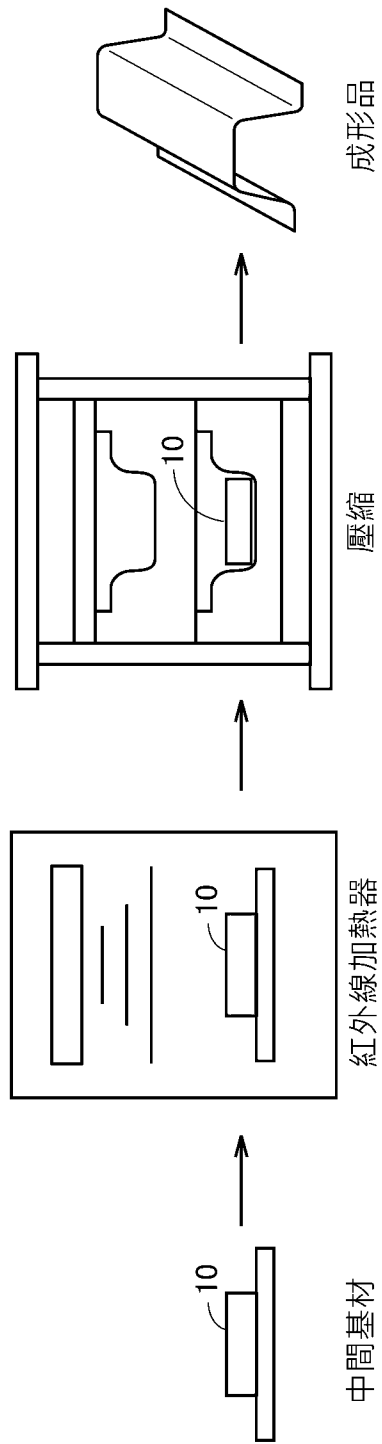


圖 4

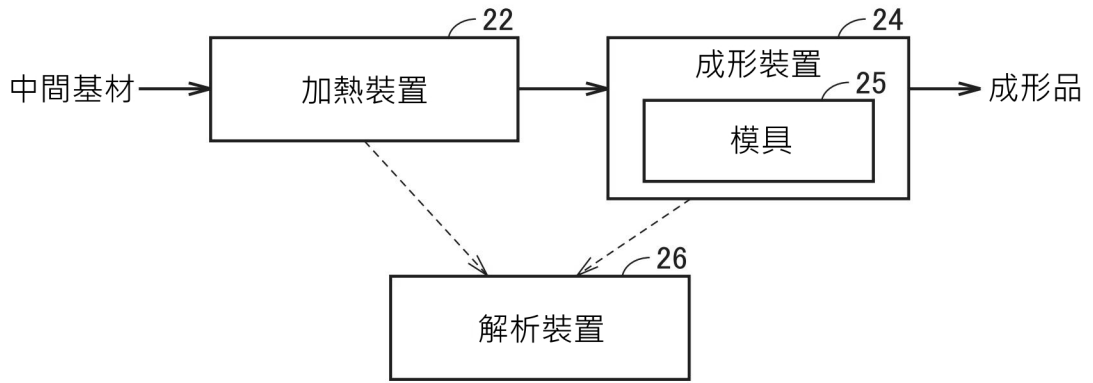


圖 5

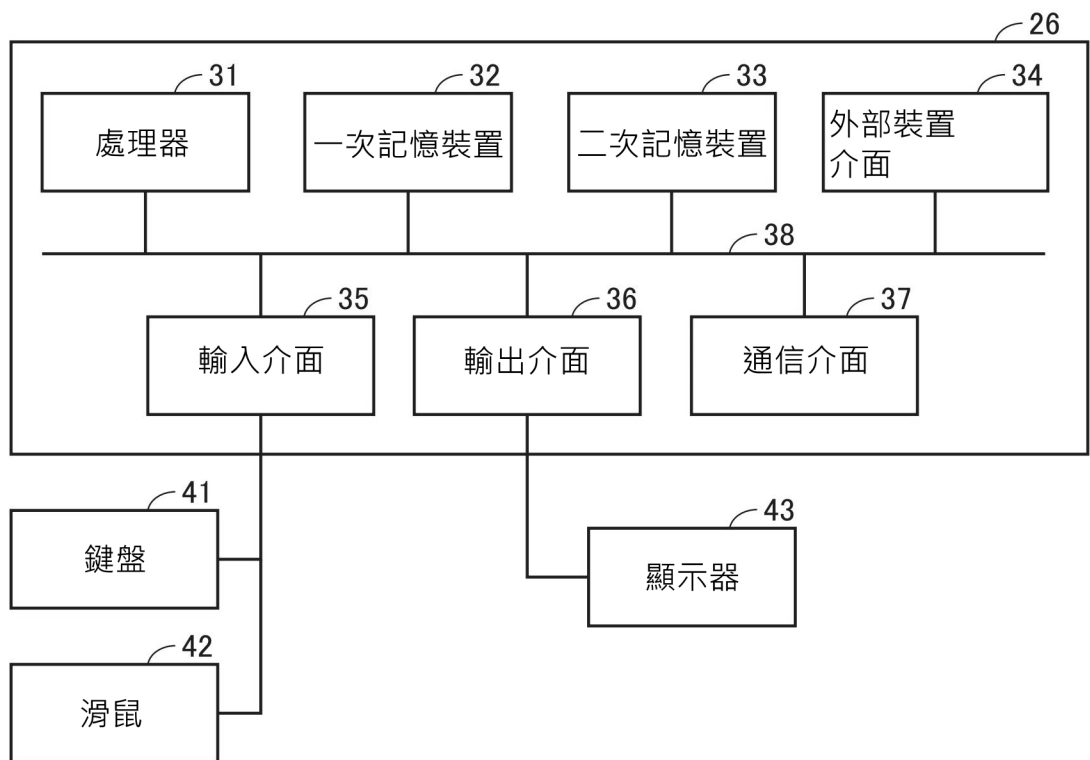


圖 6

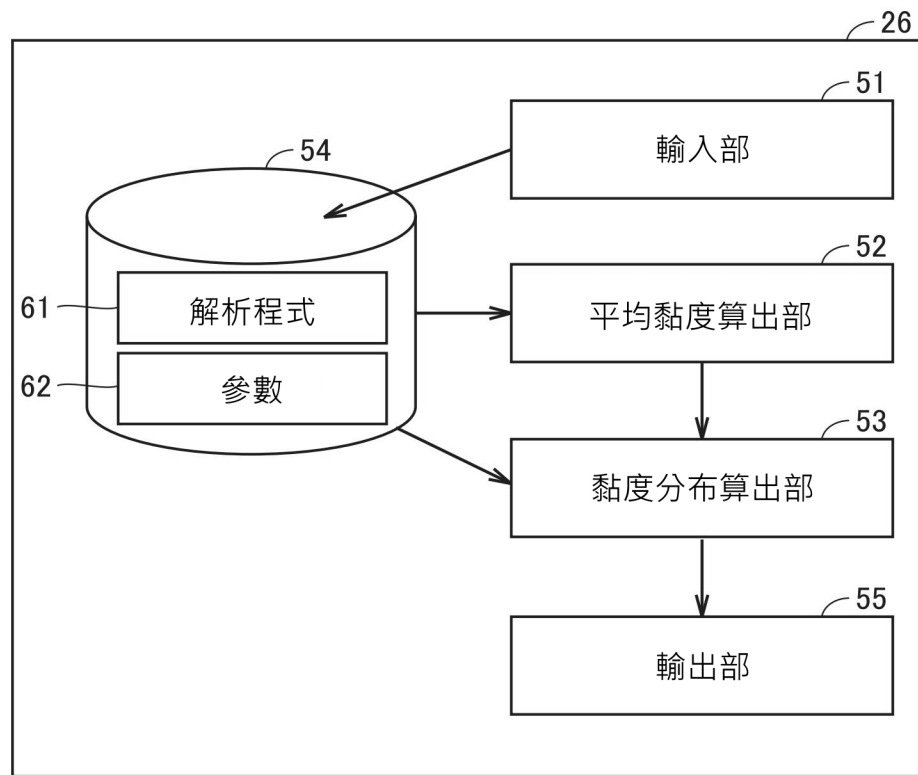


圖 7

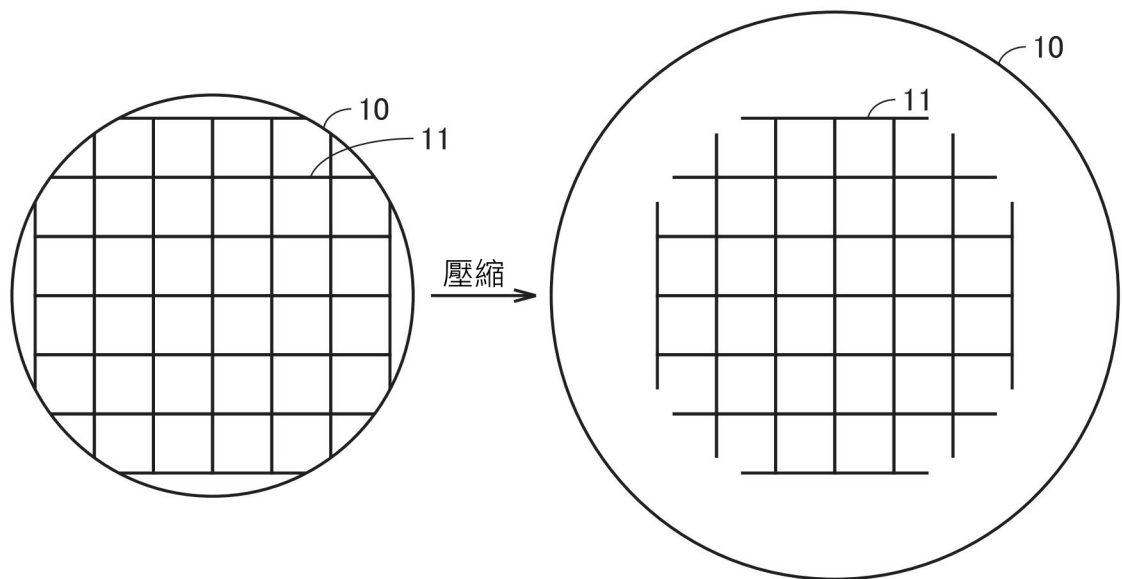


圖 8

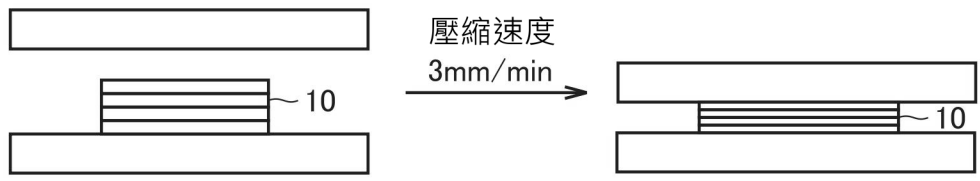


圖 9

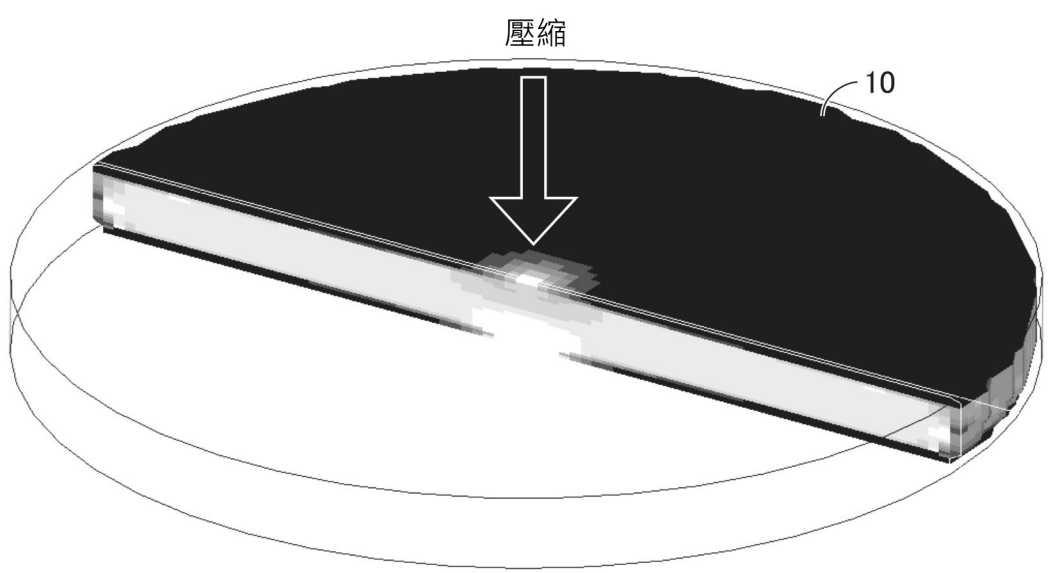


圖 10

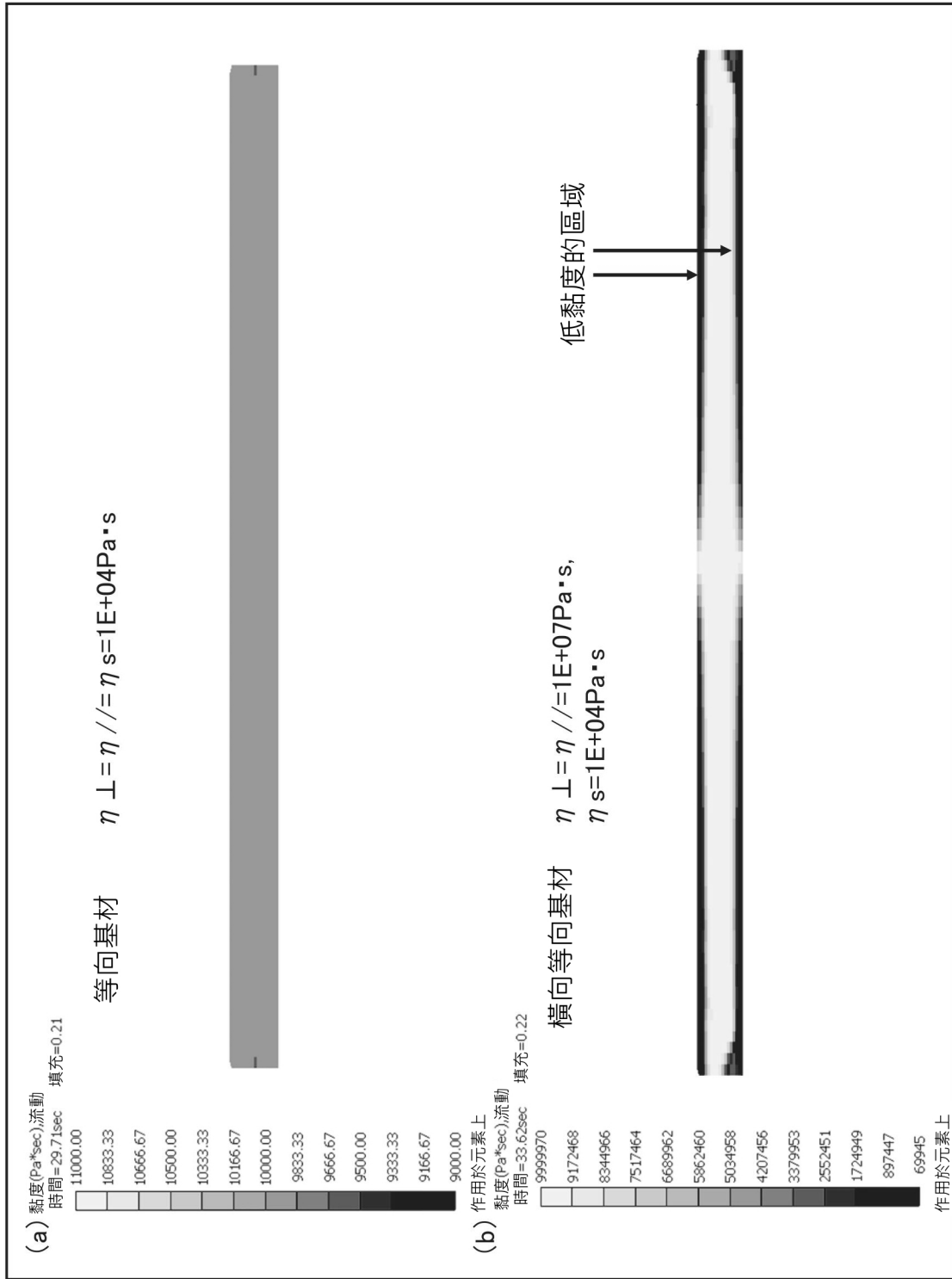


圖 11

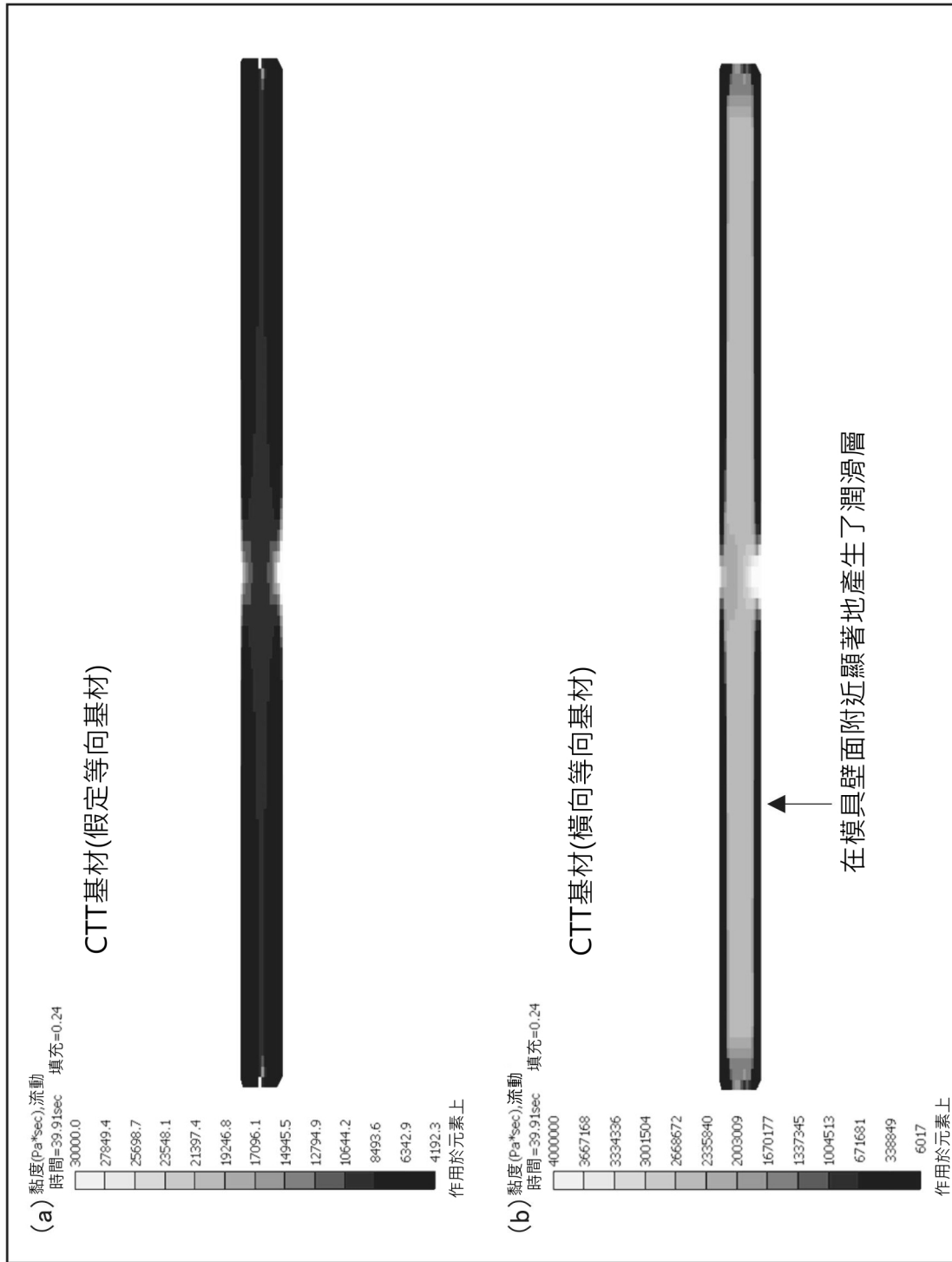


圖 12

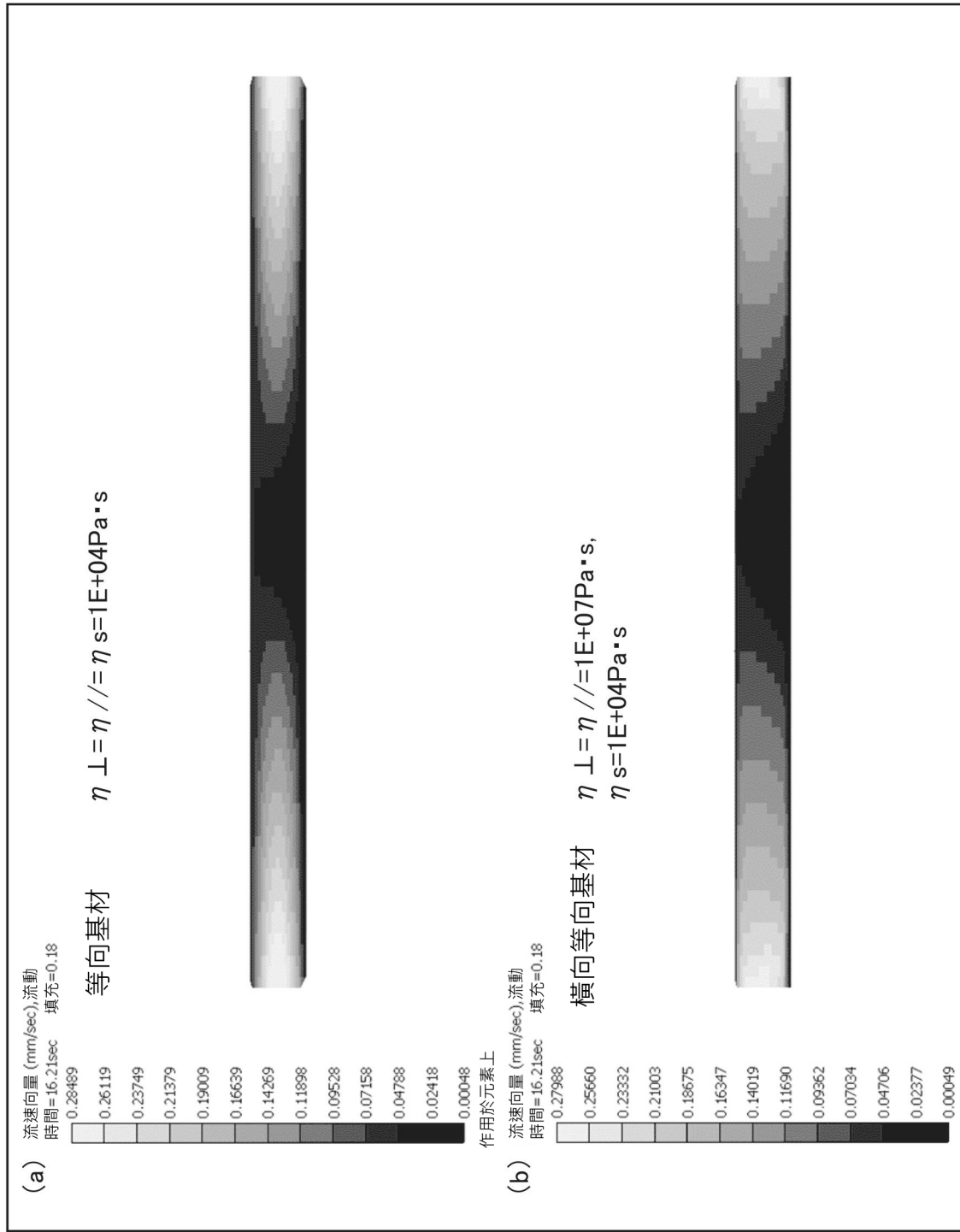


圖 13

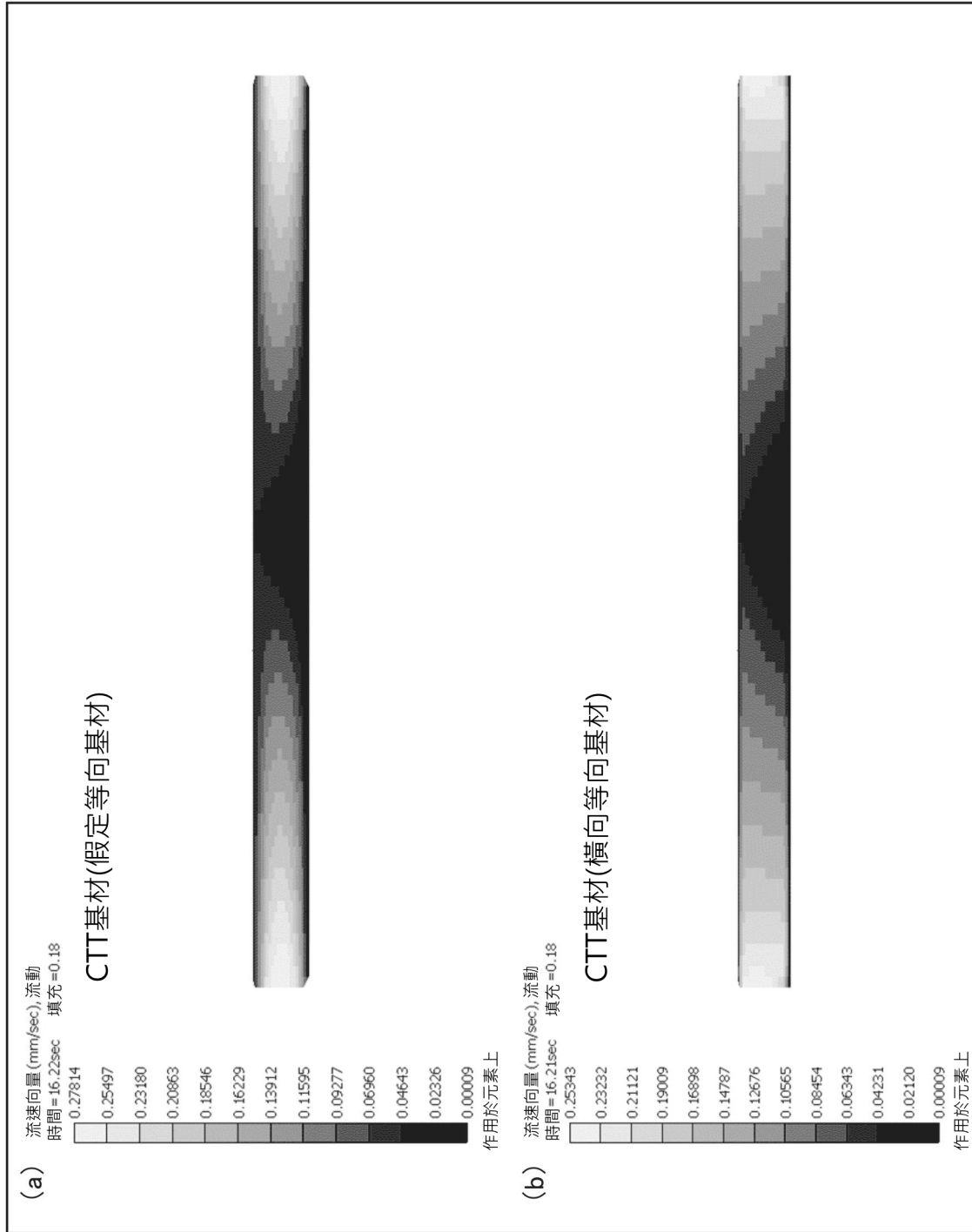


圖 14

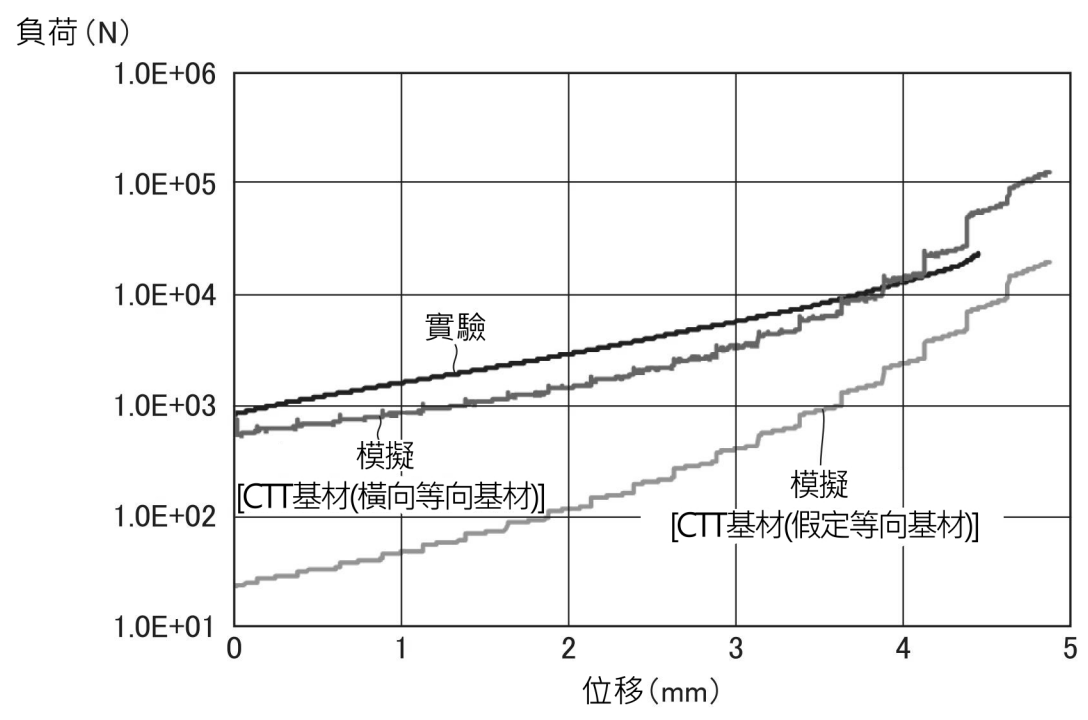


圖 15